ULUSLARARASI
1. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE İNOVASYON, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, TEKNOLOJİ VE EĞİTİM KONFERANSI

International The 1st
Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering Conference

---

BİLDİRİLER KİTABI
PROCEEDINGS

13-14-15 HAZİRAN 2019
JUNE 13-14-15 2019
İSKENDERUN, HATAY, TURKEY

DÜZENLEYEN
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ

ULUSLARARASI
1. İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE İNOVASYON, SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, TEKNOLOJİ VE EĞİTİM KONFERANSI

International The 1st
Innovation, Sustainability, Technology and Education
in Civil Engineering Conference

13-14-15 HAZİRAN 2019
JUNE 13-14-15 2019
İSKENDERUN, HATAY, TURKEY

Yazışma Adresi:
İskenderun Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
İskenderun, Hatay

Tlf.: +90 (326) 613 56 00
Faks: +90 (326) 613 56 13

iste-ce2019@iste.edu.tr
http://iste-ce2019.iste.edu.tr/

ISBN: 978-605-031-927-9

Editörler
Dr. Mustafa ÇALIŞICI
Dr. Hilmi ÇOŞKUN

DESTEKLEYEN KURUMLAR

DOĞAKA
T.C. DOĞU AKDENİZ KALKINMA AJANSI
T.R. EASTERN MEDITERRANEAN DEVELOPMENT AGENCY

İSKENDERUN
TİCARET VE SANAYİ ODASI
İSKENDERUN CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY

BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

BİLİM KURULU

Prof. Dr. Abdulazim YILDIZ, Çukurova University
Prof. Dr. Ali Fırat ÇABALAR, Gaziantep University
Prof. Dr. Ali Osman ATAHAN, Istanbul Technical University
Prof. Dr. Aliye Senem DEVİREN, Mustafa Kemal University
Prof. Dr. Babür DELİKTAŞ, Uludağ University
Prof. Dr. Beytullah TEMEL, Çukurova University
Prof. Dr. Cahit BİLİM, Mersin University
Prof. Dr. Cengiz Duran ATIŞ, Erciyes University
Prof. Dr. Emel ORAL, Çukurova University
Prof. Dr. Erdal ŞAFAK, Boğaziçi University
Prof. Dr. Erol KESKİN, Süleyman Demirel University
Prof. Dr. Galip ŞEÇKİN, Çukurova University
Prof. Dr. Hacı Murat ARSLAN, Çukurova University
Prof. Dr. Hanifi ÇANAKÇI, Gaziantep University
Prof. Dr. Hüseyin R. YERLİ, Çukurova University
Prof. Dr. İlker Fatih KARA, Mersin University
Prof. Dr. Kutsi Savaş ERDURAN, Niğde Ömer Halisdemir Universty
Prof. Dr. M. Vefa AKPINAR, Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Mehmet Emin ÖCAL, Osmaniye Korkut Ata University
Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN, Niğde Ömer Halisdemir University
Prof. Dr. Metin HÜSEM, Karadeniz Technical University
Prof. Dr. Murat Altuğ ERBERİK, Middle East Technical University
Prof. Dr. Mustafa ŞAHRAMAN, Hacettepe University
Prof. Dr. Semir ÖVER, İskenderun Technical University
Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ, Adana Science and Technology University
Prof. Dr. Sinan ALTIN, Gazi University
Prof. Dr. Taha TAŞKIRAN, Dicle University
Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR, Erciyes University
Prof. Dr. Tomasz ŁODYGOWSKI, University of Politechniki Poznańskiej
Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK, Dicle University
Assoc. Prof. Dr. Elif BOZDOĞAN SERT, Iskenderun Technical University
Assoc. Prof. Dr. Ender DEMİREL, Osman Gazi University
Assoc. Prof. Dr. Erdal UNCUOĞLU, Erciyes University
Assoc. Prof. Dr. Fatih ÖZCAN, Niğde Ömer Halisdemir University
Assoc. Prof. Dr. Fevzi ÖNEN, Dicle University
Assoc. Prof. Dr. Gülgün MISTIKOĞLU, Mustafa Kemal University
Assoc. Prof. Dr. Hatice Özmen ÇAĞATAY, Çukurova University
Assoc. Prof. Dr. Hayri Baytan ÖZMEN, Uşak University
Assoc. Prof. Dr. H. Tacettin TÜRKER, Uludağ University
Assoc. Prof. Dr. İbrahim Özgür DENEME, Aksaray University
Assoc. Prof. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir University
Assoc. Prof. Dr. M. Salih KESKİN, Dicle University

Assoc. Prof. Dr. Martina ZELENAKOVA, The Technical University of Košice
Assoc. Prof. Dr. Minea Ionuţ, University of Iasi
Assoc. Prof. Dr. Nizamettin HAMİDİ, Dicle University
Assoc. Prof. Dr. Okan KARAHAN, Erciyes University
Assoc. Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU, Necmettin Erbakan University
Assoc. Prof. Dr. Tayfun DEDE, Karadeniz Technical University
Assoc. Prof. Dr. Tuğrul TALASLIOĞLU, Osmaniye Korkut Ata University
Assoc. Prof. Dr. Turan ARSLAN, Uludağ University
Assoc. Prof. Dr. Ümit DİKMEN, Boğaziçi University
Assoc. Prof. Dr. Yaprak Itır ÖZDEMİR, Karadeniz Technical University
Assoc. Prof. Dr. Zülküf KAYA, Erciyes University
Dr-Ing. Lars ABRAHAMCZYK, Bauhaus Universitat Weimar
Asst. Prof. Dr. Abdulkadir BUDAK, Osmaniye Korkut Ata University
Asst. Prof. Dr. Ebru HARMAN ASLAN, Iskenderun Technical University
Asst. Prof. Dr. Engin EMSEN, Akdeniz University
Asst. Prof. Dr. Firdevs UYSAL, Niğde Ömer Halisdemir University
Asst. Prof. Dr. Giacomo VICCIONE, University of Salerno
Asst. Prof. Dr. Gizem MISIR, Karamanoğlu Mehmetbey University
Asst. Prof. Dr. Gözde Tantekin ÇELİK, Çukurova University
Asst. Prof. Dr. Gülay TOKGÖZ, Iskenderun Technical University
Asst. Prof. Dr. Hacer BİLİR ÖZHAN, Bursa Technical University
Asst. Prof. Dr. Hacı Bekir KARA, Erciyes University
Asst. Prof. Dr. Mehmet Fatih ŞAHAN, Adıyaman University
Asst. Prof. Dr. Onur GÜNGÖR, Iskenderun Technical University
Asst. Prof. Dr. Savaş BAYRAM, Erciyes University
Asst. Prof. Dr. Serhan İLKENTAPAR, Erciyes University
Asst. Prof. Dr. Sinem ÖZYURT ÖKTEN, Iskenderun Technical University
Asst. Prof. Dr. Stefania EVANGELISTA, University of Cassino and Southern Lazio
Asst. Prof. Dr. Tarık BARAN, Osmaniye Korkut Ata University

DÜZENLEME KURULU

Prof. Dr. Umur Korkut SEVİM, İskenderun Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Murat BİKÇE, İskenderun Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ, İskenderun Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ercan ERDİŞ, İskenderun Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Hilmi COŞKUN, İskenderun Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Murat ÖRNEK, İskenderun Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ, İskenderun Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Selahattin KOCAMAN, İskenderun Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KAÇIN, İskenderun Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hasan GÜZEL, İskenderun Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ali DOĞAN, İskenderun Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk CANSIZ, İskenderun Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇALIŞICI, İskenderun Teknik Üniversitesi

SUNUŞ

İnşaat en eski endüstrilerden biridir. Bununla birlikte, yeni kavramlar, yeni teknolojiler, yeni malzemeler ve yeni yaklaşımlar inşaat endüstrisini değiştirici yönde ilerlemeler göstermektedir. Diğer sektörlerde olduğu kadar hızlı görünmese de yine de inşaat sektörü sürekli bir değişim içindedir. Yenilikçi yöntemler ve teknolojik ilerlemeler inşaat endüstrisinde karşı karşıya kalınan problemlerin çözümü için araştırılmalıdır. Gelecek nesiller için daha iyi bir çevre bırakmak, sürdürülebilir çözümler oluşturmak en önemli hedeflerimizden olmalıdır.

İskenderun Teknik Üniversitesi olarak hedeflerimiz bunların hepsini ve ayrıca eğitimi de kapsamaktadır. Bu amaçla 13-15 Haziran-2019 tarihinde İskenderun'da "Uluslararası Katılımlı 1. İnşaat Mühendisliğinde İnovasyon, Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Eğitim Konferansı" düzenlemiş olmaktayız. Konferansımızı University of Politechniki Poznańskiej 'den Prof. Dr. Tomasz Łodygowski, Technical University of Kosice 'den Assoc. Prof. Dr. Martina Zelenakova, Universität Weimar 'dan Dr-Ing. Lars Abrahamczyk, University of Iasi 'den Assoc. Prof. Dr. Miea Ionuţ, Erciyes University 'den Prof. Dr. Tefaruk Haktanır, Boğaziçi University 'den Prof. Dr. Erdal Şafak, University of Salerno 'dan Asst. Prof. Dr. Giacomo VICCIONE, ve Boğaziçi Üniversity 'den Prof. Dr. Ali PINAR gibi konularından uzman çağrılı konuşmacılar zenginleştirmiştir. Ayrıca, Türkiye ve yurtdışından 45 farklı üniversitede görev yapan birbirinden değerli 189 akademisyen, kamu ve özel sektör temsilcilerinin sundukları bildirilerle hem kendi gelişimlerine ve hem de inşaat endüstrisi ve ülke gelişimine büyük katkı sağladıklarını düşünmekteyiz.

"The 1st Internationally Participated Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering Conference" gerçekleştirilmesinde emeği geçen Düzenleme Kurulu, Bilim Kurulu üyelerine, Konferans Sekretaryasına, desteklerini esirgemeyen tüm kamu kurum ve kuruluşlarına, özellikle Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı (DOĞAKA) ve İskenderun Ticaret ve Sanayi Odası (İTSO) 'na teşekkür ederiz.

Umur Korkut Sevim
İskenderun Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü Başkanı

İÇİNDEKİLER

Discharge Coefficients for Radial-Gated Ogee Spillways 1
Artçı Depremlerin İzlenmesinde Can ve Mal Kaybının Azaltılması Çalışmaları: Deprem Kestirimi (Forecasting) 22
Risk-based environmental impact assessment of flood protection measures 38
Experimental measurements of head losses in filtration cartridges 48
Flood vulnerability for transition areas. Case Study for Eastern Carpathians Mountains 57
Hydrotechnical structures on the rivers in the Drwęca basin (Poland) 70
Yapıların Deprem Tasarımında Araştırma İhtiyaçları: Yüzey Dalgalarının Yüksek Binalardaki Etkileri 86
İskenderun Körfez Kirliliğinin Araştırılması 95
Hatay'ın Deprem Riskinin İncelenmesi 103
Hatay'ın Yolcu Taşımacılığı İle İlgili Sorunları Ve Çözüm Önerileri 115
Bina Üretim Sürecinde Kullanılan Yalın Tekniklerine Yönelik Literatür Araştırması 136
Nokta Bulutu Verileri ve Yüksek Çözünürlüklü Ortofoto Kullanılarak Otomatik Bina Kat Yüksekliğinin Çıkarılması 149
An Alternative Teaching Material for Civil Engineering Education: Application House 155
Sosyal Sürdürülebilirliğin Bir Bileşeni Olarak Yer Duygusu: Antakya Tarihi Kent Merkezi Örneği 164
Dikey Yeşillendirme Sistemleri ve Çevresel Sürdürülebilirliğe Etkileri 183
A study on Functionality of materıal analysis reports used in Restoratıon of historical buildings 192
İskenderun Teknik Üniversitesi Öğrencilerinin Çevresel Sürdürülebilirlik Konusundaki Bakış Açılarının Belirlenmesi 198
Binalarda Sürdürülebilirliğin Sağlanmasında Çevresel Yaklaşımlar 208
An Overview of Recent Advances on Structural Health Monitoring Methods for Structural Sustainability 220
Yüksek Gerilim Tekniği İçin Yeni Bir Eğitim Aracı Tasarımı 224
Kentsel Dönüşüm Projelerinde Kullanıcı Memnuniyetlerinin Belirlenmesi: Adana Örneği 236
Akıllı Büyüme Kavramı ve Türkiye'de Uygulanabilirliği 245
Mimarlıkta Uygulamalı Taşıyıcı Sistem Eğitimi: Akdeniz Üniversitesi örneği 253
Yapıcı Mesleklerin Eğitiminde Disiplinlerarası İlişkiler 259

Ofis Binalarında İç Mekan Hava Kalitesi ve Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesi 273
Çocuk Oyun Alanları Tasarımında Çocuk İsteklerinin Önemi 285
Yüksek Kazançlı Geniş Bantlı Horn Anten ile Tünel Tespiti 297
Shear Strength characteristics of clay with construction and demolition solid Waste Materials 303
Undrained shear strength values of clay-sewage sludge ash mixtures 314
Şev Stabilite Analizleri-Bir Vaka Çalışması 319
Lastik Atık Katkılı Zeminlerde CBR Değerinin Araştırılması 325
Granüler Dolgu Tabakasına Oturan Yumuşak Kil Zeminlerin Taşıma Gücü Hesabında Analitik Yaklaşımlar 331
Doğrusal Olmayan Zemin Davranışının Yapı Elemanları Üzerindeki Etkisi 343
Use of Energy Piles in terms of Sustainability and its Future in Turkey 351
Patlatmalı temel kazılarında patlayıcı yük hesabı ve titreşim analizi: Hatay İli Mansurlu Huzurevi kampüs inşaatı örneği 359
Derin Kazı Uygulamalarında Efektif Gerilme Azalmalarına Bağlı Sıvılaşma Sorunları – Bir Vaka Çalışması 372
Kayaya Soketli Kazıklarda Yükleme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması 383
Kuzey Marmara otoyolu projesi km:241+200 yol dolgusu Oturma davranışının analitik ve sayısal modelleme ile Karşılaştırmalı incelenmesi 398
Seismotectonics and Earthquake Risk of Hatay 412
Antakya Kent Merkezinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışması 422
Konarlı'da (İskenderun) Sıvılaşma Çalışması 430
Simulating Rock Falling on Side Slopes for Different Materials By Using Blendar Software ... 440
Demiryolu – Karayolu Kesişme Güzergâhında Top-Down İnşaat Yöntemi ile Alt geçit Tasarımı 447
A Landslide Model Study 458
Heyelan Problemi İçin İksa Sistemi Modeli 464
İstatistiksel Ölçek İndirgeme Yöntemi ile NCEP/NCAR re-analiz Verilerinin Doğu Karadeniz Havzası Aylık Yağış ve Sıcaklık Değerlerine İndirgenmesi 470
Güneybatı Karadeniz Kıyılarında Kurulması Muhtemel Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemleri İçin Uygun Yer Tespiti 484
Assessment of Water Mass Oscillations in An Orifice Surge Chamber 497

Water Footprint As A New Sustainability Indicator For Regional And Global Water Resources 507
Estimation of Daily Dissolved Oxygen Concentration in the Clackamas River, Oregon, Using the Multivariate Adaptive Regression Splines 517
Hidrolojik Kuraklığın Trendinin Şen Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Karasu-Torun Köprüsü Örneği 527
Dalga Enerjisinden Elektrik Üretimi İçin Küçük Ölçekli bir Doğrusal Jeneratör Benzetimi 542
Günlük Buharlaşma Miktarının Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Bölgesel Olarak Modellenmesi 552
Nehirlerdeki Akış Miktarının Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi 560
Mamdani-Bulanık Mantık Yöntemi ile Baraj Hazne Hacmi Tahmini 572
Meterolojik Ölçüm Verilerini Kullanarak Mamdani-Bulanık Mantık Yöntemi İle Rüzgar Hızının Tahmini 583
Hatay İli Dörtyol Bölgesi Yer Altı Su Seviyesinin Anfis Modeli 594
Organik Madde Gideriminde Karıştırıcı Tasarımının Adsorpsiyon Performansına Olan Etkisinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Metodu ile İyileştirilmesi 602
Investigation of Velocity Field Around Bridge Abutments 619
Estimation of Manganese(II) Ion Concentration from Turbidity Measurements from a Dam Reservoir: A Case Study from the Erfelek Dam (Sinop), Northeastern Turkey 630
Integration of Pumped Storage Hydropower Plant to Çamlıgöze Dam 640
Genelleştirilmiş Bir Hidrolojik Taşkın Öteleme Modeli Ve Depolama Bağıntısının Model Performansına etkisi 652
Doğu Karadeniz Havzası'nda Yağış ve Kuraklığın Eğilim Analizi 670
Su Seviyelerinin Belirlenmesinde Deneysel Veri Toplama Araçlarının Karşılaştırması: Ultrasonik Sensör ve Görüntü İşleme 682
Tabanında Dikdörtgen Orifis Bulunan Bir Tankın Boşalma Süresinin Analizi 689
Dikdörtgen Bir Tankın Çalkantı Etkisinin Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi 699
Hatay İli Genelinde Taşkın Riski Oluşturan Etkenlerin İncelenmesi 710
Üç boyutlu baraj yıkılması deneyinin OpenFOAM kullanılarak modellenmesi 724
Danışmanın, Yapım Aşaması Öncesi Bim Sistemindeki Rolü 732
Adana İli Özelinde Binalarda Enerji Verimliliği Konusundaki Bilinç Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma 743
The Relationship between Labor Costs and Macroeconomic Indicators in Turkish

Construction Industry 753
Use of Personal Protective Equipment: A Case Study in the Construction Industry 759
Wage Prediction By Artificial Neural Networks At Construction Works 766
Yaklaşık Metraj Birim Ölçülerinin Yapım İşi Projelerindeki Geçerliliğinin Araştırılması 774
İnşaat Mühendisliği Bölümlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitiminin Değerlendirilmesi: Örnek Çalışma 790
Yapım İşlerinde Kaynak Dengeleme Problemleri İçin Sezgisel Yöntemlerin Uygulanması 797
Yapı Malzemeleri Sektörünün Finansal ve Niteliksel Açıdan Değerlendirilmesi 806
Türkiye'de Üç Boyutlu Beton Yazıcının Az Katlı Konut Yapımında Kullanılabilirliği ve Kalıp Uygulama Önerisi 816
A Survey Of Factors Influencıng The Revenue And Cost In Real Estate Projects 829
Küçük Ölçekli İnşaat İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Algısı 846
İnşaat Projelerinde Altyüklenici Seçimi 855
Client Satisfaction As Perceived by Architects and Civil Engineers 863
Sürdürülebilir Yapılaşma Çerçevesinde 3 Boyutlu Eklemeli Beton İmalatı 872
Kazınmış Asfalt Malzemelerin Beton Karışımında İri Agrega Yerine İkame Edilmesinin Betonda Ultra Ses Geçiş Hızına Etkisi 887
Effects of Hydrated Lime on Reproducibility and Extensiveness of Autogenous Selfhealing Materials 895
Metakaolin Katkılı Harçların Elektrik Özdirençlerinin Değerlendirilmesi 905
Kompoze Taban Külü ve Uçucu Kül İkameli Çimento Harçlarının Sülfata Karşı Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi 911
Kompoze Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İkameli Çimento Harçlarının Sülfata Karşı Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi 922
The Chemical Aging Effects on Flexural Behavior of the FRP Composite and Steel Rebar Reinforced Concrete 933
Cam Tozu Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri 948
Tuğla Unu Katkılı Pomza Agregalı Hafif Harçların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri 960
Çelik Lif Kullanım Oranının Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi 975
Çelik Lif Katkısı içeren Çimento Harçlarının Yüksek Sıcaklıklara Karşı Direnci 981
Testing of the Abrasion Value of Natural Ahlat Stone Rock Used in Paving Stones 987
Measuring of the Freeze–Thaw of Ahlat Stone in the Production of Paving Stones 991
Pomza Agregası Miktarının Geçirimli Beton Özelliklerine Etkisi 995

Titanyum Dioksit Nano-Parçacıklarıyla Güçlendirilmiş Betonun Mekanik, Dinamik ve Durabilite Performansı 1010
Farklı Mineral Katkı İçeren Harçların Yüksek Sıcaklığa Karşı Dirençleri 1019
Perlitli Harçların Elektromanyetik Dalga Zayıflatmada Kullanımı 1030
Bitüm Modifikasyonunda Nanomalzemelerin Kullanımı ve Karakterizasyonu 1037
Hız Tümseklerin Araç ve Yolcu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması 1046
Demiryolu Sektöründe Ödenek Miktarının İstatistiksel Yöntemler Ve Yapay Zeka Teknikleri İle Tahmin Edilmesi 1053
Demiryollarında Yolcu Kilometre Değerinin Yapay Sinir Ağları Ve Çok Değişkenli Lineer Regresyon Yöntemleri İle Tahmini 1058
Bitümün Modifiyesinde Kullanılan Katkıların İncelenmesi 1064
Yapay Sinir Ağları ile Marshall Testi Akma Değeri Tahmini 1068
Magnezyum Temelli Metalik Katkının Asfaltın Fiziksel Özelliklerine Etkileri 1077
İskenderun Bölgesi Endüstri Tesislerinden Ana Koridorlara Aktarılan Ağır Trafik Yüklerinin Yol Üstyapısına Etkileri 1083
Yük Taşımacılığında Unimodal ve Multimodal Taşımacılık Türlerine Göre Rota Optimizasyonu: Hatay-İzmir Vaka Analizi 1092
Sürücü Davranışının Şekillenmesine Etkiyen Parametrelerin Belirlenmesi 1109
Taşımacılık sürelerinin tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotaları esas alınarak Karşılaştırılması 1118
The Effects of Including Social Factors in Ride-Matching Algorithms on the Performance and the Quality of Matches 1124
Lojistik Sorunlardaki Değişimin İncelenmesi: Geçmişten Günümüze Hatay Yük Taşımacılığı. 1136
Effects of Staircases on Seismic Performance of RC Buildings 1144
Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Bakımından TBDY-2019 ile DBYBHY-2007 Kıyaslaması ... 1157
Design of Double Tee Moment Connections with European Steel Shapes 1167
Do not Hesitate Be Brave Against Nonlinear Structural Behavior PARTI : Fundamental Concepts and Definitions 1184
Do not Hesitate Be Brave Against Nonlinear Structural Behavior PARTII : Applications 1192
Az Katlı Düzenli Çerçeveli Yapıların Periyot Hesabı İçin Bir Yaklaşım Önerisi 1201
Ayarlanabilir Dönme Rijitliğine Sahip Mesnetlerle Tutulu Kirişler için Deney Düzeneği Oluşturulması 1212
Numerical Algorithms for System Identification of Benchmark Steel Bridge 1223
Numerical Algorithms for System Identification of Benchmark Steel Structure 1238

Nonlinear Finite Element Analysis of Different Masonry Wall Brick Bond Styles 1253
Investigation of Mortar Thickness Effect for Masonry Walls Using a Continuous Micro Model 1259
Farklı Kesme Donatısı Oranlarına Sahip Prefabrik Donatılı Kirişlerin Eğilme Performanslarının İncelenmesi 1268
Preliminary Buckling Design of Stiffened Panels by Using Neural Networks 1274
Sentetik Fiber Donatı İle Güçlendirilen Yığma Duvarda güçlendirmenin duvar davranışına olan etkisi 1281
The Dynamic Behavıor And Response Of A Thıck Plate At The Kocaeli Earthquake In Turkey 1288
Binalarda Deprem Risk Değerlendirilmesinin Görsel İnceleme Yöntemleri Kullanılarak Mobil Cihazlarla Yapılması 1299
Betonarme Binalarda Yüzme Riskini Etkileyen Yapı Alanı-Su Seviyesi İlişkisinin İncelenmesi 1309
Esnek Derzli Dolgu Duvar – Çerçeve Bağlantısı ve Yerel Zemin Sınıfının Kolon Kesitlerine Etkisinin İncelenmesi 1315
Hatay'da Kentsel Dönüşüme Giren Binaların Beton Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi 1326
Esnek Derzli Dolgu Duvarların Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışı 1334
Doğu Anadolu Bölgesi Don Derinliğinin Tahmini 1340
Güçlendirme Uygulaması Yapılan Bir Binanın Güçlendirme Öncesi ve Sonrasında Ortam Titreşim Ölçümleri ile Bazı Dinamik Parametrelerinin Hesaplanması 1349
Buckling Analysis of Symmetric Laminated Composite Plates 1360
TDY 2007 ile TBDY 2018 Deprem Yönetmeliğinin Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Kullanılarak Karşılaştırılması 1368

BU SAYFA BOŞ BIRAKILMIŞTIR

Discharge Coefficients for Radial-Gated Ogee Spillways

Tefaruk HAKTANIR[1], Mohammed A KHALAF[2]

[1] Nuh Naci Yazgan University, Department of Civil Engineering, Kayseri, Turkey
[2] Erciyes University, Department of Civil Engineering, Kayseri, Turkey
Emails: thaktanir@nny.edu.tr , Mohammed077080812@gmail.com

Abstract

Using the measured data on 15 laboratory models in USA, six models and one prototype in Turkey, the discharge coefficients (*C*'s) of radial-gated ogee spillways for various gate openings and lake water surface elevations are computed. Comparison of these *C*'s for 22 spillways with the ones given by Figure 9-31 of *Design of Small Dams* does not show close agreements. It is determined that *C* depends on both the angle Θ and the ratio d/H_1, rather than Θ only where *d* and H_1 are the gate opening and the upstream head, and statistically significant regression equations are computed individually for each dam.

Key words: discharge coefficient for partially-opened radial-gated spillways.

1. Introduction

The book: *Design of Small Dams* (USBR 1973, 1987) is a classical reference source for design of dams all over the world including Turkey (e.g. DSI 2010, Enerjisa 2009, Sanko 2007, Temelsu 2007). Some dams have free-flow (un-gated) ogee flood spillways while some others have ogee spillways equipped with radial gates. The spillway apex is lower than the maximum operation elevation (top of the active pool) which is close to the upper tip of the gates at closed position. The recommended operation scheme is to lift all of the gates simultaneously and to have the same gate opening for all. Although the total cost of a radial-gated spillway may seem to be more than that of the un-gated one because of the additional cost of delicate steel work including the trunnion pin and the hoisting mechanisms, usually a much longer free-flow spillway is needed to attain the same maximum water surface elevation (WSE). This is because the crest elevation of the free-flow spillway is necessarily at the top of the active pool. Further, because of topographical conditions, a considerable amount of excavation work needed to place the longer free-flow spillway may yet increase the cost of the un-gated spillway. In short, balancing the cost of the inundation of the upstream areas of the reservoir with the cost of the spillway and the conveyance channel may lead to a radial-gated one to be decided on as the optimum design. There are many dams equipped with radial-gated spillways, and the routing of the critical design flood hydrograph or any other less intense flood hydrograph from a dam having a radial-gated ogee spillway is important both for design and for operation during flooding.

The methods for computing the spilled discharge over the partially-opened radial-gated ogee spillways are different in both the previous and recent editions of *Design of Small Dams* (USBR 1973, 1987). The subsection 201 of the second edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973) gives the equation (a dimensionally homogeneous one) to compute this discharge as:

$$Q = (2/3)\cdot(\sqrt{2g})\cdot C\cdot L_e\cdot(H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

where, g is the acceleration of gravity, C is the discharge coefficient, L_e is the effective length of crest, H_1 and H_2 are defined as: "*H_1 and H_2 are the total heads (including the velocity head of approach) to the bottom and top of the orifice, respectively.*", and Q is the discharge. Figure 257 of the 1973 edition of *Design of Small Dams* gives the C coefficient as a function of the ratio (d/H_1), where d is the vertical gate opening ($d = H_1 - H_2$). The effective length L_e is shorter than the net length due to the distracting of the streamlines by the piers and the approach embankment causing contraction of the discharging water upon entrance into the spillway bays, and it is computed by (USBR 1973):

$$L_e = L - 2\cdot(N_p\cdot k_p + k_a)\cdot H \qquad \text{(Eq. 2)}$$

where, L is the net length of the spillway crest excluding the sum of widths of the existing piers, N_p is the number of piers on the crest, k_p is the pier contraction coefficient, k_a is the approach abutments contraction coefficient, and H is the actual total head with respect to the spillway apex elevation. Three values for k_p and k_a are suggested as 0, 0.01, 0.02, and 0, 0.1, 0.2, respectively, depending on the geometrical shapes of pier noses and of abutment headwalls (USBR 1973).

In subsection 9.16 of the third edition of *Design of Small Dams* (USBR 1987) however, a different equation is given for discharge over a radial-gated ogee spillway while the gates are partially opened, which is:

$$Q = C\cdot D\cdot L\cdot(2g\cdot H)^{1/2} \qquad \text{(Eq. 3)}$$

where, C is the discharge coefficient, which is different from the C of equation (1), D is the shortest distance between the gate lip and the spillway crest curve, L is the net length (not the effective length) of the spillway crest, and H is the vertical difference between the total head just upstream of the gate and the center of the gate opening. Equation (3) also is dimensionally homogeneous. Here, C of equation (1) is symbolized by *C-73* and C of equation (3) is symbolized by *C-87*. Figure 9-31 of *Design of Small Dams* (USBR 1987) gives the curve defining *C-87* as a function of the angle Θ, which is the angle between the tangent to the gate lip and the tangent to the crest curve at the point nearest to the lip. Equation (3) and this figure are originally due to *Hydraulic Design Criteria, Sheets 311-1 to 311-5* by US Army Corps of Engineers (USACE 1987). Figure 9-31 of *Design of Small Dams* (USBR 1987) is a replica of 'Hydraulic Design Chart 311-1' in (USACE 1987), which contains a best-fit curve to the

measured data on spillways of two laboratory models and of three actual dams. The spillway gate seats for all of these five cases are downstream from the apex at a distance about 0.1 to 0.3 times the spillway design head(USACE 1987). As seen in that figure, the cluster of points of those five cases around the best-fit curve exhibits considerable noises for Θ's less than 70º. There is a second curve in 'Hydraulic Design Chart 311-1' defining the *C* coefficient for those spillways whose gate seat is on top of the spillway apex, which is derived as the best-fit curve to the points measured in only one laboratory model study. We believe, the relationship for such a crucial coefficient as *C-87* derived using only five cases of measured data may not reflect a true generalization for radial-gated ogee spillways, and inclusion of many more measured data may improve that relationship. Actually, this fact has been the main theme of our study, and accordingly we have aimed to enrcih this relationship using many more relevant data obtained on many laboratory models performed by renown facilities in USA and in Turkey.

Because computation of both the *C* coefficient and the *H* term in equation (3) is more complicated than the *C* and H_1 and H_2 terms of equation (1), we have noticed that in designs of even the recently built dams in Turkey, equation (1) in 1973 edition of *Design of Small Dams* is used instead of equation (3) in 1987 edition of *Design of Small Dams,* although the newer edition is used for the designs of the other units of the dams (e.g. DSI 2010, Enerjisa 2009, Sanko 2007, Temelsu 2007). Hence, the first objective of this study has been a quantitative comparison of equations (1) and (3) using the measured data on a few laboratory model study reports by Hydraulic Investigation and Laboratories Services of USBR, Waterways Experimentation Station of USACE, and Hydraulic Laboratories of General Directorate of State Water Works of Republic of Turkey (DSI). Because the 1987 edition of *Design of Small Dams* is the recent one, equation (1) has been repealed and a new method of computing the spillway discharge through partially-opened radial gates is valid now, which is equation (3) here. Therefore, more emphasis is given on evaluation of the discharge coefficient of equation (3), denoted by *C-87* here, using measured data taken out of 22 different physical model studies obtained from the above-mentioned sources.

Computation of discharge over ogee spillways has been investigated by various researchers (e.g. Mazumdar and Roy 1997, Savage and Johnson 2001, Kim and Park 2005, Alhashimi 2013, Bagatur and Onen 2016). There may be other methods for computing discharge through partially-opened gates. For example, Ansar and Chen (2009) presented generalized equations for discharge over ogee spillways with sharp-edged sluice gates using the data measured at many prototype canal control structures in South Florida. Bahajantri et al (2007) proposed a numerical method based on finite element approach. Saunders et al (2014) developed a method using the Smoothed Particle Hydrodynamics model. Schohl (2016) used the data measured on six laboratory models whose spillways had downstream face profiles delineated by the method of Tennessee Valley Authority (TVA). Schohl (2016) computed the discharge coefficient of the equation used by TVA, which is different from both equations (1) and (3), with quite a few different values of gate openings and water surface elevations using all of the data in these six spillway model studies and noticed that they were not in close harmony. Schohl (2016) additionally presented the

discharge coefficients of the TVA equation against the angle Θ of the method of *Design of Small Dams* (USBR 1987) in a figure which also showed a fairly wide scatter. Haug (2014), who worked on laboratory models for long both in a university and later as a manager in an engineering consulting company, computed the discharge coefficients of equation (3) using the laboratory model data on the radial-gated ogee spillways of five dams in the USA. The laboratory models were repeated twice with different scales for two of these dams, 1:48 versus a larger scale for Hells Canyon Dam spillway model, and 1:50 versus 1:120 for Wanapum Dam spillway model. The relationships of the *C* coefficient of equation (3), *C-87*, as a function of the angle Θ computed by Haug (2014) using the measured data of all of these seven cases all in the same figure also revealed a fairly wide scatter and not a close cluster around the curve in Figure 9-31 of *Design of Small Dams* (USBR 1987).

Investigation of the final projects of many dams including the newer ones in Turkey reveals that the method given in the 1973 (previous) edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973) is used commonly for computing spillway discharges (e.g. DSI 2010, Enerjisa 2009, Sanko 2007, Temelsu 2007). The reason for avoiding the usage of the method in the 1987 (recent) edition of *Design of Small Dams* (USBR 1987) is most probably because the latter is analytically more difficult to apply than the former. The difficulty is caused by (1) trigonometric complexity for Θ, which is the angle formed between the tangent to the gate lip and the tangent to the crest curve at the point nearest to the gate lip, and (2) geometrical hardship for *D*, which is the smallest distance between the gate lip and the surface of the ogee profile. A method for computation of both Θ and *D* is given in the technical report: *Hydraulic Design Criteria, Sheets 311-1 to 311-5* (USACE 1987), which involves a cumbersome path necessitating two tables, the first one having 20 columns and the second one 15 columns, plus a log-log graph having two lines, one for the analytical expression of the crest curve of the ogee profile and the other for its derivative. An alternative method, which computes both Θ and *D* by a more concise numerical scheme having no need for any table or any graph, is presented by Haktanir et al (2016).

The first objective of this study is to compute the discharge coefficients of the formulas for the partially-opened radial-gated ogee spillways given in the previous and recent editions of *Design of Small Dams* (USBR 1973, 1987) for a few dams for which the laboratory model data are available and to compare such obtained coefficients with the ones given in the pertinent figures in those books. Finally, it is aimed that a new equation be developed for the *C* coefficient of equation (3), *C-87*, using the measured data available in these laboratory reports.

2. The Data Used in the Study

We have investigated the web sites of the Hydraulic Investigation and Laboratories Services of USBR and the Waterways Experimentation Station of USACE and we have found many relevant reports dated as early as 1949 and as recent as 2014. We have officially applied for permission for usage of the numerical data contained in those reports separately to the concerned bureaus of

both USBR and USACE. And, we have received replies from USBR and USACE stating: "You are welcome to use and translate the material as long as you provide credit to the Bureau of Reclamation and include a disclaimer that states: 'The Bureau of Reclamation is not responsible for the accuracy of this translation.'", and: "All government work and images that are in the public domain need no permission to use. We just ask that they are attributed correctly to the source.", respectively. We are grateful to both USBR and USACE. We have also acquired similar consensus from DSI.

Although we have downloaded quite a few USBR and USACE reports containing hydraulic models of radial-gated spillways, unfortunately we have not been able to use some of them because (1) some crucial data like elevation of the gate trunnion were missing which were not possible to deduct from scaled figures, and (2) some of the spillways did not have ogee profiles. Altogether, we have been able to collect 22 reports, six from USBR, nine from USACE, and seven from DSI, respectively (DSI 1959, 2004, 2008, 2010, 2012, 2013, 2015; USACE 1968, 1970, 1972, 1975, 1978, 1980, 1983, 1988, 1991; USBR 1952, 1962, 1966, 1970, 1981, 2014). Hence, altogether, we have been able to collect measured data for 22 different radial-gated ogee spillways. 21 of these are of laboratory model studies, and one contains data consisting of five different discharges measured in the approach channel of Seyhan Dam for various gate openings in Turkey in the year 1959 (DSI 1959). Five data triplets of lake water surface elevation, gate opening, and discharge at the actual spillway of Seyhan Dam were taken during the flooding which happened in the first two weeks of the month of February in the year 1959 (DSI 1959). Each of these five discharges were determined by integration of small area discharges computed by multiplying point velocities measured with the help of a current meter at so many points in the cross-section of the approach channel 12 meters upstream from the nose of the piers whose coordinates were away from each other 1.0 meter vertically and 4.3 meters horizontally by the corresponding small areas (DSI 1959). All of the needed numerical data are taken from these reports by double checking. Table 1 presents some introductory information about these reports. As an example, Table 2 contains the data for the spillway of Norton Dam taken from the report: *Hydraulic Model Studies on Norton Dam Spillway, Missouri River Basin Project, Kansas* (USBR (1962) needed by the computer program coded for this study which computes the discharge coefficients for the partially-opened radial gates first by equation (1), *C-73*, and next by equation (3), *C-87*. Table 2 contains the data necessary to compute all of the relevant quantities; and therefore, they are included here for anyone interested in these computations and wishing to verify the results pertaining to this example. All of the other numerical data are presented in the M.Sc. thesis of Khalaf (2017).

Table 1 - List of the dams whose laboratory reports are used in this study

	Name	Stream	Country	Organization	Scale
1	Boysen	Bighorn	USA	USBR	1:48
2	Norton	Missouri	USA	USBR	1:42
3	Glen Elder	Solomon	USA	USBR	1:72
4	Toa Vaca	Toa Vaca	USA	USBR	1:48
5	McPhee	Dolores	USA	USBR	1:36
6	Folsom	American	USA	USBR	1:36
7	Kaysinger Bluff	Osage	USA	USACE	1:60
8	Oakley	Sangamon	USA	USACE	1:60
9	Oakley (Revised)	Sangamon	USA	USACE	1:60
10	Burnsville	Ohio	USA	USACE	1:40
11	Tombigbee A	Tombigbee	USA	USACE	1:15
12	Tombigbee B	Tombigbee	USA	USACE	1:25
13	Cooper	Sulphur	USA	USACE	1:36
14	Bloomington	Potomac	USA	USACE	1:60
15	Lake Darling	Souris	USA	USACE	1:36
16	Seyhan	Seyhan	Turkey	DSI	1:1
17	Kigi	Perisuyu	Turkey	DSI	1:60
18	Yedigoze	Seyhan	Turkey	DSI	1:70
19	Kavsak	Zamanti	Turkey	DSI	1:50
20	Beyhan-1	Murat	Turkey	DSI	1:70
21	Incir	Buyuk	Turkey	DSI	1:50
22	Yusufeli	Coruh	Turkey	DSI	1:40

Table 2 - The data for computing the discharge coefficients for the radial-gated ogee spillway of Norton Dam taken from the laboratory model report by USBR (1962)

Net spillway length (L): 90.0 ft, sill height of spillway: 11 ft,
angle with vertical of the upstream face of spillway: 45° ,
elevation difference between upstream and downstream toes of spillway: 1.0 ft,
spillway apex elevation: 2296.0 ft, spillway design head (Hd): 44.7 ft,
number of piers on the spillway (N_p): 3,
abutment contraction coefficient (k_p): 0.1, piers contraction coefficient (k_a): 0.01,
radius of the radial gate (Rg): 45.0 ft,
radius of the first circle of the spillway crest profile upstream of the apex (R_1): 20.1 ft,
K and n coefficients of the downstream crest (ogee) curve: 0.52, 1.75,
elevation of the gate trunnion center: 2328.0 ft,
elevations of gate seat and top of gate at closed position: 2295.65 ft, 2332.0 ft

Spillway discharges and water surface elevations for the partial gate openings:

d (ft)	*Q* (cfs)	WSE (ft)
2	3000	2304
2	3900	2308
2	4800	2312
2	5300	2316
2	5900	2320
2	6300	2324
2	6900	2328
2	7100	2332
4	6600	2308
4	8000	2312
4	9200	2316
4	10500	2320
4	11500	2324
4	12200	2328
4	13000	2332
6	9000	2308
6	11000	2312
6	12800	2316
6	14500	2320
6	15800	2324
6	17100	2328
6	18200	2332
6	19500	2336
8	13500	2312
8	16100	2316
8	18200	2320
8	20100	2324
8	21800	2328
8	23400	2332
8	24900	2336
10	18900	2316
10	21700	2320
10	24000	2324
10	26400	2328
10	28800	2332
10	30500	2336
10	32100	2340
12	21500	2316
12	24700	2320
12	27900	2324
12	30600	2328
12	33000	2332
12	35500	2336
12	37600	2340
14	24000	2316
14	27900	2320
14	31400	2324
14	34500	2328
14	37600	2332
14	40500	2336
14	43000	2340
16	30500	2320
16	34500	2324
16	38400	2328

16	41800	2332
16	45000	2336
16	48000	2340
18	33000	2320
18	37800	2324
18	42000	2328
18	46000	2332
18	49500	2336
18	52800	2340
20	40300	2324
20	44800	2328
20	49200	2332
20	53000	2336
20	57500	2340
22	47800	2328
22	52600	2332
22	57100	2336
22	61600	2340
24	50500	2328
24	55800	2332
24	60700	2336
24	65400	2340
26	58800	2332
26	64000	2336
26	69000	2340
28	61500	2332
28	67200	2336
28	72800	2340
30	70300	2336
30	76100	2340
32	73400	2336
32	79800	2340
34	82800	2340

3. Discharge Coefficients for Radial-gated Ogee Spillways by Measured Data and by 1973 and 1987 Editions of *Design of Small Dams*

In all of the 22 reports whose data are used in this study, the dams all had radial-gated ogee spillways, and the data measured for various partial gate openings at various lake water surface elevations were taken. The discharge coefficient in equation (1), denoted by *C-73* here, is computed by its inverse leaving *C* alone at one side, and the discharge coefficient in equation (3), denoted by *C-87* here, is computed by its inverse leaving *C* alone at one side. The relative difference of any one of these three *C* coefficients taken out of the relevant charts in either the previous or the latest edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973, 1987) from the *C* coefficient determined using the measured data is computed by:

$$RD_C = (C_{chart} - C_{measured}) \div C_{measured} \qquad \text{(Eq. 4)}$$

where, C_{chart} is the coefficient taken from the relevant chart in either the 1973 or the 1987 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973, 1987), and $C_{measured}$ is the coefficient computed using the measured data.

4. Results and Discussions

Table 3 presents the output of the computer program coded for this study using the laboratory model data of Norton Dam, which is presented in Table 2 above. For the spillway of Norton Dam, Figure 1 shows the plots of the experimentally obtained points of *C-87* against the angle Θ together with the points of *C-87* given by Figure 9-31 of the 1987 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1987), Figure 2-a shows the plots of the experimentally obtained points of *C-73* versus d/H_1 together with the points of *C-73* given by Figure 257 of the 1973 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973), and Figure 2-b shows the plots of the experimentally obtained points of *C-87* versus d/H_1. As another example, Figures 3, 4-a, and 4-b show the same relationships for the spillway of Cooper Dam as those of Figures 1, 2-a, and 2-b, respectively. Similar figures of the other 20 dams are given in the M. Sc. thesis of Khalaf (2017). In the following, the analyses of these triplet figures of all the 22 dams are summarized and discussed.

Table 3 - Output of computations for the discharge coefficients for the partially-opened gates (1) by the 1973 edition and (2) by the 1987 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973, 1987) using the laboratory data of the spillway of Norton Dam (USBR 1962)

All lengths are in ft and discharges are in cfs

Gate trunnion coordinates (y, x): 32.00 35.35
Gate seat coordinates (y, x): -0.35 4.07

Discharge coefficients and their relative differences for the partially-opened flow case:

Hmsrd	dmsrd	Qmsrd	C-73	Cexp-73	RD-C-73	C-87	Cexp-87	RD-C-87
8.07	2.	3000.	.6927	.7621	-9 %	.6690	.7538	-11 %
12.07	2.	3900.	.7025	.7934	-11 %	.6690	.7825	-15 %
16.07	2.	4800.	.7076	.8395	-16 %	.6690	.8250	-19 %
20.07	2.	5300.	.7117	.8267	-14 %	.6690	.8096	-17 %
24.07	2.	5900.	.7155	.8396	-15 %	.6690	.8193	-18 %
28.07	2.	6300.	.7190	.8306	-13 %	.6690	.8075	-17 %
32.07	2.	6900.	.7222	.8521	-15 %	.6690	.8255	-19 %
36.07	2.	7100.	.7250	.8283	-12 %	.6690	.7995	-16 %
12.00	4.	6600.	.6845	.7315	-6 %	.6693	.7226	-7 %
16.00	4.	8000.	.6934	.7515	-8 %	.6693	.7402	-10 %
20.00	4.	9200.	.6987	.7647	-9 %	.6693	.7507	-11 %
24.00	4.	10500.	.7031	.7921	-11 %	.6693	.7750	-14 %
28.00	4.	11500.	.7059	.8009	-12 %	.6693	.7808	-14 %
32.00	4.	12200.	.7082	.7938	-11 %	.6693	.7711	-13 %
36.00	4.	13000.	.7103	.7974	-11 %	.6693	.7719	-13 %
12.03	6.	9000.	.6666	.6994	-5 %	.6719	.6878	-2 %
16.03	6.	11000.	.6799	.7122	-5 %	.6719	.6996	-4 %
20.03	6.	12800.	.6879	.7268	-5 %	.6719	.7120	-6 %
24.03	6.	14500.	.6933	.7432	-7 %	.6719	.7257	-7 %

28.03	6.	15800.	.6971	.7447	-6 %	.6719	.7248	-7 %
32.03	6.	17100.	.7000	.7510	-7 %	.6719	.7284	-8 %
36.03	6.	18200.	.7030	.7520	-7 %	.6719	.7267	-8 %
40.03	6.	19500.	.7050	.7637	-8 %	.6719	.7354	-9 %
16.09	8.	13500.	.6664	.6784	-2 %	.6744	.6625	2 %
20.09	8.	16100.	.6771	.7021	-4 %	.6744	.6846	-1 %
24.09	8.	18200.	.6842	.7119	-4 %	.6744	.6924	-3 %
28.09	8.	20100.	.6893	.7201	-4 %	.6744	.6982	-3 %
32.09	8.	21800.	.6931	.7256	-4 %	.6744	.7011	-4 %
36.09	8.	23400.	.6961	.7312	-5 %	.6744	.7041	-4 %
40.09	8.	24900.	.6985	.7362	-5 %	.6744	.7064	-5 %
20.17	10.	18900.	.6663	.6781	-2 %	.6773	.6574	3 %
24.17	10.	21700.	.6752	.6934	-3 %	.6773	.6710	1 %
28.17	10.	24000.	.6816	.6992	-3 %	.6773	.6748	0 %
32.17	10.	26400.	.6863	.7122	-4 %	.6773	.6853	-1 %
36.17	10.	28800.	.6901	.7277	-5 %	.6773	.6978	-3 %
40.17	10.	30500.	.6930	.7279	-5 %	.6773	.6956	-3 %
44.17	10.	32100.	.6955	.7284	-5 %	.6773	.6936	-2 %
20.24	12.	21500.	.6556	.6647	-1 %	.6803	.6401	6 %
24.24	12.	24700.	.6662	.6744	-1 %	.6803	.6491	5 %
28.24	12.	27900.	.6738	.6908	-2 %	.6803	.6636	3 %
32.24	12.	30600.	.6796	.6991	-3 %	.6803	.6698	2 %
36.24	12.	33000.	.6840	.7043	-3 %	.6803	.6726	1 %
40.24	12.	35500.	.6876	.7142	-4 %	.6803	.6798	0 %
44.24	12.	37600.	.6905	.7181	-4 %	.6803	.6812	0 %
20.29	14.	24000.	.6450	.6616	-3 %	.6837	.6320	8 %
24.29	14.	27900.	.6573	.6721	-2 %	.6837	.6433	6 %
28.29	14.	31400.	.6662	.6818	-2 %	.6837	.6519	5 %
32.29	14.	34500.	.6729	.6884	-2 %	.6837	.6569	4 %
36.29	14.	37600.	.6781	.6988	-3 %	.6837	.6649	3 %
40.29	14.	40500.	.6822	.7081	-4 %	.6837	.6716	2 %
44.29	14.	43000.	.6856	.7125	-4 %	.6837	.6736	2 %
24.34	16.	30500.	.6485	.6644	-2 %	.6877	.6321	9 %
28.34	16.	34500.	.6586	.6725	-2 %	.6877	.6402	7 %
32.34	16.	38400.	.6662	.6848	-3 %	.6877	.6509	6 %
36.34	16.	41800.	.6721	.6921	-3 %	.6877	.6563	5 %
40.34	16.	45000.	.6769	.6992	-3 %	.6877	.6612	4 %
44.34	16.	48000.	.6808	.7055	-4 %	.6877	.6651	3 %
24.37	18.	33000.	.6397	.6632	-4 %	.6919	.6267	10 %
28.37	18.	37800.	.6510	.6739	-3 %	.6919	.6386	8 %
32.37	18.	42000.	.6596	.6814	-3 %	.6919	.6455	7 %
36.37	18.	46000.	.6662	.6904	-4 %	.6919	.6529	6 %
40.37	18.	49500.	.6715	.6954	-3 %	.6919	.6559	5 %
44.37	18.	52800.	.6759	.7004	-3 %	.6919	.6587	5 %
28.39	20.	40300.	.6435	.6674	-4 %	.6966	.6292	11 %
32.39	20.	44800.	.6530	.6709	-3 %	.6966	.6333	10 %
36.39	20.	49200.	.6603	.6789	-3 %	.6966	.6402	9 %
40.39	20.	53000.	.6662	.6825	-2 %	.6966	.6424	8 %
44.39	20.	57500.	.6711	.6976	-4 %	.6966	.6549	6 %
32.40	22.	47800.	.6464	.6689	-3 %	.7022	.6291	12 %
36.40	22.	52600.	.6545	.6750	-3 %	.7022	.6350	11 %
40.40	22.	57100.	.6610	.6817	-3 %	.7022	.6403	10 %
44.40	22.	61600.	.6663	.6912	-4 %	.7022	.6479	8 %
32.40	24.	50500.	.6398	.6673	-4 %	.7074	.6251	13 %
36.40	24.	55800.	.6486	.6726	-4 %	.7074	.6310	12 %
40.40	24.	60700.	.6557	.6782	-3 %	.7074	.6359	11 %
44.40	24.	65400.	.6615	.6850	-3 %	.7074	.6411	10 %
36.39	26.	58800.	.6428	.6715	-4 %	.7128	.6281	13 %
40.39	26.	64000.	.6504	.6746	-4 %	.7128	.6314	13 %
44.39	26.	69000.	.6567	.6799	-3 %	.7128	.6356	12 %

36.38	28.	61500.	.6369	.6707	-5 %	.7187	.6251	15 %
40.38	28.	67200.	.6452	.6732	-4 %	.7187	.6288	14 %
44.38	28.	72800.	.6519	.6794	-4 %	.7187	.6344	13 %
40.36	30.	70300.	.6399	.6736	-5 %	.7245	.6277	15 %
44.36	30.	76100.	.6471	.6768	-4 %	.7245	.6312	15 %
40.34	32.	73400.	.6346	.6769	-6 %	.7300	.6288	16 %
44.34	32.	79800.	.6423	.6802	-6 %	.7300	.6332	15 %
44.31	34.	82800.	.6375	.6798	-6 %	.7350	.6315	16 %

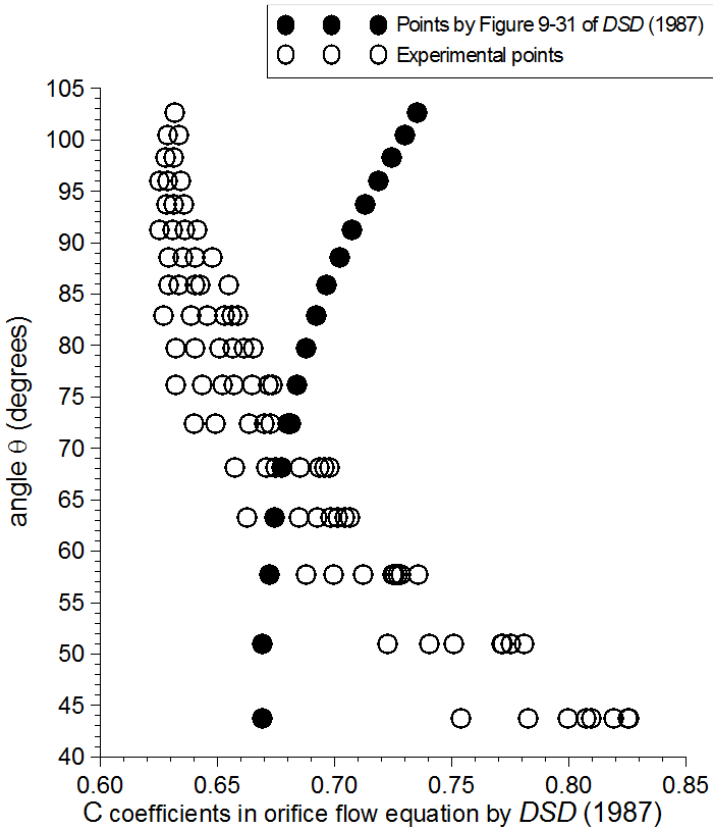


Figure 1 - Plot of the discharge coefficients C-87 versus the angle Θ obtained by the data measured on the laboratory model of the spillway of Norton Dam (USBR 1962) together with the points given by Figure 9-31 of the third edition of *Design of Small Dams* (USBR 1987) for the same Θ's

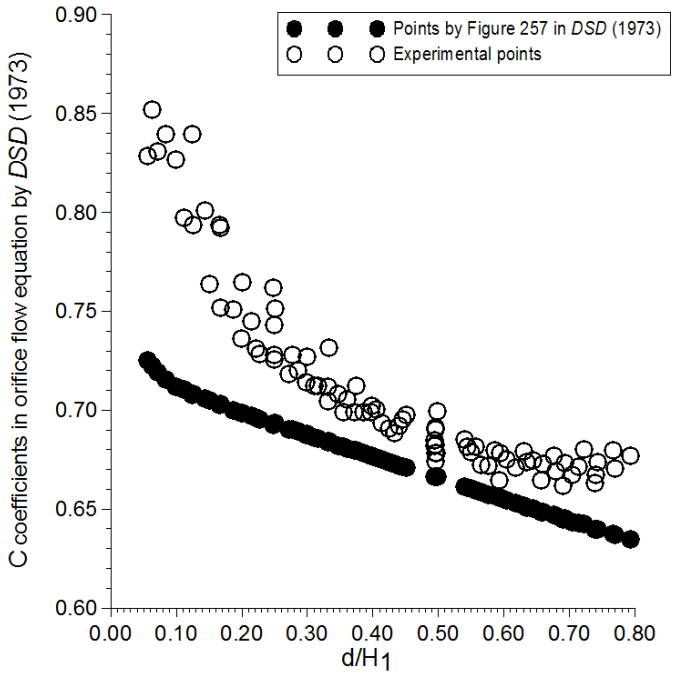


Figure 2.a - Plot of the discharge coefficients C-73 versus the ratio d/H_1 obtained by the data measured on the laboratory model of the spillway of Norton Dam (USBR 1962) together with the points given by Figure 257 of the second edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973)

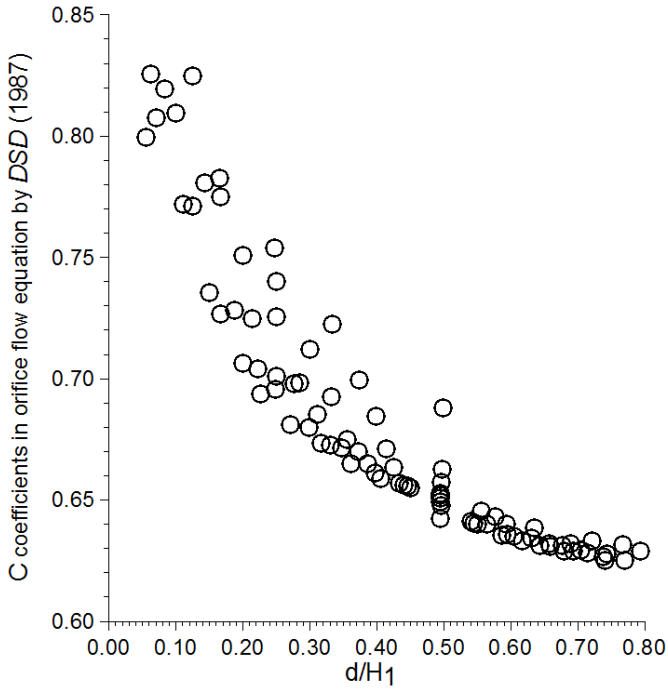


Figure 2.b - Plot of the discharge coefficients C-87 versus the ratio d/H1 obtained by the data measured on the laboratory model of the spillway of Norton Dam (USBR 1962)

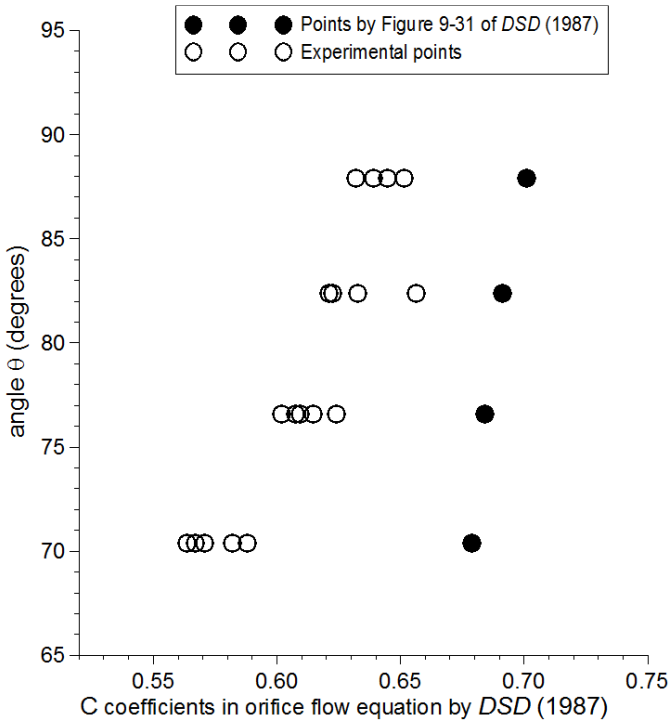


Figure 3 - Plot of the discharge coefficients C-87 versus the angle Θ obtained by the data measured on the laboratory model of the spillway of Cooper Dam (USACE 1980) together with the points given by Figure 9-31 of the third edition of *Design of Small Dams* (USBR 1987) for the same Θ's

First of all, we have noticed that a few different-magnitude *C-87*'s exist against the same numerical value of the angle Θ, which can be clearly seen in both Figures 1 and 3. It is geometrically obvious that the angle Θ assumes a constant value when the gate opening is fixed, because the tangents to the gate lip and to the crest curve of the spillway will be at fixed positions in that case. It is analytically obvious that there being different magnitudes of the *C-87* coefficient corresponding to the same value of the angle Θ means that *C-87* depends on another independent variable next to Θ. Yet again, it is analytically evident that the other explanatory variable must be related to the lake water surface elevation simply because the other *C-87*'s for the same Θ correspond to different water surface elevations at the same gate opening position. Therefore, the other explanatory independent variable is deemed to be the ratio of the vertical gate opening to the total head with respect to the spillway apex, which is symbolized by d/H_1. In the 1973 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973), the discharge coefficient *C-73* is determined as a function of d/H_1. Similary, the analyses in our study indicate that the discharge coefficient of the new method, *C-87*, should be a function of d/H_1 next to the angle Θ. Both Figures 2-a, 2-b, and 4-a, 4-b reveal plots verifying this so-far-ignored fact. Figure 2-a

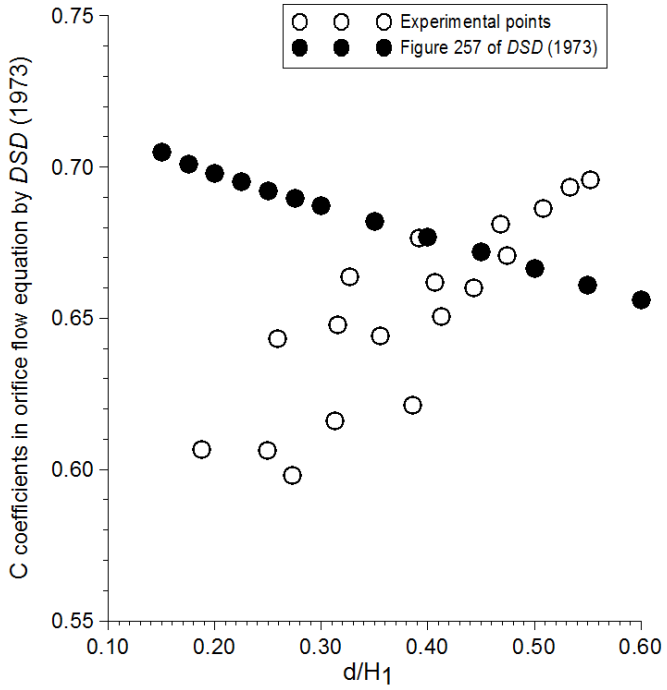


Figure 4-a - Plot of the discharge coefficients *C-73* versus the ratio d/H_1 obtained by the data measured on the laboratory model of the spillway of Cooper Dam (USACE 1980) together with the theoretical points given by Figure 257 of the second edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973)

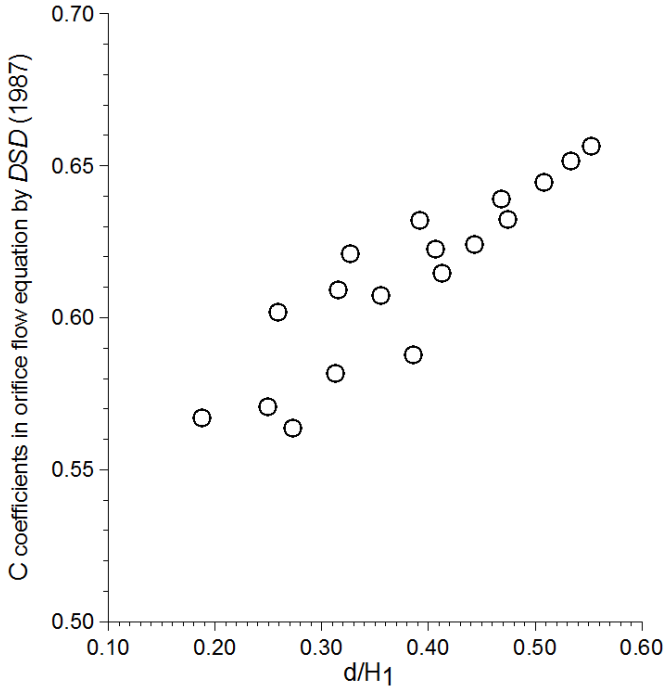


Figure 4-b - Plot of the discharge coefficients *C-87* versus the ratio d/H_1 obtained by the data measured on the laboratory model of the spillway of Cooper Dam (USACE 1980)

Figure 2-a shows the variation of the measured values of the *C-73* coefficient together with the values given by Figure 257 of the 1973 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973) for the spillway of Norton Dam. Although there is not a close fit, still, the measured *C-73*'s exhibit parallel values to those given by Figure 257 of the 1973 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973). Interestingly, the plots of the measured *C-87* values versus d/H_1 also exhibit a trend parallel to the measured *C-73* values. In other words, as can be appreciated easily by inspecting Figure 2-b, although unnoticed so far, the discharge coefficient of the 1987 method, *C-87*, also indicates a close relationship to the ratio d/H_1. The measured data of the spillway of Norton Dam is one of a total of 22 such reports we have been able to acquire. In Figure 4-a, an interesting relationship is observed between the discharge coefficient of the previous method, *C-73*, and the ratio d/H_1 , which is contradictory to the theoretical curve. So, for the spillway of Cooper Dam, the relationship between *C-73* and d/H_1 is opposite of what is expected out of Figure 257 of the 1973 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973). Yet, as seen in Figure 4-b, for Cooper Dam the relationship between the discharge coefficient of the recent method, *C-87*, and the ratio d/H_1 also exhibits an increasing *C-87* with an increasing d/H_1, parallel to the relationship of *C-73* with d/H_1.

In short, out of 22 reports, 9 cases revealed *C-73* and d/H_1 and also *C-87* and d/H_1 relationships parallel to the curve given in Figure 257 of the 1973 edition of *Design of Small Dams* (USBR 1973), which is decreasing *C-73* with increasing d/H_1 and also decreasing *C-87* with increasing d/H_1, and 13 cases showed contradictory behavior, namely, increasing *C-73* with increasing d/H_1 and also increasing *C-87* with increasing d/H_1. The reason for the relationship between *C-87* and d/H_1 having a negative slope for some spillways and a positive slope for some other spillways is not explicable to us initially. We have computed miscellaneous ratios like: (sill height)/(spillway length), (gate height)/(spillway length), (trunnion height)/(spillway length), and (radius of gate)/(spillway length), which are symbolized as P/L, G_H/L, T_H/L, Rg/L, respectively, with the hope of relating the classification of positive or negative slope to a tangible quantity. The trunnion height, T_H, is the difference in elevations of the gate trunnion and of the gate seat. The tables comprising the numerical values of these ratios suggest that the ratios of (trunnion height)/(spillway length), T_H/L, and/or (radius of gate)/(spillway length), Rg/L, can be taken as guides for the slope of the relationship between *C-87* and the second explanatory variable: d/H_1. According to the analyses of these 22 model data, it seems, the slope of the relationship between *C-87* and d/H_1 is negative when $T_H/L > 0.25$ and positive if $T_H/L < 0.25$. Aside from that, it seems, the slope of the relationship between *C-87* and d/H_1 is negative when $Rg/L > 0.5$ and positive if $Rg/L < 0.5$.

Leaving these observations aside, we have plotted the *C-87* coefficients versus the angle Θ obtained by the measured data of all of these 22 spillways all in one figure, which is Figure 5. Six of these 22 spillways have gate seats directly at the top of the apex, while the gate seats of the other 16 are placed downstream from the apex at a distance about a small percentage of the design head. Because the trajectories of the shooting jet under the partially-opened radial gate by

these two distinct cases should be different, the relationship of *C-87* with the angle Θ is also deemed to be different; and hence, although not too far apart, there are two different charts for these two cases (USBR 1987, USACE 1987). In Figure 5, those charts from Figure 9-31 of *Design of Small Dams* (USBR 1987) are shown by green and yellow lines extended within the same ranges as in Figure 9-31. The points of *C-87* against Θ are shown in blue for those spillways whose gate seats are downstream from the apex, and the points of *C-87* against Θ are shown in red for those spillways whose gate seats are right on top of the apex in Figure 5. First of all, the overall appearance of the plotted points in Figure 5 does not give hope for a generalizable clustering around a potential curve. Another noteworthy observation in Figure 5 is that, the end points of the green and yellow lines in the figure, which are taken from Figure 9-31 of *Design of Small Dams* (USBR 1987), are actually too short to cover the experimentally measured ranges.

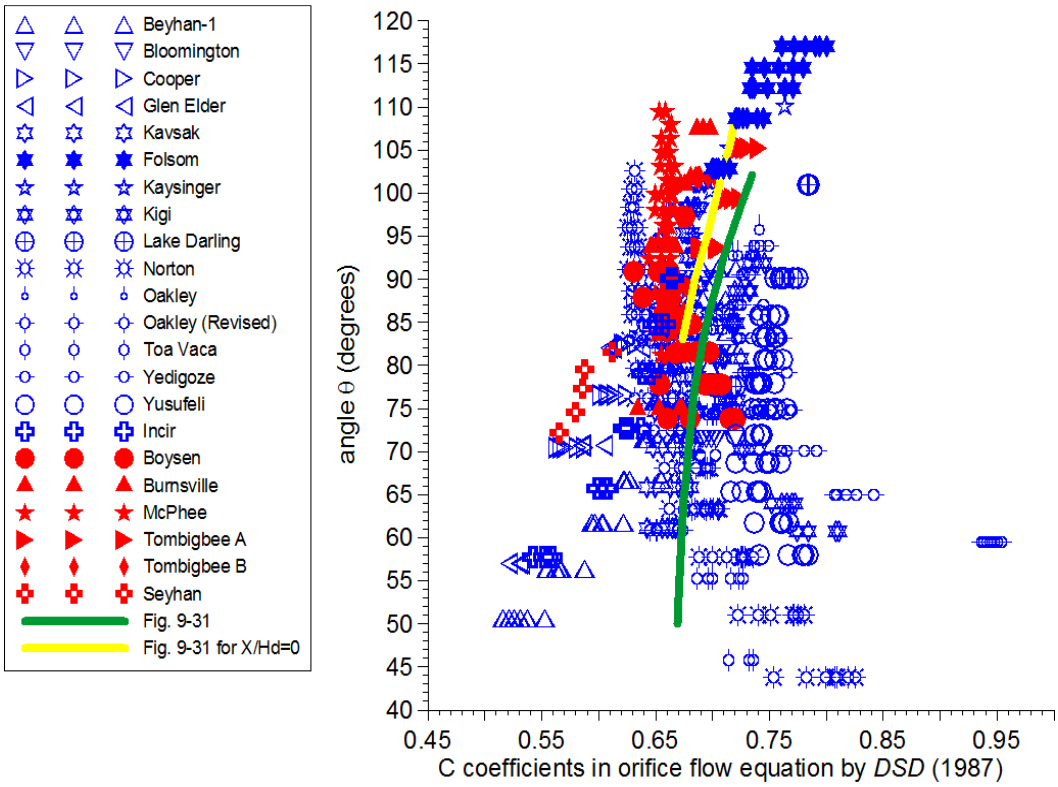


Figure 5 - Plot of the discharge coefficients *C-87* versus the angle Θ obtained by the measured data in all of 22 reports used in this study together with the charts given in Figure 9-31 of the third edition of *Design of Small Dams* (USBR 1987)

Investigating Figure 5, we come to the conclusion that a generalized model for the discharge coefficient *C-87* does not look to be meaningfully unique. The scales of those laboratory models vary between 1:15 to 1:72, eight with scales greater than 1:60, four with scales 1:48 and 1:50, seven within scales 1:36 and 1:42, and two having the scales of 1:15 and 1:25. Seyhan Dam's

spillway has a scale 1:1. And hence, there should be scale effects on the measured values. As noted by Haug (2014), for small gate openings, surface tension and viscosity effects may be significant which may have affected the hydraulic behavior of the spilling jet for small-scale models. Haug (2014) commented: "Scale models smaller than 1/50 can have more than 15 % error just due to viscous scale effects." The scales of the spillway models of Yedigoze and Beyhan-1 Dams are 1:70 and that of Glen Elder Dam is 1:72 (DSI 2008, 2012; USBR 1966), which are the smallest size models out of the 22 cases analyzed in our study. For these three spillway models, the plotted points with small Θ angles, meaning small gate openings, look appreciably deviant from those of larger openings in Figure 5 and in the individually drawn figures (Khalaf 2017). It is a known fact that dimensioning of spillway models and proportioning of the numerical values measured on the model to those of the prototype structure are made based on Froude similarity only, and Reynolds similarity is neglected because it is physically impossible to satisfy both. In short, we believe it is difficult to expect close clustering of relationships obtained out of laboratory measurements from different scale models. Assuming we analyzed 222 laboratory model reports instead of 22, we believe, we would obtain yet a wider scatter when all the measured points were plotted in a single figure.

Yet, there are geometrical properties of the approach conditions and the spillway configuration peculiar to each dam. For example, some spillways are located at either the left-hand side or the right-hand side of the embankment, and yet some others are located right at the middle of a concrete arch dam with no approach channel. The geometrical shapes of the approach channels are also different from each other. In short, even if the needed quantities affecting the discharge characteristics of a spillway are measured directly on the prototype structure, still there would be differences which would be off from a generalized relationship.

Therefore, our final result is that for an important dam, a laboratory model study, with a scale no smaller than 1:50, must be carried out beforehand, and the discharge coefficient of the analytical model had much better be individually obtained rather than using a generalized chart like Figure 9-31 of the third edition of *Design of Small Dams* (USBR 1987). Inspecting the relationships of *C-87* against Θ and against d/H_1 for each report separately implicates that indeed individually for each dam *C-87* may be significantly related to both of these explanatory variables, Θ and d/H_1. Hence, regression equations are computed separately for each one of these 22 cases analyzed in this study. Table 5 presents the magnitudes of the coefficients, of the **t** values of the coefficients, and of the determination coefficients of the regressions for the Norton and Cooper Dams. The others are given in the M.Sc. thesis by Khalaf (2017), and most of the regression coefficients are meaningful at 95 % significance and their determination coefficients are around 90 %.

Table 5 - Values of the coefficients, of their t values (in parentheses), and of the determination coefficients (R^2, adjusted for degree of freedom) of the regression equations for *C-87* for Norton and Cooper Dams

Regression equation for *C-87* is: $C\text{-}87 = c_0 + c_1 \times \Theta + c_2 \times \Theta^2 + c_3 \times (d/H_1) + c_4 \times (d/H_1)^2$

Dam / R^2_{adj}	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4
Norton	1.12	-0.00888	0.000052	-0.259	0.144
$R^2_{adj} = 0.92$	(65.1)	(-15.4)	(13.1)	(-10.2)	(5.2)
Cooper	-0.649	0.0285	-0.000165	0.127	0.0
$R^2_{adj} = 0.97$	(-3.0)	(5.2)	(-4.7)	(7.4)	

During the construction of the approach channel of the spillway of a dam, a safe and sound steel rope and cable car unit can be mounted over it. As compared to the total cost of the spillway and its appurtenances, the cost of this cable car unit should be negligibly small. During days of high incoming flows, either by a conventional current meter or another instrument like an Acoustic Doppler Anemometer, point velocities all over the cross-section of the approach channel can be measured and the total discharge can be determined by integration of small area flow rates over the entire section. This experiment can be repeated for various gate openings and lake water surface elevations in any day of any year whenever suitable. The occurrences of high waters during the service life of a dam most probably will be smaller than the design floods like having a 10,000-year average return period. Therefore, real-life experiments on such units will probably be carried out for fairly small gate openings and not too high lake water surface elevations. This should be an advantage actually, because, as mentioned in some relevant literature, at small gate openings and low water surface elevations the viscous and surface tension effects may cause unrealistic flow characteristics to happen for small-scale laboratory models. Hence, prototype measurements would yield realistic measurements for low values. The actual spillway measurements at low heads and small gate openings could be conjunctively evaluated with high heads and large gate openings obtainable in laboratory models. The real danger of this operation for the technicians in the cable car is a serious disadvantage. Therefore, today, a robot in the cable car programmed to do the measurements can be used instead.

5. Conclusions

Six laboratory model studies by USBR, nine by USACE, six by DSI (General Directorate of State Water Works of Turkey) containing measured data for partial gate openings of radial-gated ogee spillway models are analyzed. Five points of lake water surface elevation, gate opening, and spillway discharge, which are based on actual point velocity measurements across the entire section of the approach channel of Seyhan Dam in Turkey are also included in the study. The conclusions reached are as follows.

It is noticed that Figure 9-31 in the recent edition of *Design of Small Dams* (USBR 1987) is insufficient for accurately estimating the discharge coefficient of the equation used by USBR for computing the spillway discharge. Analyses of these 22 reports strongly suggest that the discharge coefficient, symbolized by *C-87* here, should be calculated relating it (1) to the angle between the tangent to the gate lip and the tangent to the crest curve closest to the gate lip (Θ) and (2) to the ratio of the gate opening to the head with respect to the spillway apex (d/H_1).

The relationship between *C-87* against the two explanatory variables (the angle Θ, and the ratio d/H_1) should be determined as a result of laboratory model studies having a scale no smaller than 1:50, individually for a particular dam.

References

Alhashimi, S. A. M. (2013) CFD modeling of flow over ogee spillway by using different turbulent models. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 2(15), 1682–1687.

Ansar, M. and Chen, Z. (2009) Generalized flow rating equations at prototype gated spillways. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 135(7), 602–608.

Bagatur, T. and Onen, F. (2016) Computation of design coefficients in ogee-crested spillway structure using GEP and regression models. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(2), 951–959. DOI 10.1007/s12205–015–0648–x.

Bahajantri, M. R., Eldho, T. I., Deolalikar, P. B. (2007) Numerical modeling of turbulent flow through spillway with gated operation. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 72, 221–243. DOI: 10.1002/nme.2016.

DSI (1959) *Report on Flowrate Measurements at the Flood Routing Spillway of Seyhan Dam* (in Turkish). Ministry of Housing and Development, General Directorate of State Water Works, Ankara, Turkey.

DSI (2004) *Report on Model Studies of Flood Spillway of Kigi Dam, Model no:356, Publication no: 969* (in Turkish). Technical Research and Quality Control Department, General Directorate of State Water Works, Ankara, Turkey.

DSI (2008) *Report on Model Studies of Flood Spillway of Yedigoze Dam, Model no:381, Publication no: 995* (in Turkish). Technical Research and Quality Control Department, General Directorate of State Water Works, Ankara, Turkey.

DSI (2010) *Report on Model Studies of Flood Spillway of Kavsak Dam, Model no:385, Publication no: 1005* (in Turkish). Technical Research and Quality Control Department, General Directorate of State Water Works, Ankara, Turkey.

DSI (2012) *Report on Model Studies of Flood Spillway of Beyhan-1 Dam, Model no:392, Publication no: 1017* (in Turkish). Technical Research and Quality Control Department, General Directorate of State Water Works, Ankara, Turkey.

DSI (2013) *Report on Model Studies of Flood Spillway of Incir Dam, Model no:402, Publication no: 1026* (in Turkish). Technical Research and Quality Control Department, General Directorate of State Water Works, Ankara, Turkey.

DSI (2015) *Report on Model Studies of Flood Spillway of Yusufeli Dam, Model no:406, Publication no: 1033* (in Turkish). Technical Research and Quality Control Department, General Directorate of State Water Works, Ankara, Turkey.

Enerjisa (2009) *Hydraulic Design of Flood Spillway of Kavsak Dam.* Enerjisa Engineering Ltd, Istanbul, Turkey.

Haktanir, T., Citakoglu, H., Kucukgoncu, H. (2016) An efficient algorithm for ogee spillway discharge with partially-opened radial gates by the method of *Design of Small Dams* and comparison of current and previous methods. *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 5(7), 13–26, ISSN (e): 2319 – 1813 ISSN (p): 2319 – 1805.

Haug, P. E. (2014) Spillway Capacity and Discharge Uncertainty – Why Do Rating Curves Rarely Agree with Flow Measurement Records? (http://www.ayresassociates.com/wp-content/uploads/2014/02/Spillway-Rating-Curves-Flow-Studies.pdf).

Khalaf M. (2017) *Comparison of Discharge Coefficients for Partially-Opened Radial-Gated Ogee Spillways*, M. Sc. Thesis. Graduate School of Natural and Applied Sciences, Erciyes University, Kayseri, Turkey.

Kim, G. D. and Park, J. H. (2005) Analysis of flow structure over ogee-spillway in consideration of scale and roughness effects by using CFD model. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 9(2), 161–169, DOI: 10.1007/BF02829067.

Mazumdar, S. K. and Roy, I. D. (1997) Orifice flow in a gated spillway. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 3(2), 44–52, DOI: 10.1080/09715010.1997.10514609.

Sanko (2007) *Final Feasibility Report of Yedigoze Dam and HPP Volume 1, Appendix-4: Hydraulic Design of Flood Spillway* (in Turkish). Sanko Engineering and Consulting Inc., Cetin Emec Boulevard, 6th Street, No: 61/7, 06520 Balgat, Ankara, Turkey.

Saunders, K., Prakash, M., Cleary, P. W. (2014) Cordell, M., Application of Smoothed Particle Hydrodynamics for modeling gated spillway flows. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 4308–4322, DOI: 10.1016/j.apm.2014.05.008.

Savage, B. M. and Johnson, M. C. (2001) Flow over ogee spillway: Physical and numerical model case study. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 127(8), 640–649.

Schohl, G. A. (2016) Discharge Correlations for Spillways with Radial Gates. In B. Crookston & B. Tullis (Eds.), *Hydraulic Structures and Water System Management*. 6th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, Portland, OR, 27–30 June (pp. 641–651). Doi: 10.15142/T34106228160853 (ISBN 978–1–884575–75–4).

Temelsu (2007) *Final Design Project of Bayramhacılı Dam and HPP, Chapter 3.1: Hydraulic Design of Flood Spillway* (in Turkish). Temelsu Engineering and Consulting Inc., Ankara, Turkey.

USACE (1987) *Hydraulic Design Criteria, Sheets 311-1 to 311-5, Tainter Gates on Spillway Crests, Discharge Coefficients*. Department of the Army, Corps of Engineers, Mississippi River Commission, Waterways Experimentation Station, Vicksburg, Mississippi, USA.

USACE (1968) *Report on Model Studies of Spillway for Kaysinger Bluff Dam Osage River, Missouri, Hydraulic Model Investigation, Report No:* TR/2-809, US Department of The Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USACE (1970) *Report on Model Studies of Spillway for Oakley Dam, Sangamon River, Hydraulic Model Investigation*, Technical Report TR-H-70-13. Hydraulics Laboratory, US Department of The Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USACE (1972) *Report on Model Studies of Spillway for Oakley Dam Sangamon River, Illinois. Appendix A: Type 2 (Revised) Spillway, Hydraulic Model Investigation, Report No:* TR/H-70-13-App-A, US Department of The Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USACE (1975) *Report on Model Studies of Spillway for Burnsville Dam, Little Kanawha River, West Virginia, Hydraulic Model Investigation, Report No:* TR/H-75-5, US Department of The Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USACE (1978) *Report on Model Studies of Typical Tennessee-Tombigbee Canal Section Spillways, Spillways A and B*, Hydraulic Model Investigation, Technical Report H-78-21, Hydraulics Laboratory, US Department of The Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USACE (1980) *Report on Model Studies of Spillway for Cooper Dam, Sulphur River, Texas. Hydraulic Model Investigation, Report No:* TR/HL-80-15, US Department of The Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USACE (1983) *Report on Model Studies of Bloomington Spillway North Branch Potomac River Maryland and West Virginia, Hydraulic Model Investigation, Report No:*TR/HL-83-9, US Department of The Army, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USACE (1988) *Report on Model Studies of Lake Darling Spillway Souris River, North Dakota, Hydraulic Model Investigation, Report No:* TR/HL-88-9, US Department of The Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USACE (1991) *Report on Model Studies of Pompton Dam Spillway, Pompton Lake Ramapo River Basin, New Jersey, Hydraulic Model Investigation, Technical Report* HL-91-19, US Department of The Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., USA.

USBR (1952) *Hydraulic Model Studies of Boysen Dam Spillway, Report No: 212,US* Department of The Interior, Bureau of Reclamation, Engineering Laboratories Branch, Design and Construction Division, Denver, Colorado, USA.

USBR (1962) *Hydraulic Model Studies on Norton Dam Spillway*, Missouri River Basin Project, Kanas, *Report No:* Hyd-493, *US* Department of The Interior, Bureau of Reclamation, Hydraulic Branch, Division of Research, Office of Assistant Commissioner and Chief Engineer, Denver, Colorado, USA.

USBR (1966) *Hydraulic Model Studies of the Spillway Glen Elder Dam*, Missouri River Basin Project, Kansas, *Report No:* Hyd-561, *US* Department of The Interior Bureau of Reclamation, Hydraulic Branch, Division of Research, Office of Chief Engineer, Denver, Colorado, USA.

USBR (1970) *Hydraulic Model Studies of Toa Vaca Dam Spillway*, Puerto Rico Water Resources Authority, *Report No:* REC-OCE-70-42, US Engineering and Research Center Bureau of Reclamation, Division of General Research, Denver, Colorado, USA.

USBR (1973) *Design of Small Dams*, Second edition, US Department of The Interior, Bureau of Reclamation, US Government Printing Office, Washington DC.

USBR (1981) *Hydraulic Model Studies of McPhee Dam Spillway*, *Report No:* GR-81-2, *US* Engineering and Research Center Bureau of Reclamation, Hydraulic Branch, Division of Research, Denver, Colorado, USA.

USBR (1987) *Design of Small Dams*, A Water Resources Technical Publication, Third edition, US Department of The Interior, Bureau of Reclamation, US Government Printing Office, Washington DC,.

USBR (2014) *Physical Hydraulic Model Studies of Folsom Dam Emergency Spillway, Tainter Gate Alternatives, Report No:* HL-2014-01, *US* Department of The Interior Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Hydraulic Investigation and Laboratories Services, Denver, Colorado, USA.

Artçı Depremlerin İzlenmesinde Can ve Mal Kaybının Azaltılması Çalışmaları: Deprem Kestirimi (Forecasting)

Ali Pınar

Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Çengelköy, İstanbul

Özet

Bu çalışma TÜBİTAK ile Research Councils of United Kingdom (RCUK) ikili işbirliği programı çerçevesinde desteklenmştir. Edinburg Universitesi, School of Geoscience bölümünden Prof John McCloskey, Dr. Mairead Nic Bhloscaidh ve Doç. Dr. Süleyman Nalbant yer almıştır. Türk ekibinde Sakarya Üniversitesi'nden Prof Dr. Murat Utkucu ve Prof Dr Levent Gülen görev almıştır.

Çalışma kapsamında, Türkiye'de büyük depremlerden sonra oluşan artçı deprem etkinliğin izlenmesi, meydana gelen büyük artçı depremlerin yeri, büyüklüğü ve zamanının belirlenmesi için yöntem geliştirilmiş, yöntem gerçek-zamanlı deprem dizilerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlara artçı deprem kestirim raporlarına yansıtılmıştır. Çalışmanın en önemli çıktısı, kestirim raporlarının afet çalışanlarıylala paylaşmak ve muhtemel risklerin azaltılması için önlemler alınmasını sağlamaktır.

Türkiye'de belli aralıklarla can ve mal kaybına sebep olan büyük depremler meydana gelmektedir. Büyük depremlerden sonra oluşan artçı depremlerin izlenmesinde yoğun sismik istasyonlardan elde edilecek veriler uygın yöntemlerle analiz edilerek artçı depremlerin oluşumu hakkında çok önemli bilgi sağlamaktadır. Nitelikli veri toplama ve sonuçların elde edilmesinde kullanılacak bir sistemin ana bileşenleri; 1) Artçı depremlerin izlenmesi için yerel sismik ağ kurulması ve işletilmesi, 2) Artçı deprem dizinlerinin analizi ve oluşabilecek büyük artçı depremin yeri, zamanı ve büyüklüğünün tahmin edilmesi için yöntem, 3) Kullanılan verilerin ve bunlardan elde edilen sonuçların günlük bazda güncellenmesi, tek sayfalık rapor oluşturulması, raporun deprem bölgesinde bulunan afet yöneticileriyle paylaşılması ve risklerin azaltılması için gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamaktır.

1. GİRİŞ

Artçı depremler, anaşok esnasında hasar görmüş binaların bulunduğu yerlerde meydana geldiği için bunlar aynı büyüklükteki diğer depremlerden daha fazla ölümlere ve hasara sebep olmaktadır (Gallagher vd., 1999). Deprem literatürün'de artçı depremlerin etkisini gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır. 1992 Landers, M=7.3 Kaliofrniya depreminden sonra meydana gelen M=6.3 Big Bear artçı depremi anaşoktan daha fazla zarar neden olmuştur (Felzer, 2009; Gallagher vd., 1999). Benzer şekilde, M=7.5 Kern County depreminin M=5.8 Bakersfield, Kalifornia artçı depremi can kaybını ve hasarı %10 arttırmıştır (Felzer, 2009). Managua 1972 depreminden sonar iki tane büyük hasar yapıcı artçı deprem meydana gelmiştir. Görgü tanıklarına göre, anaşoktan etkilenen fakat yıkılmayan çok sayıda bina bu artcişokların etkisiyle yerle bir olmuştur (Brown vd., 1973). Bir başka örnek M=7.9, 2008 Sichuan, Cin depremidir. Bu deprem sonrası meydana gelen 5 büyük artçı depremle can kaybı ve hasarı dikkat cekici olcude arttımistir(Felzer, 2009).

Genelde, artçı depremlerin neden olduğu can kaybı ve hasar anaşokun sebep olduğu rakamlardan daha düşük boyutlarda kalmaktadır. Ancak, 4 Eylül 2010 M=7.3 Darfield depreminde can kaybı ve hasar olmamasına rağmen 5 ay sonra meydana gelen Mw=6.3 depremi Christchirch şehrinde çok büyük hasara ve 185 can kaybına neden olmuştur (Potter vd., 2015). Benzer sekilde, M=9.3 Sumatra-Andaman depreminin tetiklediği M=8.7 büyüklüğündeki Nias depreminde can kaybı 2,000'den fazla olmuştur (McCloskey vd., 2005; Nalbant vd., 2005). Nisan 2015 M=7.8 Gorkha Nepal depreminden sonra meydana gelen M=7.3 Kodari artçı depremi önemli bir hasara ve 163 can kaybına neden olmuştur (Goda vd., 2015).

Artçı depremlerin hasarı ve can kaybını artırdığına gösteren örnekler Türkiye'den de verilebilir. 17 Ağustos 1999 Mw=7.5 İzmit depreminden yaklaşık 3 ay sonra meydana gelen Mw=7.2 Düzce depreminde kırılan 40 km uzunluğundaki fay segmenti yaklaşık 950 can kaybına neden olmuştur (Sucuoğlu, 2000). 2011 Mw=7.2 Van depreminden sonra hasar yapıcı artçı deprem meydana gelmiştir. Anaşok, merkez üssünün kuzeyinde yer alan Erçiş'te hasara sebep olmuştur. Episantıra daha yakın olmasın rağmen Van şehrinde önemli bir hasar meydana gelmemiştir. Ancak, 9 Kasım'da meydana gelen Mw=5.7

büyüklüğündeki artçı depremde Van şehir merkezinde büyük hasar ve 50 can kaybı meydana gelmiştir (Utkucu, 2012; Utkucu, 2013).

Büyük depremlerin, nerede, ne zaman ve ne büyüklükte meydana geleceğini kestirim çalışmalarında önemli bir başarı elde edilememiş olmasına karşın, artçı depremlerin izlenmesin esnasında gerçekleştirilen kestirim çalışmalarında artçı depremlerin, nerede, hangi zaman aralığında ve hangi büyüklükte meydana gelebileceği konusunda yapılan kestirim çalışmalarında önemli başarılar elde edilmiştir. Yukarıda sözü edilen artçı depremlerin çoğu önceden tahmin edilebilirdi. McCloskeyve dig. (2005) Nias artçı depremi meydana gelmeden 11 gün başarıyla tahmin etmiştir. Son 10 yılda tahmin algoritmalarında kullanılan istatistik yöntemlerde ve konunun fiziksel dayanağı hakkında önemli gelişmeler meydana gelmiş ve bu sayede belli bir olasılık aralığında artçı depremlerin buyukluklerine gore olusum oranlari başarlı bir şekilde tahmin edilebilinir hale gelmistir.

Son yıllarda operasyonel artci sok oranini tahmin calismalarinda önemli aşamalar kat edilmiştir (Omi vd., 2013; DeVries vd., 2018; Omi vd., 2019). Büyük depremlerden sonra çok sayıda artçı depremin tetiklenmesi depremden etkilenen bölgeye deprem riskini daha da artırmaktadır. Anaşoktan sonra oluşan bu risklerin azaltılmasında artçı depremlerin kestirimi çalışmalarının hemen başlatılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaç için çok sayıda yöntem geliştirilip test edilmektedir (ornegin Reasenberg and Jones, 1989; Gerstenberger vd., 2005; Hainzl vd., 2009; Woessner vd., 2011; Nanjo vd., 2012; Lippiello vd., 2016; Page vd., 2016). Bazı artçı deprem kestirim modelleri artçı depremlerin izlenmesinde kullanılarak uyarı vermek amacıyla denenmiştir (Marzocchi and Lombardi, 2009; Kaiser vd., 2017; Marzocchi vd., 2017). Ayrıca, artçı deprem kestirimini operasyonel olarak yürüten bazı çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Bu yontemler gelistme asamasinda oldugundan geriye donuk daha onceki depremler uzerinde test edilmektedir (Gerstenberger vd., 2005; Zechar vd., 2010; Marzocchi vd., 2014).

Daha öncede de değinildiği gibi, artçı depremlerin kestirimi anaşoktan sonra meydana gelen artçı depremler kullanılarak elde edilen parametrelerle gerçekleştirilmektedir. Veri sayısı ne kadar fazla olursa elde edilen sonuçlar o denli istatistiki açıdan anlamlı olmaktadır. Bu olguya istinaden, Japonya'da günümüzde olan artçı deprem kestirimi

uygulamalarında artçı deprem tahminleri anaşoktan itibaren bir hafta süreyle yapılmamasına dair karar alınmıştır. Bununla birlikte, artçı deprem oluşumları anaşoktan sonra bir hafta içinde sayıları ve büyüklükleri en üst düzeyde olduğu da bilinen bir gerçektir (ERC, 2016). Bu nedenle, konuyla ilgili araştırmalar hızla devam etmekte ve artçı depremlerin anaşoku takip eden ilk saatlerden sonra artçı depremlerin meydana gelme olasılıklarının belirlenmesi konusunda ciddi çalışmalar yapılmaktadır (Omi vd., 2019).

Ülkemizde de sık aralılarla hasar yapıcı depremler meydana gelmektedir. Geçtiğimiz yüzyılda meydana gelen 40'ın üzerinde depremde can kaybı 100,000'e yaklaşmıştır. Nerdeyse, her iki yılda bir can kaybına neden olan depremler meydana gelmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi büyük depremi önceden kestirmek mümkün olmasada bu durum artçı depremler icin daha umut vericidir. Ülkemizde de artçı depremlerin can kaybını ve hasarı artırdığını gösteren örnekler mevcuttur. Artçı deprem kestirimi konusundaki gelişmelerin ülkemizde de yaygınlaşması ve bu bilgilerin afet yöneticileriyle işbirliği yaparak artçı deprem bölgesinde can kaybını azaltılması yonundeki calismalara buyuk oranda ihtiyac vardir.

2. 2015 KATMANDU-NEPAL ARTÇI DEPREM KESTİRİMİ

Edinburg Universitesi, Yerbilimleri bölümü uzmanları Nepal'de 2015 yılında meydana gelen yıkıcı depremden sonra artçı depremlerin yer, zaman ve büyüklüklerini tahminlerini yaparak afet yöneticileriyle işbirliği içinde bulanmuş ve artçı depremlerin oluşturduğu riskleri minimuma indirgemişler, depremzedelere yardımların planlanmasında, risklere hazırlıklı olunmasında ve karar verici mercilere önemli destek sağlamışlardır. Aynı zamanda, acil durumlarda artçı deprem tahmin raporlarının okunması ve yorumlanması konularıyla ilişkili yardımsever kuruluşlara, arama-kurtarma ekiplerine yönelik eğitim ve destek programları geliştirilmiştir.

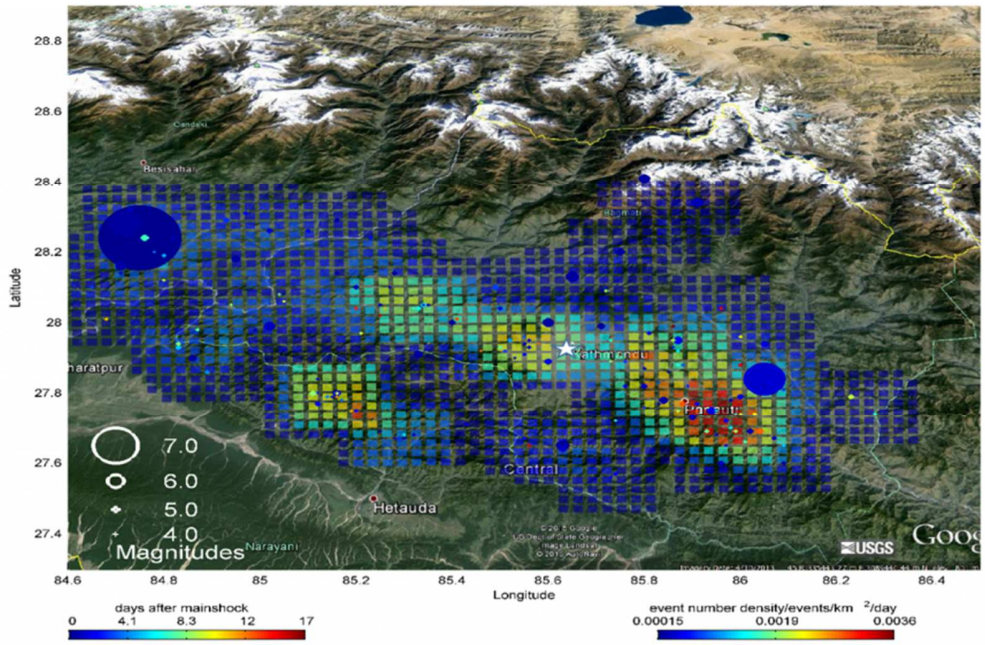
Artçı deprem kestirimi teknikleri gerçek zamanlı erişime açık olan deprem kataloglarında yer alan verilere dayanmaktadır. Ana şoktan hemen sonraki günlerde artçı depremlerin azalım oranları dikkatli bir şekilde izlenerek zamanla azalım parametreleri belirlenmekte ve gelecekte meydana gelebilecek artçı depremlerin sayılarıyla ilişkili öngörü yapılabilmektedir. Aynı zamanda, oluşan artçı depremlerin büyüklüklerin dağılımı da izlenerek gelecekte oluşabilecek büyük artçı depremlerin sayısı da tahmin

edilebilmektedir. Tablo 1'de, Nepal depremi artçı sarsıntırları kullanılarak elde edilen artçı deprem kestirim sonuçları verilmektedir.

Tablo 2-1. Belli bir büyüklüğü aşan artçı depremlerin meydana gelme olasılığı. Her bir tahmin dönemi için: n=gün sayısı; M=depremin büyüklüğü; p=verilen süre içinde (n), M büyüklüğündeki depremin meydana gelme olasılığının en iyi ihtimal değeridir; verilerdeki ve modeldeki belirsizlikleri içeren en kötü ihtimal değerini göstermektedir. Bu Tablo, artçı deprem süreci devam ederken gerçek-zamanlı olarak hesaplanmaktadır.

n = 3	*M*	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
	p	0.791	0.439	0.192	0.076	0.029	0.011	0.004	0.001	0.001
	kötümser	1.000	0.826	0.409	0.172	0.068	0.026	0.010	0.004	0.001
n =10	*M*	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
	p	0.948	0.664	0.331	0.138	0.053	0.020	0.007	0.003	0.001
	kötümser	1.000	1.000	0.673	0.308	0.125	0.049	0.019	0.007	0.003
n =30	*M*	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
	p	0.985	0.788	0.436	0.190	0.075	0.028	0.011	0.004	0.001
	kötümser	1.000	1.000	0.849	0.419	0.176	0.069	0.027	0.010	0.004

Tablo 1'de verilen bilgileri açıklamak için 30-günlük tahmin sürecini ele alalım. Burada, M=5.0 magnitüd kolonu altında yer alan 0.788 ve 1.000 olasılık değerlerine göre onumuzdeki 30 gün içinde M>5.0 büyüklüğündeki bir artçı depremin ortalama meydana gelme olasılığı %80 (p=0.788) civarında ve parametrelerdeki belirsizlikler goz onune alindiginda olasiligin ust limiti %100 (p=1.000) olmaktadir, yani bu büyüklükteki bir deprem mutlaka meydana gelecektir. Bu hesaplamalar calisma alaninin butununu kapsamakta ve yikici veya buyuk bir artci sokun yeri konusunda bize bir fikir vermemektedir. Bu nedenle, devam eden artçı deprem etkinliği yogunluk olarak zamana gore degisiminin izlenmesi ile gelecekte deprem etkinliğinin yüksek olacağı bölgeleri tahmin etmek için de bir yaklaşımda gelistirilebilinir.



Şekil 2-1. Nepal'de 11 Mayıs 2015 tarihi için elde edilen deprem yoğunluk haritası. Yıldız sembolü Katmandu'nun yerini göstermektedir.

2015 Nepal Katmandu depremi artçı deprem silsilesinden artçı depremlerin kestirimi Edinburg Universitesi araştırmacıları tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, çalıştaylar düzenlenerek artçı deprem kestirimi sonuçlarının afet yöneticileri ve acil müdahale ekipleri tarafından daha iyi anlaşılması için görüş alış-verişi yapılmış, kestirim raporlarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler açıklanmış, kestirim raporlarının içeriği ve formatların iyileştirilmesi sağlanmış ve insani yardım uygulamaları açısından önemli gelişmeler sağlanmıştır. Yapılan artçı deprem kestirimlerin niteliği ve kullanılan yaklaşımlar uluslararası yerbilimleri panellerinde akademik hakemler ve insani yardım uzmanları tarafından Ocak 2016 tarihinde titizlikle incelenerek değerlendirilmiştir.

2015 Nepal depremi Gorka bölgesinde Katmandu'nun kuzeybatısında meydana gelmiştir. Depremde 8,000 can kaybı, 20,000 yaralanma ve yüzbinlerce kişi evsiz kalmıştır. 28 Nisan günü bölgeye uluslararası yardım ekipleri ulaşmış ve çalışmalarını depremden en çok etkilenen Dokha, Sindhupalchowk, Dolakha and Sindhuli bölgelerinde yoğunlaştırmıştır. Edinburgh akibi 26 Nisan günü artçı deprem kestirimlerini operasyonel

olarak başlamış ve Mayıs ayının ilk günlerinde tatmin edici sonuçlar elde etmeye başlamıştır.

Acil yardım çalışmalarının ilk aşamasında, basın tarafından büyüklüğü M>8 olan ikinci bir deprem beklendiğine dair bilgi paylaşılmıştır. Bilim adamlarının bulgularına göre, Katmandu'nun batı kesimlerindeki bölgelerde tektonik hareketler sonucu gerilme artışı olduğu ve bu bölgede en son deprem 400 yıl önce meydana geldiği bilgisi paylaşılmıştır. İkinci deprem tehlikesine dair bilgi İnsani Yardım Ekiplerine (İKE) 5 Mayıs tarihinde iletilmiş ve birkaç hafta içinde ikinci bir depremin meydana gelme ihtimali %50 olduğu açıklanmıştır. Bu esnada, deprem bölgesinde bulundan İKE çalışanları yüzlerce artçı depreme maruz kalmış ancak asıl tehlikenin bu artçı depremlerin değil ikinci bir depremin olduğu bilgisi calisanlar arasinda bir tasalanma olusturmustur.

Konuya ilişkin ilk kestirim raporu 7 Mayıs tarihinde Edinburg ekibi tarafından hazırlanmıştır. Bu raporda, hesaplamalara belirsizliklerin eklenmesiyle elde edilen en kötü senaryoya göre yaklaşık %20 olasılıkla M>7.5 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme ihtimali olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kestirim raporuna göre gelecekte olabilecek büyük depremin yeri Katmandu'nun batısı değil artçı depremlerinin yoğunlaştığı Dolakha bölgesi olarak işaret edilmiştir (Şekil 1.1.). Bu bilgi doğrudan güvenilir kaynaktan geldiği için ikinci deprem tehlikesinin yeri konusundaki tereddütler giderilmiş ve deprem bölgesinde çalışan İKE elemanları büyük bir artçı deprem ihtimali konusunda uyarılmıştır. Bu bilgi hayati bir öneme sahiptir, çünkü o tarihlerde arama kurtarma faaliyetleri deprem bölgesinde devam etmekteydi.

12 Mayıs tarihinde, depremden 18 gün sonra Katmandu'nun kuzeydoğusunda bulunan Dolakha'da M=7.3 büyüklüğünde artçı deprem meydana gelmiş ve birçok binada hasar oluşmuştur. Bazı bölgelerde, binaların %98'i yıkılmış ki bunların çoğu anaşoku atlatmış olan binalardır. Bu artçı depremde 200'den fazla can kaybı olmuş ve 2,500 kişi yaralanmıştır. Bununla birlikte İKE mensupları arasında kayıp olmamıştır. Bu artçı deprem, 7 Mayıs tarihinde yayınlanan artçı deprem kestirim raporunda yer alan M=7.5

büyüklüğündeki depreme karşılık gelmektedir. Bu başarı, İKE mensuplarının artçı deprem kestirim çalışmalarına güvenini artırmıştır.

Edinburg ekibinin büyük artçı depremin tahmininde başarılı olmadan öncesi dönemlerde artçı deprem kestirimi raporlarındaki bilginin iletilmesinde genelde isteksiz bir tutum mevcut olmasına karşın başarılı olan kestirim sonrası kestirim raporlarından gelen bilgiler deprem bölgesinde çalışan tüm İKE elemanlarına iletilmis ve çalışmalara yeni katılanlara konu hakkında ayrıntılı bilgi veriliştir. Gelecekte olabilecek artçı depremlerin risk düzeyi tartışılmış ve gerekli olması durumunda tedbirlerin alınması konusunda adımlar atılmıştır.

Artçı deprem kestirimi çalışmalarının pilot uygulamadan yaygın kullanım aşamasına geçmesi için başlıca iki zorluk vardır: kapasite artırımı ve veri kalitesi. Nepal'deki başarı, az sayıda olan uzman çalışanların deneyimlerine dayanmaktadır. Kestirim yöntemlerinin dayandığı bilimsel içerik oldukça karmaşık ve iyi bir sonuç elde etmek için büyük çaba, zaman ve yetenek gerektirmektedir. Yukarıda verdiğimiz örnekten de anlaşıldığı gibi, örneğin, 7 Mayıs'ta üretilen kestirim mesajının anlaşılması ve bu bilginin etkin bir şekilde kullanılması için İKE mensuplarının onceden eğitilmesi gerekmektedir. Bu amaca ulaşmak için, hem İKE hem de bilim insanları kaynaklarını ve güçlerini ortak kullanmalıdır. İkinci zorluk ise veri kalitesidir. Veri kalitesinin arttırılması için depremlerden sonra, hızlı bir şekilde deprem bölgesine giderek acil müdahale çalışmalarının bir parçası olarak lokal sismik ağlar kurulması gerekmeketedir.

Yukarıda yapılan açıklamalarda görüldüğü gibi 2015 Nepal depremi esnasında Edinburg Universitesi grubu gerçek zamanlı artçı deprem kestirim sonuçlarını/raporları hem hükümet yetkilileriyle hem de sivil toplum kuruluşlarıyla paylaşmıştır. Bu raporlara, alansal değişim gösteren deprem yoğunluk bilgisi ve anaşokla oluşan gerilme değişim bilgisi eklenerek gelecekte oluşabilecek artçı depremlerin yerleri konusunda kalitativ öngörü yapılması sağlanmıştır.

İstatistiki kestirim yöntemleri, devam eden artçı deprem etkenliğinde yer alan artçıların doğru bir şekilde yerlerinin ve büyüklüklerinin hesaplanması bağlıdır. Ulusal sismik

ağlardan elde edilen çözümlerde depremlerin en düşük magnitüdlü eşikseviyesi nispeten yüksek olduğundan gözlemlenen artçı depremsayısı nispetedn daha az olmakta ve bu nedenle kestirim sonuçlarının güvenirliğini azaltmaktadır.

Bu nedenle, RAFT projesi kapsamında 8 adet yeni geniş bant sismometre satın alınmıştır. Bu cihazlarla deprem bölgelerinde lokal sismik ağlar kurularak elde edilen veriler ulusl sismik ağlardan elde edilen verilerle entegre edilmektedir. Bu sayede, yüksek çözünürlüklü veriler elde edilmektedir. Bunun örnekleri, 2017 Karaburun (Mw=6.3) ve Bodrum (Mw=6.6) depremlerinde görülmüştür.

RAFT projesinde esas amaç ülke genelinde herhangi bir yerde meydana gelecek büyük bir depremden sonra yerel (local) simik ağ kurularak elde edilecek verilerden gerçek zamanlı artçı deprem orani kestirimi yaparak, tehlike arz eden artçı depremlerin yerlerini belirlemektir.

3. DEPREM KESTİRİMİ

Artçı deprem kestirim çalışmalarında izelenecek aşamalar sıralanacak olursa; anaşok'tan sonra meydana gelen artçı depremlerin izlenmesi, bunlarla ilişkili günlük istatistiksel değerlendirilmelerin yapılması, büyük artçı depremlerin yeri, büyüklüğü ve zamanın gerçekleşme ihtimallerinin limitlerinin belirlenmesidir.

Başarılı bir artçı deprem tahmini, yüksek çözünürlüklü artçı deprem verisi gerektirmektedir. Mevcut ulusal sismik ağlardan elde edilen verilerin çözünürlüğünü artırmak için anaşoktan kısa süre sonra deprem bölgesinde kurulacak istasyonlarla gerçekleştirilmektedir. Bu sayede, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) ve Afet ve Acil Durum (AFAD) Yönetimi Başkanlığı ulusal sismik ağlardan elde edilen veriler ile artçı depremlerin izlenmesi için kurulan lokal deprem şebekesinden elde edilen veriler birleştirilerek yüksek çözünürlüklü, istatistiki açıdan anlamlı sonuçlar verecek kalitesi yüksek veriler elde edilmektedir.

Artçı deprem tahmin modelinde artçı depremin, büyüklüğü, zamanı ve yeri tahmin edilmek istendiğinden bu doğrultudaki bir tahmin modeli büyüklük, zaman ve uzay boyutunda ayrık

hale getirilerek bir deney uzayı oluşturulmaktadır. Örneğin, 2017 Bodrum anaşok depremi (M=6.6) sonrası geniş bir alanda artçı deprem etkinliği meydana gelmiştir. Artçı depremlerin meydana geldiği alan, küçük hücrelere bölünerek (örneğin; 5 x 5 km) ayrık bir model oluşturulmuş her bir hücrede meydana gelen artçı depremler kullanılarak her hücre için artçı deprem tahmini yapılmış ve belli büyüklükteki bir artçı depremin belli bir zaman aralığında meydana gelme olasılıkları hesaplanmıştır. Bunun sonucunda, her bir hücre için tahmin değerleri elde edilerek artçı depremin meydana gelme olasılığı hangi hücrelerde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Demek ki, bir artçı deprem tahmin modelinin oluşturulması için öncelikle ayrık bir deney uzayı oluşturmak gerekiyor. Bu deney uzayının bileşenleri; artçı deprem büyüklükleri, artçı depremin beklendiği zaman aralığı ve hesaplamaların yapıldığı hücre boyutları şeklindedir. Kısaca, buna Poisson yer-oran-büyüklük (space-rate-magnitude forecasting) kestirim modeli adı verilmektedir. Deprem dizileri genelde bir Poisson süreci olarak kabul edildiği için konuyla ilişkili çok temel ve genel bilgiye değinmekte yarar var.

Poisson dağılımı, bir Poisson olayını açıklayan ayrık bir olasılık dağılımdır. Diğer taraftan, bir Poisson olayında, depremlerin meydana gelme sıklığı λ, (veya ortalama oran) ile verilmekte ve bir depremin olma ihtimali bir önceki depremin oluş zamanından bağımsızdır. Belli bir zaman aralığında, *w adet,* depremin meydana gelme ihtimali aşağıdaki Poission olasılık denklemi ile verilmektedir,

$$\Pr(w \mid \lambda)=\frac{\lambda^{w}}{w!}\exp(-\lambda),$$

Burada, λ için, *w* tane depremin meydana gelme ihtimali belirlenmektedir. Örneğin, λ=11.1 ise w=4 adet depremin meydana gelme olasılığı %1 civarında olduğu bağıntıdan kolayca bulunabilir (Zechar vd., 2010). Poisson birikimli dağılım fonksiyonu ise en az w tane depremin meydana gelme olasılığını vermektedir;

$$F(w \mid \lambda)=\exp(-\lambda)\sum_{i=0}^{w}\frac{\lambda^{i}}{i!}$$

Benzer şekilde λ=11.1, w=4 için F(w | λ) = 1.4% olarak elde edilir. Poisson ters birikimli dağılımı fonksiyonu F^{-1}(p | λ) ise w'nin en küçük değerini bulmak için kullanılabilir. Söz

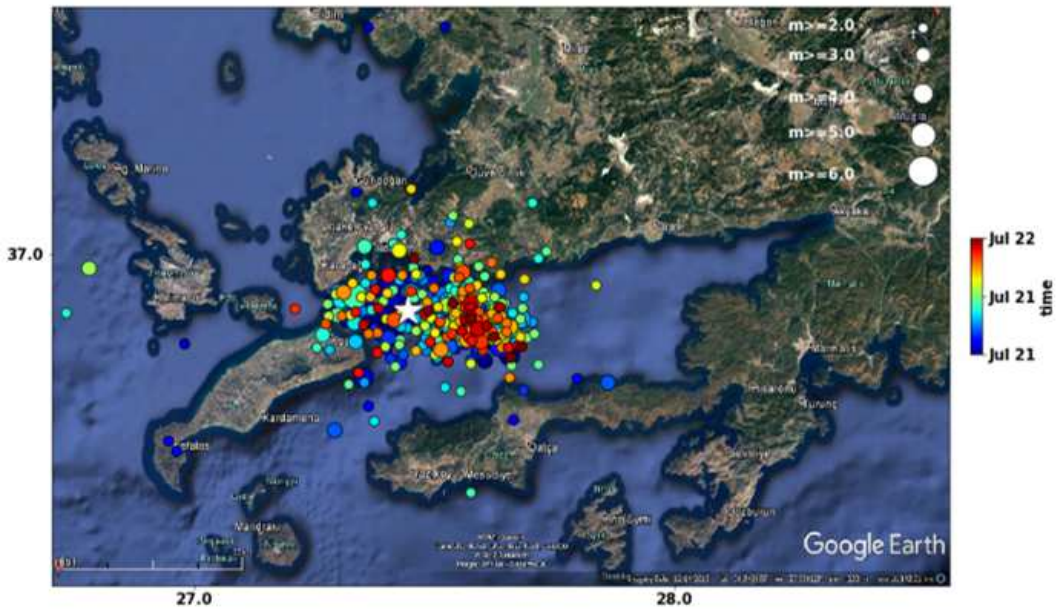
konusu temel olasılık bağıntıları geliştirilerek günümüzde depremlerin kestiriminde yaygın oalrak kullanılmaktadır.

4. 2017 BODRUM ARTÇI DEPREM KESTİRİMİ

Bir bölgede anaşok sonrası ilk günlerde meydana gelen artçı depremler kullanılarak bir kestirim modelini oluşturmaktadır. Oluşturulan bu artçı deprem tahmin modeli kullanılarak sonraki günlerde oluşabilecek farklı büyüklükteki artçı depremlerin sayıları, büyüklükleri ve bunların meydana gelme olasılıkları hesaplanabilir. Kolaylık olması açısından, bu bilgiler tek sayfalık rapor şeklinde afet kriz yönetimi yetkililerine paylaşılabilir ve bu bilgiye dayanarak gerekli tedbirler alınabilir.

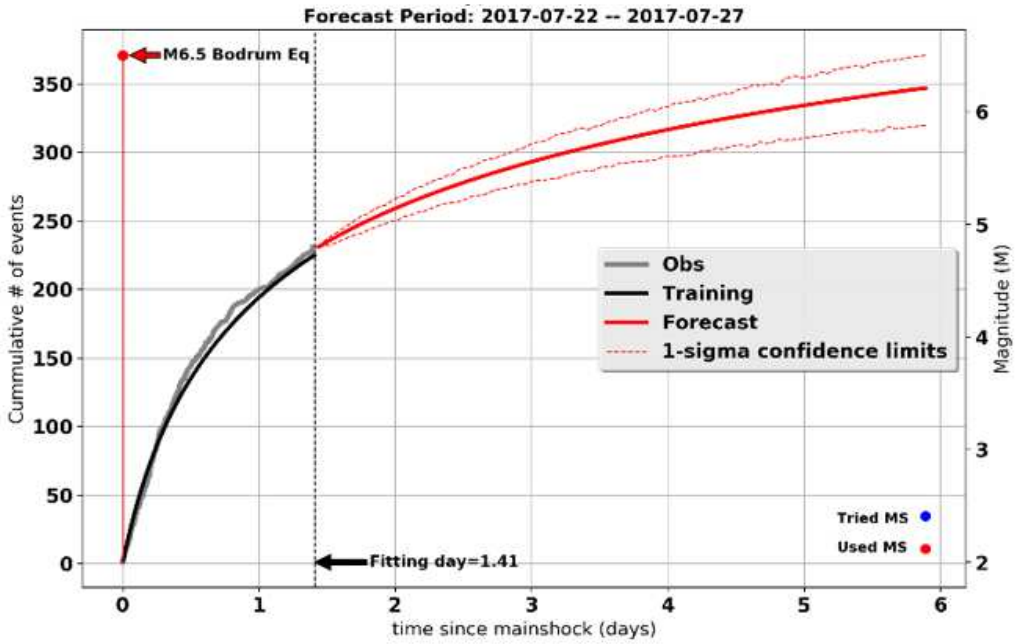
Bir sayfalık raporların bileşenleri aşağıda verilmektedir.

4.1. Artçı depremlerin yer ve büyüklük dağılımları



Şekil 4-1. Deprem bölgesinde meydana gelen artçı depremlerin dağılımı ve büyüklükleri. Renkler artçı depremlerin oluş sırasını göstermektedir. Maviler ilk artçı depremleri ve kırmızılar en son olanları göstermektedir.

4.2. Artçı Depremleri Kestirim Modeli

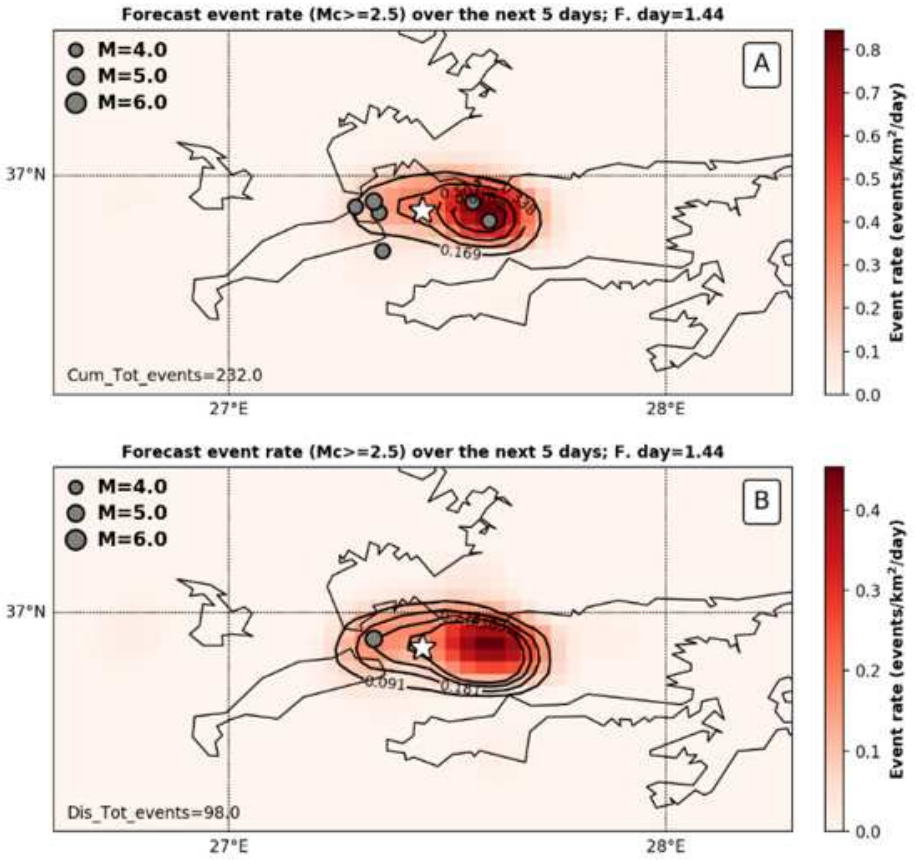


Şekil 4-2. Çoklu-Omori kestirim modeli (siyah) ile gözlenen birikimli artçı deprem sayısı (gri).

Modellenen anaşoklar kırmızı düşey çizgi ürendeki içi dolu dairelerle gösterilmektedir. Beş günlük tahmin ise kırmızı eğri ile ve bunun standart sapması kesikli kırmızı çizgi ile gösterilmektedir.

Tablo 4-1. Çoklu-Omori modeli kullanılarak yapılan tahmine göre 5 gün içinde oluşabilecek büyük artçı deprem sayısı ve bunların olasılıkları. Parantez içinde Omi ETAS modeli ile yapılan tahminler verilmektedir.

Mw	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Beklenen artçı deprem sayısı	11 (7)	5 (2.5)	2 (1)	1 (0.34)	0 (0.28)	0 (0.1)	0 (0.04)
Olasılık (%)	100 (100)	99 (92)	89 (63)	63 (29)	36 (12)	18 (4.6)	8 (1.7)



Şekil 4-3. Birikimli (A) ve ayrık (B) yuvarlatılmış (smoothed) depremsellik tahmini. Gri renki daireler model geliştirme dönemine ait M=>4.5 büyüklüğündeki artçı depremlerin yerlerini göstermektedir.

4.3. Örnek Taslak Rapor Sonuçları

- Önümüzdeki 5 gün içinde büyük artçı deprem olma ihtimali yüksektir
- Büyüklüğü 5 veya daha fazla olan artçı depremler muhtemeldir
- Önümüzdeki 5 gün içinde M>7 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı uzun dönem Türkiye ortalamasına göre olasılığı yuzde 8 artmıştır
- Bodrum ve yakın civarı yıkıcı artçı deprem olma ihtimali en yüksek yerlerdir

5. SONUÇ

RAFT projesinin amacı Türkiye'de sık aralıklarla meydana gelen can ve mal kaybına sebep olan büyük depremlerin oluşturduğu artçı depremlerin izlenmesinde kullanılacak operasyonel bir sistem oluşturmaktır. Bu sistemin ana bileşenler; 1) Artçı depremlerin izlenmesinde lokal bir sismik ağ kurulması ve işletilmesi, 2) Artçı deprem dizinlerinin analiz

edilmesi ve yakın zamanda oluşacak belli büyüklükteki artçı depremlerin büyüklüklerine bağlı olarak oluşum oranı (rate) ve yerlerinin tahmin edilmesi 3) Kullanılan verilerin ve bunlardan elde edilen sonuçların günlük bazda güncellenmesi, tek sayfalık rapor oluşturulması, raporun afet yöneticileriyle paylaşılması ve risklerin azaltılması için gerekli tedbirlerin alınmasına yardımcı olmaktır.

İki yıllık proje süresince 12 Haziran 2017 Karaburun Mw=6.3 ve 21 Temmuz 2017 Mw=6.6 Bodrum depremleri meydana gelmiştir. Proje kapsamında yapılması düşünülen hemen hemen bütün çalışmalar bu iki depremin artçı şokları kullanılarak uygulama imkanı olmuştur.

6. KAYNAKLAR

Brown, R. D., Ward, P. L. ve Plafker, G. 1973. "Geologic and seismologic aspects of the Managua, Nicaragua, earthquakes of December 23, 1972", U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 838, 34 pp.

DeVries, P. M. R., Viégas, F., Wattenberg, M. ve Meade, B. J. 2018. "Deep learning of aftershock patterns following large earthquakes", *Nature* 560, pp 632–634, 10.1038/s41586-018-0438-y.

Felzer, K. R. 2009 "Simulated Aftershock Sequences for an M 7.8 Earthquake on the Southern San Andreas Fault", Seismological Research Letters, 80 (1), 10.1785/gssrl.80.1.21

Felzer, K. R., Becker, T. W., Abercrombie, R. E., Ekstrom, G. ve Rice, J. R. 2002. "Triggering of the 1999 MW 7.1 Hector Mine earthquake by aftershocks of the 1992 MW 7.3 Landers earthquake", J. Geophys. Res., 107(B9), 2190, doi:10.1029/2001JB000911.

Gallagher, R. P., Reasenberg, P. A., Poland, C. D., ve Engineers, Degenkolb. 1999. "Earthquake aftershocks - entering damaged buildings", Applied Technology Council (ATC): Technical report.

Gerstenberger, M. C., Wiemer, S., Jones, L. M. ve Reasenberg, P. A. 2005. "Real-time forecasts of tomorrow's earthquakes in California", Nature 435, 328–331.

Goda, K., Kiyota, T., Pokhrel, R.M., Chiaro, G., Katagiri, T., Sharma, K. ve Wilkinson, S. 2015. "The 2015 Gorkha Nepal earthquake: insights from earthquake damage survey", Front. Built Environ. 1:8. doi: 10.3389/fbuil.2015.00008

Hainzl, S., Enescu, B., Cocco, M., Woessner, J., Catalli, F., Wang, R., ve Roth, F. 2009. "Aftershock modelling based on uncertain stress calculations", J. Geophys. Res. 114, no. B05309, doi: 10.1029/2008JB006011.

Kaiser, A., Balfour, N., Fry, B., Holden, C., Litchfield, N., Gerstenberger, M., D'Anastasio, E., Horspool, N., McVerry, G., Ristau, J., vd 2017. “The 2016 Kaikōura, New Zealand, earthquake: Preliminary seismological report”, Seismol. Res. Lett. 88, 727–739.

Lippiello, E., Cirillo, A., Godano, C., Papadimitriou, E., ve Karakostas, V. 2016. “Real-time forecast of aftershocks from a single seismic station signal”, Geophys. Res. Lett. 43, 6252–6258.

McCloskey, J. ve Nalbant, S.S. 2009. “Near-real-time aftershock hazard maps”, Nature Geoscience 2, 154.

McCloskey, J., Steacy, S., Nalbant, S.S. 2005. “Tsunami Risk in the Indian Ocean from threatened M>8 Event under Mentawai Islands”, Nature 434 (7031), 291.

Nalbant, S. S., McCloskey, J., Steacy, S. 2005. “The influence of viscoelastic relaxation on the effective duration of Coulomb stress perturbations”, Nature 435 (7043), 756.

NicBhloscaidh, M., McCloskey, J., Beani C.J. (2014) Response of the San Jacinto Fault Zone to static stress changes from the 1992 Landers earthquake Journal of Geophysical Research: Solid Earth 119 (12), 8914-8935 (1)

Marzocchi, W., Lombardi, A. M. 2009. “Real-time forecasting following a damaging earthquake”, Geophys. Res. Lett. 36, L21302, doi:10.1029/2009GL040233.

Marzocchi, W., Lombardi, A. M., Casarotti, E. 2014. “The establishment of an operational earthquake forecasting system in Italy”, Seismol. Res. Lett. 85, 961–969.

Marzocchi, W., Taroni, M., Falcone, G. 2017. “Earthquake forecasting during the complex Amatrice-Norcia seismic sequence”, Sci. Adv. 3, e1701239.

Nanjo, K. Z., Tsuruoka, H., Yokoi, S., Ogata, Y., Falcone, G., Hirata, N., Ishigaki, Y., Jordan, T. H., Kasahara, K., Obara, K. 2012. “Predictability study on the aftershock sequence following the 2011 Tohoku-Oki, Japan, earthquake: First results”, Geophys. J. Int. 191, 653–658.

Ogata, Y., 1998. “Space-time point process models for earthquake occurrences”, Ann. Inst. Statist. Math. 50, 379–402.

Ogata, Y. 1999. “Seismicity Analysis through Point-process Modeling: A Review”, Pure and Applied Geophysics 155 471–507.

Omi, T., Ogata, Y., Hirata, Y., Aihara, K. 2013. “Forecasting large aftershocks within one day after the main shock”, Sci. Rep. 3, 2218; doi:10.1038/srep02218.

Omi, T., Ogata, Y., Shiomi, K., Enescu, B., Sawazaki, K., Aihara, K. 2019. “Implementation of a Real-Time System for Automatic Aftershock Forecasting in Japan”, Seismological Research Letters Volume 90, (1), 10.1785/0220180213

Page, M. T., van der Elst, N., Hardebeck, J., Felzer, K., Michael, A. J. 2016. “Three ingredients for improved global aftershock forecasts: Tectonic region, time-dependent catalog incompleteness, and intersequence variability”, Bull. Seismol. Soc. Am. 106, 2290–2301.

Pottera, S.H., Becker, J.S., Johnston, D.M., Rossiter, K.P. 2015. “An overview of the impacts of the 2010-2011 Canterbury earthquakes”, International Journal of Disaster Risk Reduction, 14, (1), 6-14, 10.1016/j.ijdrr.2015.01.014

Reasenberg, P. A., Jones, L. M. 1989. “Earthquake hazard after a mainshock in California”, Science, 243, 1173–1176.

Sucuoğlu, H. 2000. “The 1999 Kocaeli and Düzce-Turkey Earthquakes”, Technical Report, Middle East Technical University, Ankara.

Woessner, J., Hainzl, S., Marzocchi, W., Werner, M. J., Lombardi, A. M., Catalli, F., Enescu, B., Cocco, M., Gerstenberger, M. C., Wiemer, S. 2011. “A retrospective comparative forecast test on the 1992 Landers sequence”, J. Geophys. Res. 116, no. B05305, doi: 10.1029/2010JB007846.

Zechar, J. D., Schorlemmer, D., Liukis, M., Yu, J., Euchner, F., Maechling, P. J., Jordan, T. H. 2010. “The collaboratory for the study of earthquake predictability perspectives on computational earthquake science”, Concurrency Comput. Pract. Ex. 22, 1836–1847.

Risk-based environmental impact assessment of flood protection measures

Martina Zelenakova[1]

[1]Department of Environmental Engineering, Technical University of Kosice, Slovakia

Abstract

Environmental impact assessment (EIA) is a predictive tool that is systematically applied to early planning and development projects so that proposers can create an idea of the environmental acceptability of the proposed development and under what conditions, if any, control of potential risks and impacts is needed. Because EIA is a predictive tool, we can talk about uncertainty and risk. The environmental impacts of development can be difficult to predict. The risk-based approach provides a systematic assessment of the probabilities and consequences of possible environmental impacts and a transparent approach to assessing the alternatives that are at the heart of the EIA process. A risk-based approach can be used at key stages of the EIA process. The use of a risk-based approach at an early stage of the EIA process should contribute to early identification of key issues that should be the subject of further detailed assessment phases. This paper presented a proposal and application of a methodology based on the use of risk analysis in the initial phase of the EIA process - intent. Assessment of alternative solutions of the proposed activity - construction, specifically flood protection objects in Vyšná Hutka is based on the calculation of the risk index of the proposed building. Of the assessed variants, Variant I is selected as the optimal variant - the Torysa watercourse regulation due to the lowest level of calculated total risk *R*, which expresses the sum of the calculated effects of stressors on individual environmental components. Overall, Variant I falls within IInd category of risk among the proposed four categories. Measures to mitigate adverse effects should be proposed in the next procedure.

Keyword(s): Environmental impact assessment (EIA), risk analysis, impact

1. Introduction

Environmental risk – presents the possibility that something happens, and it will have an environmental impact combined with the degree or effect of this impact, and the process that addresses the risk is called environmental risk management (ERM) (AS/NZS 4360, 2004).

Risk assessment and EIA are similar in concept because they both deal with the prediction of future impacts or consequences resulting from proposed activities and the uncertainty about the exact nature, probability, frequency and severity of impact or consequences. They both try to inform the decision-making process about the importance of the negative impacts and the appropriateness of dealing with risk or mitigating measures (EPA, 2009). In the 3 Risk Assessment (IMP) report, the European Union called on its members to apply risk assessment in the EIA, but very few specific guidelines are available on how to apply risk assessment in EIA (Lexer et al., 2006). The risk assessment in EIA has often been limited to a review of

human health and safety risk assessment with little application to the ecosystem of impact (EPA, 2009). A risk-based approach has the potential for a number of benefits, including: greater transparency in decision-making processes; promoting awareness, compliance and decision-making; compliance with the precautionary principle; more systematic approach to environmental impact assessment; prioritizing environmental impacts with objectives, management applications and control, and focusing on audit programs; improving the environmental responsibility of proposers; providing an effective basis for involving key stakeholders in order to influence environmental performance; providing a solid basis for the development of targeted R&D programs.

The Environmental Protection Authority (EPA) recommends: risk-based approaches should be used in key stages of the EIA process (EPA, 2009) eg. for: scoping of proposed activity at or after recommendation; evaluation of impacts and design of mitigation measures to mitigate by the proposer; assessment of impacts resulting from the proposed activity; assessment of proposed mitigation measures. Within each of these phases, risk analysis and environmental risk assessment should be carried out at an increasing level of detail, as the proposed activity is undergoing the EIA process. The use of risk-based methods in the EIA process is limited. E.g. In Australia (and possibly New Zealand), risk analysis is being used as a methodology for environmental impact assessment (FAO, 2009). The wider use of risk-based approaches is recognized as potentially useful in defining more precisely the risks to the environment and allows focusing on key environmental management and monitoring issues. Increasingly, risk analysis is seen as a key tool to assist in screening, scoping and decision-making (Zeleňáková, Zvijáková, 2017).

2. Methodology

Risk-based EIA, in the proposed methodology, involves merging the two processes using risk analysis to comply with statutory assessment procedures established in accordance with the law and encouraging the application of current environmental protection practices. Figure 1 provides an overview of the EIA process based on a risk analysis, which consists of three main elements: impact identification, impact prediction and impact assessment, each with some activities. A description of individual elements of risk analysis and their activities is given in the thesis (Zvijáková, 2013).

The basic principle of the proposed methodology is to calculate the overall risk and at the same time estimate the level of risk posed by the proposed activity for the environment. The assessment assesses the level, level and acceptability of the risk that the activity may pose to the environment and public health.

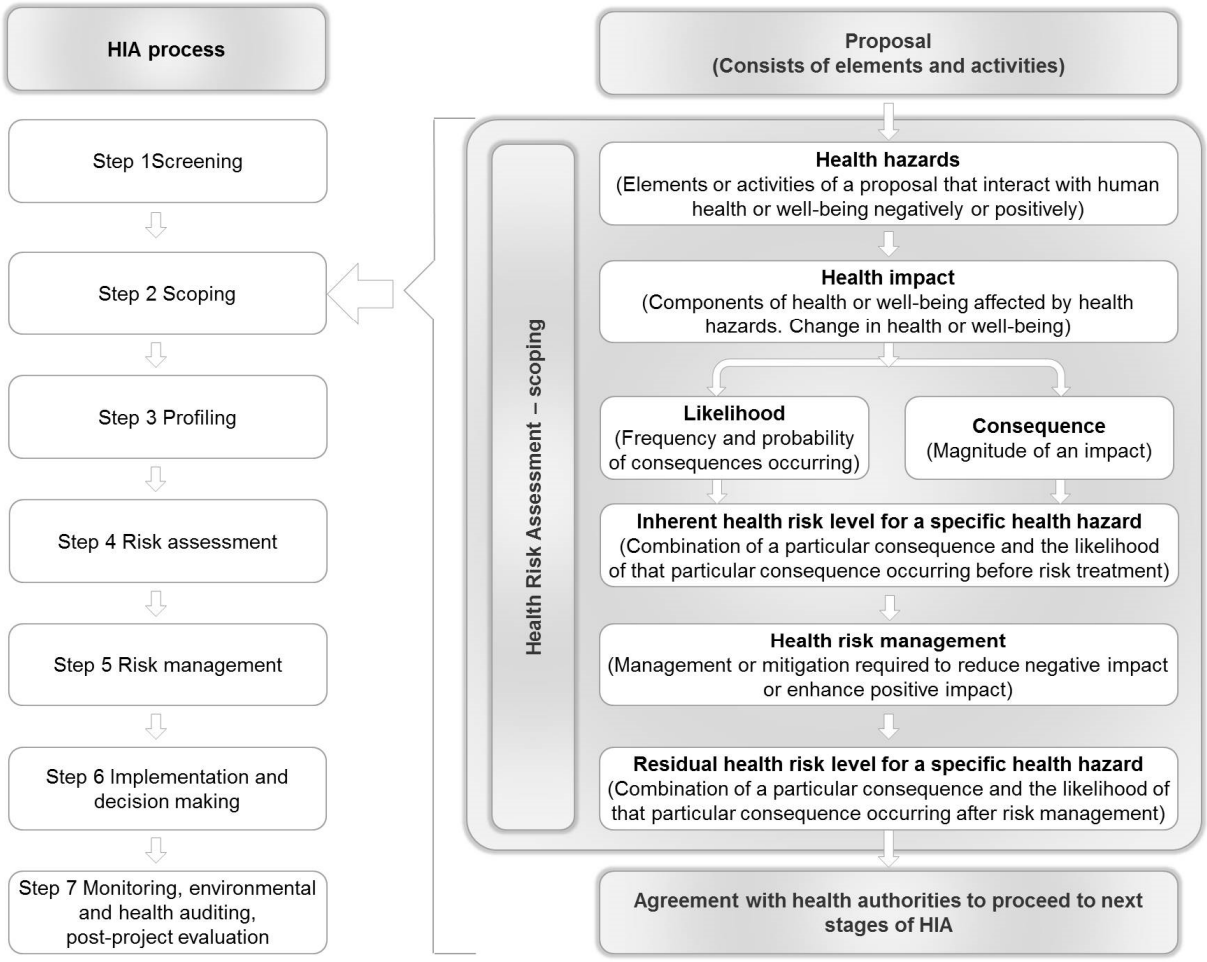


Figure 1 – Methodology based on risk analysis

Risk analysis is based on the principle that stressors are associated with the proposed activity, which pose a certain risk to environmental components. This can be quantified based on the R_i risk calculation for each identified environmental stressor stressor effect. In summary, the overall risk, which represents the risk level of the proposed activity for the environment and public health, can be calculated.

2.1. Tables

The proposed activity is situated in the village Vyšná Hutka. The municipality, with its cadastral territory, falls under the territory of the Košice Self-governing Region (Fig. 2). The village located near the county town of Kosice (5 km) belongs to the district of Kosice - surroundings, which surrounds the city of Kosice from all sides. The municipality occupies 362.3 ha from the territory of the Košice Self-governing Region. It lies in the southeastern part of the Kosice Basin on Torysa. Basic information on the current state of the environment of the affected area is given in the work Zeleňáková, Zvijáková (2015).

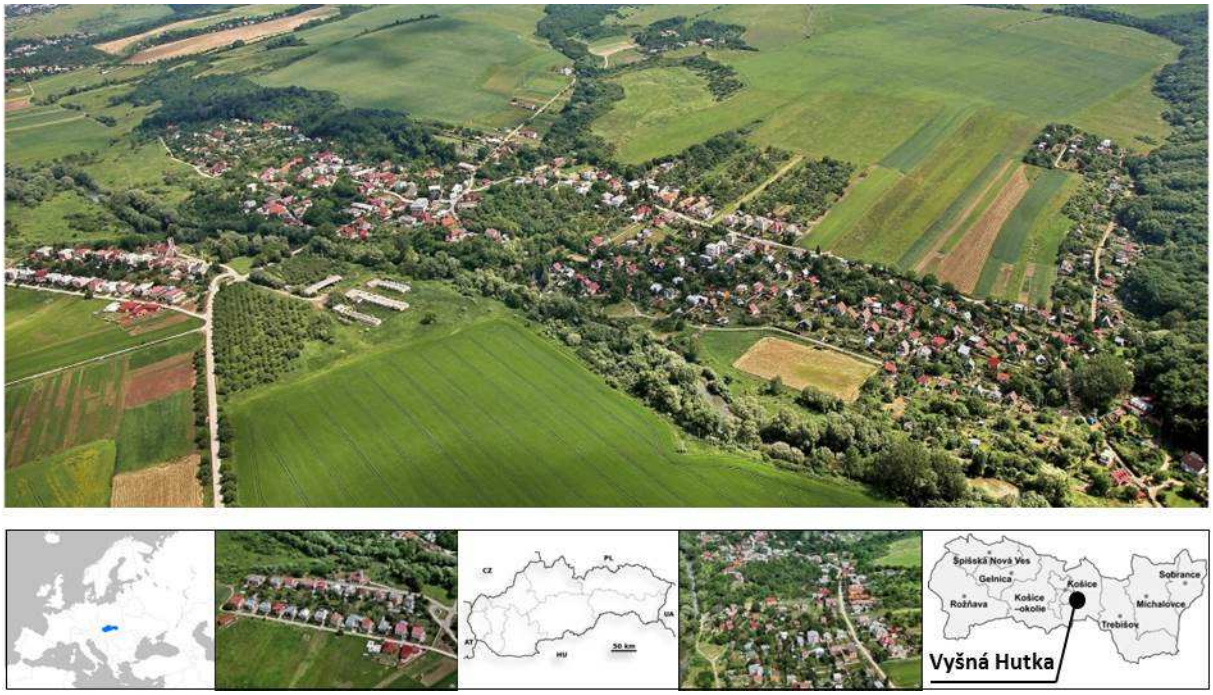


Figure 2 – Localization of the study area

There is flooding of the area of interest during the floods at the Torysa watercourse in the present state., There has been extensive consequences of floods, especially on the environment and property of residents and municipalities in recent years. The main purpose of the construction is to regulate the water management conditions of the Torysa watercourse in order to protect the citizens of Vyšná Hutka from the flood waters and thus prevent any damage to property. Due to the fact that in the current period unfavorable flood conditions occur, due to insufficient flow profile, it is necessary to realize the construction of the water structure in question - flood protection, namely flood control measures designed for Q_{100} discharge.

Potential options have been taken into account in the design of the variant solutions. These considerations result in the following three variations:

- 0 Variant 0 (V_0): 'Current status' - is a variant of the situation that would occur if the proposed activity did not take place;
- I Variant I (V_I): “Regulation of the watercourse” - the watercourse of the Torysa watercourse in the Vyšná Hutka urban area will be modified to safely transfer the design flow rate Q_{100} of the annual water without discharging from the stream bed;
- II Variant II (V_{II}): “Construction of a protective wall” - is a flood protection measure that protects, through a protective dam and walls, a built-up area of interest from flooding at a flow rate of 360 m^3/s (which corresponds to the current affected flow rate Q_{100} in the Torysa River) with a safety drop of 0.5 m.

The identification of potential risks (environmental impacts of stressors) in the environment is done through the Universal Risk Analysis Matrix (UMRA) template for proposed water management activities, which is completed in Tab. 1. Records are made by ticking the box where the risk occurs and then an ID number is assigned to which the risk index value R_i will be allocated on the next procedure.

Table 1 –UMRA to identify the environmental effects of stressors

STRESSOR - SOURCE OF RISK	FIELD OF IMPACT													
	population	the mineral environment, mineral raw materials, geodynamic phenomena and geomorphologic	climatic conditions	atmosphere	water conditions	soil	fauna and flora and their biotopes	landscape, structure and use of landscape, scenic aspects of the landscape	the protected areas and their protective zones	the territorial system of ecological stability	the urban environment and land use	cultural and historical monuments, cultural values of an intangible nature	archaeological and paleontological sites and important geological localities	other
AIR														
emission	•1		•2	•3			•4		•5	•6	•7			
WATER														
floods	•8				•9	•10	•11	•12	•13	•14	•15	•16	•17	
drought			•18		•19	•20	•21							
sediments	•22	•23			•24	•25	•26	•27					•28	
pollutants	•29	•30			•31		•32		•33					
SOIL														
erosion			•34		•35	•36		•37						
landslides	•38	•39			•40	•41	•42	•43	•44		•45	•46	•47	
pollutants	•48				•49	•50								
GENERALE														
noise	•51						•52	•53	•54					
vibrations	•55	•56								•57				
waste	•58				•59	•60	•61		•62	•63				
radiation	•64						•65		•66	•67				

For the determination of the probability parameter "*P*" of the unfavorable effect as a consequence of the stressor effect on the individual parts of the environment, four levels were selected from 0.25 (highly improbable) to 1 (highly probable). Four levels were selected to determine for the effect of stressor "*C*" on the individual components of the environment from 0.25 (negligible) to 1 (high). A comprehensive environmental impact catalog of stressors for

the proposed activity risk proposed by the authors is not covered by this article but is listed in Zeleňáková, Zvijáková (2015).

For impact assessment, a risk calculation is needed, R_i, which is performed using the following equation:

$$R_i = P_i \cdot D_i \quad (1)$$

where Pi is a probability parameter that expresses the likelihood of an adverse effect of stressor on environmental components;

Tab. 2 in a clear and simplified form, the risk index calculation R_i for each environmental stressor effect is presented for the three options considered.

Table 2 – Evaluation of variants of the proposed activity (Variant 0, Variant I and Variant II)

ID	V_0 *„Present state“*			V_I *„Water stream regulation“*			V_{II} *„Levee construction“*		
	P_i	D_i	R_i	P_i	D_i	R_i	P_i	D_i	R_i
1	1	0,25	0,25	1	0,75	0,75	1	0,5	0,5
2	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,5	0,375	0,75	0,5	0,375
3	1	0,25	0,25	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
4	1	0,25	0,25	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
5	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,5	0,125	0,25	0,5	0,125
6	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
7	0,75	1	0,75	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875
8	1	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
9	1	0,75	0,75	0,5	0,75	0,375	0,25	0,75	0,1875
10	0,75	1	0,75	0,75	0,5	0,375	0,75	0,25	0,1875
11	0,75	1	0,75	0,75	0,5	0,375	0,75	0,25	0,1875
12	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875
13	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,125	0,25	0,25	0,0625
14	0,75	0,5	0,375	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875
15	1	0,75	0,75	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25
16	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25
17	0,75	0,5	0,375	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875
18	0,75	1	0,75	0,75	0,5	0,375	0,75	0,5	0,375
19	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,5	0,375	0,75	0,5	0,375
20	0,25	0,5	0,125	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625
21	1	0,5	0,5	1	0,25	0,25	0,75	0,25	0,1875
22	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,5	0,25	0,75	0,5	0,375
23	0,75	1	0,75	0,75	0,75	0,5625	0,75	0,5	0,375
24	1	1	1	1	0,25	0,25	1	0,75	0,75
25	0,5	0,75	0,375	0,5	0,5	0,25	0,5	0,75	0,375

26	1	0,75	0,75	1	0,25	0,25	1	0,5	0,5
27	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25
28	0,5	1	0,5	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
29	1	0,25	0,25	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
30	0,5	0,25	0,125	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
31	1	0,5	0,5	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25
32	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
33	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,5	0,125	0,25	0,5	0,125
34	1	0,25	0,25	1	0,5	0,5	1	0,75	0,75
35	1	1	1	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
36	0,75	0,5	0,375	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875
37	1	0,25	0,25	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
38	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
39	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
40	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
41	0,75	0,5	0,375	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875
42	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
43	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,5	0,375	0,75	0,5	0,375
44	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,25	0,1875
45	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
46	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
47	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
48	0,25	0,5	0,125	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625
49	1	0,5	0,5	1	0,25	0,25	1	0,25	0,25
50	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,75	0,1875	0,25	0,5	0,125
51	1	0,25	0,25	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5
52	0,25	0,5	0,125	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625
53	0,75	0,25	0,1875	0,75	0,5	0,375	0,5	0,5	0,25
54	0,25	1	0,25	0,5	0,25	0,125	0,75	0,25	0,1875
55	0,5	0,25	0,125	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
56	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,5	0,125	0,25	0,5	0,125
57	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,5	0,25	0,75	0,5	0,375
58	0,25	0,25	0,0625	0,75	0,5	0,375	1	0,75	0,75
59	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
60	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
61	0,25	0,75	0,1875	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625
62	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
63	0,25	0,5	0,125	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
64	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
65	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,25	0,125	0,5	0,25	0,125
66	0,25	0,25	0,0625	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25
67	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625
68	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625
69	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625
70	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625	0,25	0,25	0,0625
	IR_0		21,063	IR_I		17,563	IR_{II}		18,063

For each calculated individual risk in Tab. 2 is the determined level of risk, according to the semi-quantitative risk analysis matrix based on the color resolution according to Tab. 3.

Tab. 3 Semiquantitative risk analysis matrix and risk level estimation

		Consequence			
		0,25	0,50	0,75	1
Probability	0,25	negligible	negligible	low	moderate
	0,50	negligible	low	moderate	high
	0,75	negligible	low	high	high
	1	low	moderate	high	high

Based on all quantified risks (*R*i) for identified stressors and their environmental impacts, determine the overall risk (*R*) for each variant of the proposed activity. On the basis of *R*, it is possible to classify the risk category of the proposed activity, which determines the amount of risk that the activity poses to the environment. By comparing the overall risk *R*, it is possible to compare the variants of the proposed construction and to select the least environmentally hazardous alternative

The overall risk (*IR*) reflects the environmental risk posed by the proposed activity. The total risk (*R*) is calculated using the following equation:

$$R = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot D_i \qquad (2)$$

which can be verbally described as follows: the total risk *R* is equal to the sum of the risks Ri that are quantified by the product of the parameters probability P_i and the consequences C_i.

According to the numerical value of the total risk *R*, the proposed activities under consideration are classified into one of the four proposed risk categories according to Tab. 4.

Tab. 4 Semiquantitative risk analysis matrix and risk level estimation

Value of total risk	Risk category
$R < 8{,}375$	IV.
$8{,}375 \leq R < 16{,}75$	III.
$16{,}75 \leq R < 25{,}125$	II.
$R \geq 33{,}5$	I.

Each of the four categories represents a certain level of risk to the proposed activity for the environment resulting from its implementation / non-implementation. For the assessed variants of the proposed activity in the municipality of Vyšná Hutka, it is true that:

- V0: “Current status” according to Tab. 2 total risk value R = 21,063 according to Tab. 4 represents II. the risk category of the proposed activity for the environment;
- VI: "Watercourse treatment" according to Tab. 2 total risk value R = 17.567 according to Tab. 4 also represents II. the risk category of the proposed activity for the environment;
- VII: "Construction of a protective wall", according to Tab. 2, acquires the total risk value of R = 18,063 according to Tab. 4 also represents II. the risk category of the proposed activity for the environment.

All variants under consideration acquire different total risk values R but fall within the same risk category. The determination of IR_j risk index values to determine the category of proposed activity is directly related to the comparison of the proposed activity options. Therefore, based on the lowest risk index IR_j, the optimal environmental option is selected.

4. Conclusion

Successful implementation of Environmental impact assessment (EIA) requires skilled people, access to assessment and monitoring methods, financial and institutional support, and monitoring and enforcement powers, amongst others. The availability of such resources across the region has improved significantly over the past decade, but there is still a noticeable lack of capacity and resources for environmental assessment and management of water structures. The use of risk-based methods in environmental impact assessment is limited. Only in Australia (and possibly New Zealand) is risk analysis now starting to be used as a methodology for EIA. The wider use of risk-based approaches is recognized as potentially helpful to define more precisely the environmental risks and enabling focus in key issues in environmental management and monitoring. Increasingly risk analysis is being seen as a key tool to assist in screening, scoping and decision-making. The objective of the paper is to propose a methodology for assessing the activities, which will allow impacts assessment mainly in the field of water management (it has been applied in this field) on the environment and hence select the best option for the permission process. The proposed methodology is applied to flood mitigation measures in village Vyšná Hutka.

Acknowledgements

The authors are grateful to the SKHU/1601/4.1/187 for financial support of this work.

References

1. AS/NZS 4360:2004. Risk management. Standards Australia/Standards New Zealand.
2. EPA (Environmental Protection Authority): Review of the Environmental Impact Assessment. Process in Western Australia. Perth, Western Australia, 2009.
3. Lexer, W., Paluchova, K. Schwarzl, B.: Risk Assessment. IMProving the IMPlementation of Environmental IMPact Assessment, „(IMP)3“. Risk Assessment D 3.2 Report WP 3 [online]. Vienna: Österreichisches Institut für Raumplanung, 2006 [cit. 2018-02-09]. 245 p. <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/UVP_SUP_EMAS/IMP/IMP3-Risk_Assessment.pdf>.

4. FAO (Food and Agriculture Organization): Environmental impact assessment and monitoring in aquaculture. Requirements, practices, effectiveness and improvements [online]. Rome: FAO, 2009. ISBN 978-92-5-106334-7. 675 p. [cit. 2014-02-14]. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i0970e/i0970e.pdf>.
5. GESAMP (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on Scientific Aspects of Marine Environmental Protection): Assessment and communication of environmental risks in coastal aquaculture. Rome, FAO. Reports and Studies GESAMP (76): 198 pp. Dostupné na internete: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ i0035e/i0035e.pdf>.
6. Zvijáková, L.: Aplikácia rizikovej analýzy v procese posudzovania vplyvov (vybraných stavieb) na životné prostredie. Dizertačná práca. Košice: TU SvF, 2013. 212 s.
7. Zeleňáková, M. - Zvijáková, L.: Ochranná hrádza Vyšná Hutka podľa zákona č. 24/2006 Z. z. o posudzovaní vplyvov na životné prostredie a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Košice, 2015.
8. Zeleňáková, M., Zvijáková, L. Using Risk Analysis for Flood Protection Assessment. Cham: Springer Nature. 2017. 128 p.

Experimental measurements of head losses in filtration cartridges

Stefania Evangelista[1], Giacomo Viccione[2]

[1] Department of Civil and Mechanical Engineering, University of Cassino and Southern Lazio, Cassino (FR), Italy
[3]Department of Civil Engineering, University of Salerno, Fisciano (SA), Italy
Emails: s.evangelista@unicas.it, gviccion@unisa.it

Abstract

In this paper the main results of an extended campaign of laboratory experiments on the hydraulic performance of filtration cartridges are presented and discussed. The hydraulic analysis mainly focused on the evaluation of the local pressure drops induces by the cartridges themselves when introduced into the plant, thus lowing the total pressure levels until sometimes compromising the smooth operation of devices connected to the plant. After analyzing the hydraulic performance of different filter cartridges, the research focused on wire-wound filtering cartridges, the most widely used type of cartridge in domestic plants among the commercially available ones. The filtration process and particles motion through the filter were also analyzed, in order to estimate the effects of the filter obstruction on the values of the pressure drops. Experiments have been conducted in the Laboratory of Environmental and Maritime Hydraulics (LIDAM) at University of Salerno, Italy.

Keyword(s): water filtration, filter cartridges, head losses, laboratory experiments, filter clogging

1. Introduction

Water treatment processes have been assuming increasing importance, due to the progressive industrialization and the uncontrolled social and economic development, with consequent pollution and environmental degradation [1-3]. Among the different water treatment techniques, filtration still represents the main solution [4-5] in most plants. Almost all the domestic apparatus making use of water are equipped with filtration elements.

Very few works are available in literature on the hydraulic analysis of filtering cartridges, and they focus on different features, such as water quality or efficiency of the filtration process, or removal of specific substances from drinking water. It is worth mentioning the guide on filtration systems by Sutherland [6] and a specific oriented book on wire-wound cartridges by Kanade and Bhattacharya [7]. Kanade and co-workers [8-9] defined the relation between spinning suction pressure and performance parameters of wire-wound filters.

The present study is focused, instead, on the effects, in terms of head losses, produced by the installation of a filter cartridge in a drinking water plant. These effects, in fact, are not negligible and may low the pressure values under those required for a proper functioning of electro-domestic equipment (dishwashers, washing machines, boilers, etc).

An ad-hoc pilot circuit was designed and built at the Laboratory of Environmental and Maritime Hydraulics (LIDAM) of the Department of Civil Engineering (DiCiv), University of Salerno, Italy, to perform experiments aimed at evaluating the head losses produced by the most common filter cartridges. First the hydraulic performance of seven different commercially popular filter cartridges was compared. Then the analysis focused on the behavior of string-wound cartridges, the most widely used in domestic water systems, due to their efficiency and relatively low costs. The wire-wound filter cartridge was also one of the first to be made in standard dimensions and it was a major form for a long period. It is a very effective filter, with filtration not only in the apertures between the turns of the yarn, but between the fibers in the yarn as well [6]; for this reason, it is also the cartridge that makes easier and more controlled the experiments on progressive clogging of the filter, a condition which is the objective of this research as well. In fact, the gradual clog of the filter by the solid particles suspended in the flowing water produces, with prolonged use, an increase in head losses, which may further compromise the operating conditions of the plant. Therefore, the wire-wound filter cartridges were also artificially clogged in the laboratory both with fine sand [10-11] and fine gravel [12], in order to contribute to the better understanding of the clogging process and its effect on the pressure drops [13].

The results provide useful information for the selection of the proper cartridge in low-pressure distribution systems, choice that will be clearly determined also by the specific water quality and the consequent required treatment. The clogging conditions analysis also gives suggestions on the optimal times of replacement of the cartridges and even on the design of more competitive mechanical filters, capable of producing, in the same operating conditions, lower head losses than the commercial ones [14-15].

2. Experimental equipment

2.1. The laboratory setup

The hydraulic pilot circuit (Figure 2) designed and built in the LIDAM laboratory at University of Salerno simulated a generic residential plant with a cartridge filtration system, so it was made of pipes with commercially popular materials and diameters. It consists essentially of [10]:

- a 300 l capacity polyethylene tank;
- an electronic circulation pump with maximum head equal to 6.9 m (model Evosta 40-70/130, flow rate range 0.4 ÷ 3.3m^3/h);
- a galvanized steel pipe with diameter ϕ¾” (internal 20.9 mm) and length 7.05 m;
- two multi-layer pipes linked in parallel with diameter ϕ16 (int. 12 mm) ϕ20 (int. 16 mm), both with length of 25.00 m;
- a single-jet water meter;
- a housing element with interchangeable filter cartridges.

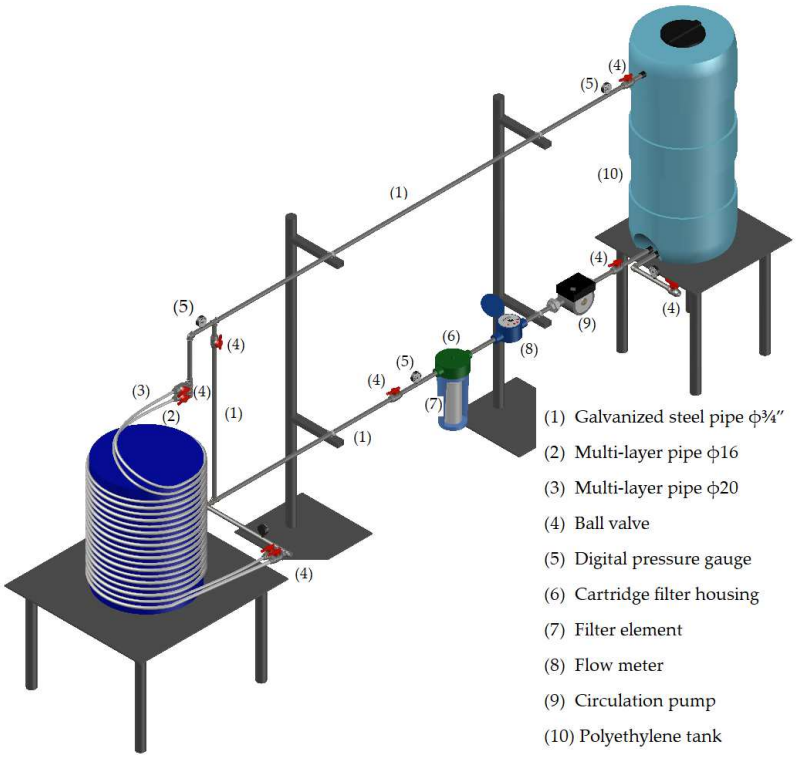


Figure 2. Sketch of the pilot circuit adopted for the laboratory experiments.

The circuit can be used in different modes, thanks to a set of ball valves, which also regulate the flow rate; the analysis, in fact, was conducted in different operating conditions for each of the analyzed cartridges, put from time to time in the proper container:

- Mode 1: bypass of the multi-layer pipes and use of the only short galvanized pipe of the circuit;
- Mode 2: multi-layer pipe with diameter ϕ16 opened;
- Mode 3: multi-layer pipe with diameter ϕ20 opened.

In each mode experiments have been performed with three different values of discharge (Q_{min}-minimum, Q_{inter} -intermediate and Q_{max}-maximum), depending on the operating modes of the pump, in the conditions of no filter cartridges (NF) and introducing one at a time the seven filter cartridges listed in section 2, each time inserted in the proper plastic container.

During tests, head losses along the pipe have been evaluated measuring the pressure values in different properly selected detection points through digital pressure gauges (model Sino Instruments HX601). Concentrated head losses at the filter cartridges were obtained through electronic differential manometers (model Digitron Engineering B.V. 2082P), positioned with the two detection points upstream and downstream of the cartridge, respectively. Each measurement was performed three times in order to verify the repeatability of the experimental tests. A flow meter by B Meters S.r.l. was installed and calibrated, for each pump speed and filter conditions, through a bucket or volumetric method.

2.2. The filtering cartridges and clogging materials

The experiments performed can be grouped into the categories:

- Experiments A (EXP_A): comparison between seven filtering cartridges;
- Experiments B (EXP_B): tests on wire-wound filtering cartridges, artificially clogged with fine sand and fine gravel;

As for the Experiments A, among the available cartridges, the seven most popular ones (illustrated, in the order, in Figure 1) have been considered in this study [11]:

- wire-wound polyester filter;
- nylon mesh filter;
- granular activated carbon filter;
- filter cartridge with crystal polyphosphate;
- cationic resin filter cartridge;
- anionic resin filter cartridge;
- mixed-bed resin filter cartridge.

All the tested cartridges were produced by “Acqua Brevetti 95 S.r.l.”, Mestrino (PD), Italy. Some tests were repeated also for cartridges by “Idrocosmotek, Fimi S.p.A.”, Izano (CR), with similar results. In any case, since their features agree with the standards of most brands on the market, results can be considered generalizable to other commercial cartridges.

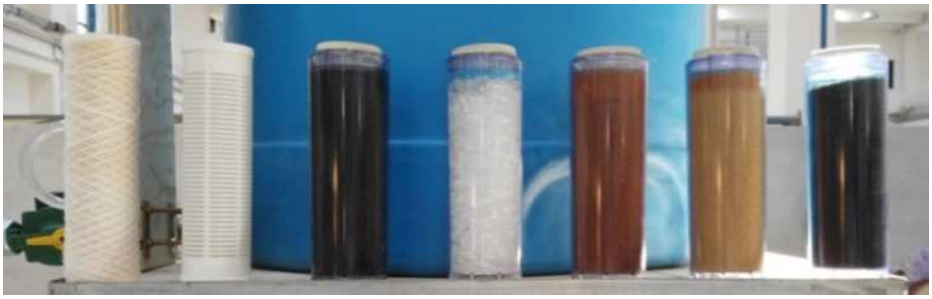


Figure 1 – Filter cartridges for domestic water analyzed in the present work. From left to right: 1. wire-wound polyester filter; 2. nylon mesh filter; 3. granular activated carbon filters; 4. filter cartridge with crystal polyphosphate; 5. cationic resin filter cartridge; 6. anionic resin filter cartridge; 7. mixed-bed resin filter cartridge.

As for Experiments B, clogging of wire-wound filter cartridge was simulated, after appropriately selecting the material to be used and the way to put it into the cartridge, making use of fine gravel (2–10 mm) and fine sand (0.10 mm), respectively [10]. The gravel was introduced by physically moving the wire from its position with the help of a rigid metal bar with a diameter of about 3 mm, and inserting the particles in the middle in such a way that, at the end, they were positioned on the filter in a systematic way. As for the clogging by fine sand, it was necessary to stick the sand along the side surface of the filter. In order not to alter the nature of the fluid, and consequently pressure values and head losses, it was decided to apply water-soluble natural substances, specifically, honey and flour glue. Several tests were repeated with both glues in order to check the influence of the substance on the head losses

results. The filter was progressively clogged with quantities of sand equal to (a) 20 g, (b) 40 g, (c) 60 g and (d) 80 g, respectively.

3. Results and discussion

3.1. Experiments A

Results of the experiments are summarized in Table 1 in terms of head losses ΔH (in m) as functions of corresponding discharges Q (in l/s) in the conditions of no filter cartridges (NF) and introducing one at a time the seven filter cartridges for the three different values of discharge and for the three operating conditions (modes 1, 2 and 3).

Table 1. Head losses ΔH (in m) for each filter (first raw refers to the void cartridge) and operating condition. Corresponding ensemble discharge values are expressed in l/s.

		Mode 1			**Mode 2**			**Mode 3**		
		Q_{min}	**Q_{inter}**	**Q_{max}**	**Q_{min}**	**Q_{inter}**	**Q_{max}**	**Q_{min}**	**Q_{inter}**	**Q_{max}**
NF	Q	0.119	0.181	0.254	0.053	0.125	0.137	0.071	0.120	0.155
	ΔH	**0.936**	**1.520**	**1.982**	**1.522**	**2.122**	**3.159**	**1.363**	**2.016**	**2.930**
1	Q	0.086	0.090	0.200	0.037	0.038	0.070	0.068	0.083	0.127
	ΔH	**2.460**	**3.890**	**3.918**	**2.791**	**4.188**	**4.273**	**2.597**	**4.079**	**4.097**
2	Q	0.118	0.133	0.268	0.048	0.050	0.083	0.068	0.093	0.148
	ΔH	**1.875**	**3.352**	**2.690**	**2.712**	**4.054**	**4.223**	**1.901**	**3.481**	**3.753**
3	Q	0.065	0.071	0.127	0.035	0.038	0.063	0.044	0.048	0.078
	ΔH	**2.850**	**4.381**	**4.505**	**2.993**	**4.466**	**4.664**	**2.993**	**4.452**	**4.601**
4	Q	0.119	0.124	0.227	0.049	0.063	0.083	0.068	0.094	0.125
	ΔH	**2.362**	**3.645**	**4.146**	**2.680**	**3.987**	**4.634**	**2.402**	**3.904**	**4.236**
5	Q	0.094	0.099	0.163	0.043	0.046	0.077	0.058	0.061	0.103
	ΔH	**2.796**	**4.047**	**4.767**	**2.959**	**4.376**	**5.072**	**2.846**	**4.284**	**4.954**
6	Q	0.037	0.039	0.064	0.024	0.028	0.043	0.030	0.033	0.053
	ΔH	**3.154**	**4.621**	**5.480**	**3.285**	**4.844**	**5.628**	**3.230**	**4.754**	**5.557**
7	Q	0.035	0.038	0.063	0.025	0.028	0.043	0.031	0.033	0.054
	ΔH	**3.045**	**4.602**	**5.374**	**3.177**	**4.735**	**5.484**	**3.127**	**4.663**	**5.403**

In all the conditions for low values of discharges the corresponding head losses increase significantly in a linear way. However, for most of the filters, once exceeded a threshold value of the discharge Q, the head loss keeps constant or grows more slowly. The no filter (NF) condition represents for the circuit a sort of threshold case, with no concentrated pressure drop produced by the introduction of a filter cartridge in the plant.

Among the different cartridges, number 6 and 7 (anionic and mixed-bed resin filter cartridges, respectively) produce the highest head losses (discharge being equal), while the lowest are given by numbers 2 and 4 (nylon mesh and crystal polyphosphate filter cartridges, respectively). It is important to notice, though, how the values of discharge change as the pump adjusts its operating point. In conclusion, for common values of operating flow rates in domestic plants, i.e. in the range 0.1-0.3 l/s, the pressure drops in the filter can even exceed the value of 5 m.

3.2. Experiments B

4.

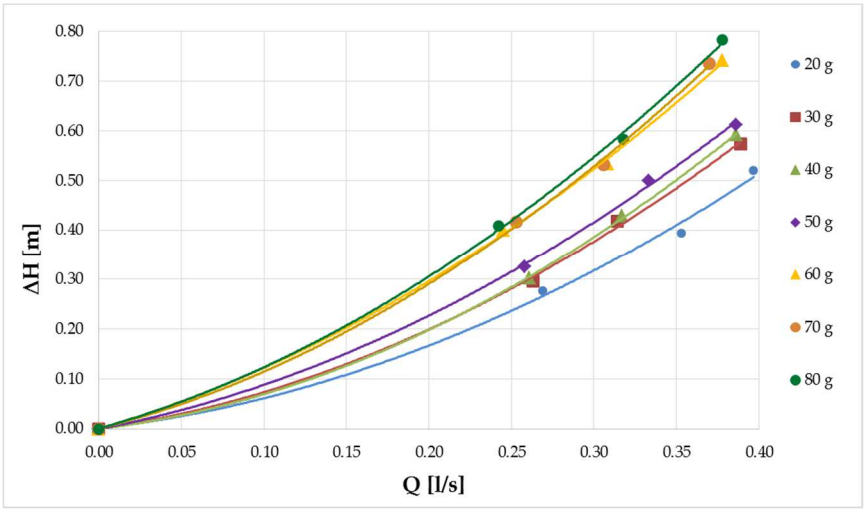
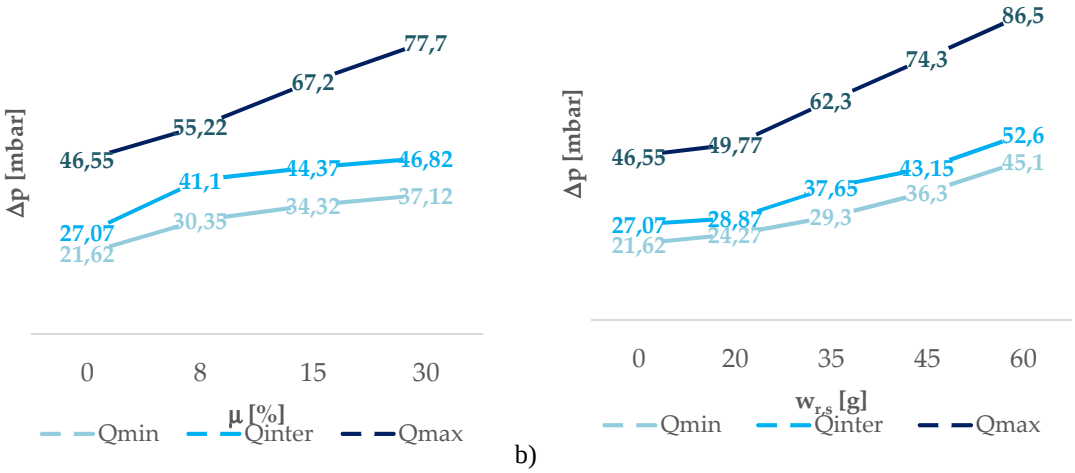


Figure 2 – EXP_B: Results of all tests of clogging with fine sand in terms of head losses as functions of discharges for the three different discharges.

5. a)



b)

Figure 3 – EXP_B: Pressure drop Δp trend obtained by clogging filters with: a) fine gravel; b) fine sand.

The results of the experiments with fine sand are plotted in Figure 2 in terms of head losses ΔH (in m) as functions of corresponding discharges Q (in l/s) for cartridges progressively clogged with 10 g of sand each time up to 80 g and flour glue for the three different values of discharge [10].

Pressure drops are also plotted for fine gravel (Figure 3a) as a function of the clogging rate μ, ratio between the total surface of gravels evaluated perpendicularly to the flow direction and the total area available to the flux, and for fine sand (Figure 3b), taking into account the effective clogging sand, as functions of the sand residual weight $w_{r,s}$. The filter, in fact, was made artificially dirty by a uniform layer of sand of weight w_s. After carefully removing the filter, the weight of the residual layer of sand $w_{r,s}$ was measured and used in correlation with the pressure drop Δp. As particles deposited either inside the filter matrix and on its surface, the filter clogged and offered greater resistance to the passage of flow.

This explains the increasing trend of pressure drop observed in all tests. The graphs in Figures 3 a) and b) show a different average trend depending on the material used for the two types of clogging: more than linear with fine gravel and less than linear with fine sand.

The different velocity values cause different head losses and, in particular, the greater the velocity the greater the losses. In both cases, the pressure drop Δp increases with the degree of obstruction, as expected. However, the behavior is slightly different according to the materials used to clog the filter: in the case of clogging caused by fine gravel, pressure drop trends are convex downward for the minimum and intermediate flow rates, whereas for the clogging caused by fine sand, related trends are convex upward. This observation has a physical explanation: fine gravel creates preferential directions for the incoming water flow, while clogging fine sand opposes a more uniform resistance to the fluid motion. The less than linear trend of the gravel sand is due to the capacity of the filter to adapt as the liquid keeps flowing through the available empty spaces without any substantial increase in energy loss.

The more than linear trend of the fine sand is due to the uniform thickness of the permeable material which leaves no space for preferential path flows.

It is worth noting that the use of fine sand makes the case study much closer to reality in comparison with fine gravel. The presence of particles of the order of 2–8 mm is, in fact, highly unlikely in drinking water plants, besides those fed by well supply systems. However, the comparison of the results for the two clogging materials enabled some features to be highlighted in the comprehension of the filtering physical process.

Besides the experimental laboratory activities, a numerical model in EPANET [16] was also set up in order to perform hydraulic simulations with the same aim of calculating the head losses produced by the cartridges. In fact, after a proper calibration based on the observed results, numerical calculations allow for the analysis of a greater number of test cases, with a wide range of flow rates and different operating conditions [17].

Pressure drops were measured with the filter artificially clogged by laying fine gravel or fine sand over the permeable surface intersected to the flux. Although fine sand is the type of solid particles more likely present in drinking water plants, with the exception of well supply systems, the comparison of the results for the two clogging materials allowed us to highlight some features of the physical process. The behavior is slightly different according to the materials used to clog the filter: in the case of fine gravel, the filter adapts as the particles create preferential directions for the incoming water flow, that keeps flowing through the available empty spaces without any substantial increase in energy loss; the clogging fine sand, instead, is more uniformly dispersed, thus leaving no space for preferential path flows and opposing a more uniform resistance to the fluid motion. The results prove that, in all the cases, the pressure drops increase with the degree of obstruction, as expected. Furthermore, the local head losses begin to reach significant values for a residential plant with a quantity of sand greater than 40 g. Since, in common plants, the presence of large quantities of sand cannot be excluded, it is important not to underestimate the effects in terms of pressure drops

produced by filtration systems. Replacement of the cartridges is compulsory after a certain period of use [18].

6. Conclusions

This work experimentally assessed the hydraulic performance in terms of head losses produced in drinking water networks by seven different common types of commercial filtering cartridges. A focus on wire-wound filtering cartridges is then made. The local pressure drops produced by the cartridges have been evaluated in different operating conditions and compared with each other.

Among the different analyzed cartridges, anionic and mixed-bed resin filter cartridges produce the highest head losses (discharge being equal), while nylon mesh and crystal polyphosphate filter cartridges the lowest ones. For usual values of discharges in domestic plants, i.e. in the range 0.1-0.3 l/s, the pressure drops in the filter can even exceed the value of 5 m. These values increase even more for artificially clogged filters, although the behavior is slightly different according to the materials used to clog the filter: in the case of fine gravel, the filter adapts as the particles create preferential directions for the incoming water flow, that keeps flowing through the available empty spaces without any substantial increase in energy loss; the clogging fine sand, instead, is more uniformly dispersed, thus leaving no space for preferential path flows and opposing a more uniform resistance to the fluid motion. In all the cases, however, the pressure drops increase with the degree of obstruction, as expected. Furthermore, the local head losses begin to reach significant values for a residential plant with a quantity of sand greater than 40 g.

Results, obtained in the laboratory on cartridges of only few brands, can be generalized to other commercial cartridges, since their characteristics agree with the standards of most brands on the market.

It is therefore important not to underestimate the effects in terms of pressure drops produced by filtration systems, also because the presence of significant quantities of impurities progressively clogging the cartridges cannot be excluded. Their replacement may then occur at an unacceptable rate of frequency.

References

1. Andersson, A., Laurent, P., Kihn, A., Prévost, M., Servais, P. (2001). Impact of temperature on nitrification in biological activated carbon (BAC) filters used for drinking water treatment, *Water Res.* 35(12), 2923-2934. doi: 10.1016/S0043-1354(00)00579-0.
2. Martín-Domínguez, A., Rivera-Huerta, M.L., Pérez-Castrejón, S., Garrido-Hoyosa, S.E., Villegas-Mendoza, I.E., Gelover-Santiago, S.L. et al. (2018). Chromium removal from drinking water by redox-assisted coagulation: Chemical versus electrocoagulation. *Sep. Purif. Technol*. 200, 266-272. doi: 10.1016/j.seppur.2018.02.014.
3. Stackelberg, P.E., Gibs, J., Furlong, E.T., Meyer, M.T., Zaugg, S.D., Lippincott, R.L. (2007). Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds. *Sci. Total Environ*. 377(2–3), 255-272. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.01.095.

4. Shivaraju, H.P., Egumbo, H., Madhusudan, P., Anil Kumar, K.M., Midhun, G. (2018). Preparation of affordable and multifunctional clay-based ceramic filter matrix for treatment of drinking water. *Environ. Technol.* 40(13), 1633-1643, doi: 10.1080/09593330.2018.1430853.
5. Yoo, S.S., Chu, K.H., Choi, I.-H., Mang, J.S., Ko, K.B. (2018). Operating cost reduction of UF membrane filtration process for drinking water treatment attributed to chemical cleaning optimization. J. *Environ. Manage.* 206, 1126-1134, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.02.072.
6. Sutherland K. (2008). Filters and filtration handbook. Fifth Edition. Elsevier Ltd. ISBN 978-1-8561-7464-0.
7. Kanade, P.S., Bhattacharya, S.S. (2016). A guide to filtration with string wound cartridges, Elsevier: Amsterdam, The Netherlands. ISBN 978-0-12-804847-4.
8. Kanade., P.S., Koranne, M.V., Desai, T. (2017). Analysis of wound filter performance from DREF yarn spun at different suction pressure. *Alex. Eng. J.* 56, 115-121. doi: 10.1016/j.aej.2016.09.012.
9. Kanade, P.S., Bhattacharya, S.S. (2014). Designing a cartridge winder with electronic controls. *J. Eng. Fibers Fabr.* 9(2), 112–119.
10. Viccione, G., Evangelista, S., de Marinis G. (2018a). Experimental analysis of the hydraulic performance of wire-wound filter cartridges in domestic plants. Water, 10(3), 309. doi: 10.3390/w10030309.
11. Viccione, G., Evangelista, S., de Marinis G. (2018b). Experimental Analysis of the Hydraulic Performance of Filtering Cartridges in Drinking Water Networks. Water 10(5), 629. doi: 10.3390/w10050629.
12. Viccione, G., Evangelista, S. (2017a). A laboratory investigation of the hydraulic performance of string-wound filters. In Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions (EMCEI 2017); Kallel, A., Ksibi, M., Ben Dhia, H., Khélifi, N., Eds.; Springer: Berlin, Germany. 111–112. doi: 10.1007/978-3-319-70548-4_38.
13. Viccione, G., Evangelista, Stefania, Andrea, Armenante, Vincenzo, Ricciardi. In press. Clogging process and related pressure drops in wire wound filters: laboratory evidence. Environmental Science and Pollution Research. doi: 10.1007/s11356-019-05628-7
14. Evangelista, S., Viccione, G., Siani, O. (2019a). A new cost effective, long life and low resistance filter cartridge for water treatment. *Journal of Water Process Engineering* 27, 1–14. doi: 10.1016/j.jwpe.2018.11.004.
15. Evangelista, S., Viccione, G.; Siani, O. (2019b). Experimental data of the laboratory investigation for the design of a new filter cartridge for water treatment. *Data in brief* 22, 296–306. doi: 10.1016/j.dib.2018.12.025.
16. EPANET 2 Users' Manual (2000). United States Environmental Protection Agency public domain software; Rossman: Washington, DC, USA, EPA/600/R-00/057.
17. Viccione, G., Evangelista, S. (2018). Experimental and numerical analysis of the hydraulic performance of filtering cartridges for water treatment. In Proceeding of the 13th International Conference on Hydroinformatics (HIC 2018), Palermo, Italy, 1–5 July 2018. doi: 10.29007/b26c.
18. Viccione, G., Evangelista, S. (2017b). Head loss induced by filter cartridges in drinking water networks. In Proceedings of the 15th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2017), Rhodes, Greece, 31 August–2 September 2017; n. CEST2017_00576; Lekkas, D.F., Ed.; pp. 1–5, ISBN 978-960-7475-53-4.

Flood vulnerability for transition areas. Case Study for Eastern Carpathians Mountains (Romania)

Ionut Minea[1], Oana Elena Chelariu[1,2], Iosub Marina [1,3], Andrei Enea[1,3]

[1]"Alexandru Ioan Cuza" University of Iași, Faculty of Geography and Geology, Department of Geography, Romania, Carol I, no 20A, 700505, Iași, Romania email: ionutminea1979@yahoo.com

[2]Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Faculty of Geography and Geology, Research Department, Carol I, no 20A, 700505, Iasi, **Romania**

[3] Integrated Center of Environmental Science Studies in the North Eastern Region - CERNESIM, 11 Carol I, 700506,"Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Romania

Abstract: The drainage basins developed in the transition areas from Eastern Carpathians Mountains to the hilly region of Moldavian Plateau are affected frequently by heavy rains, which produce floods with catastrophic effects. Throughout the past decade, there have been at least five sequences of catastrophic floods in the north-eastern part of Romania 2004, 2005, 2008, 2010 and 2011. The increase of the frequency of flash-flood conditions requires a correct identification of vulnerable areas where these hydrological risk phenomena appears. The floods were caused by heavy rainfall (in some cases with more than 150-180 mm in few hours), which contributed to flows that surpassed the historical thresholds. These high-level flows, combined with the deforestation of large areas and the inadequate positioning of buildings in vulnerable areas, produced significant human and material damages, with a historical maximum level for Romania. The present study examines the vulnerability of the population and buildings from villages and towns situated in the eastern part of the Eastern Carpathians in front of flash-floods. By applying the multi-criteria method, areas with high flood vulnerability were pointed out in the Sucevita, Ozana and Tazlau drainage basins. Hydraulic modelling was carried out using the HEC-RAS software and revealed that more than 20 to 25% of dwellings with high vulnerability will be affected in the case of a flood with an exceedance probability of 1% and 8-10% of buildings in the case of a flood with an exceedance probability of 5%. By knowing the flood vulnerability zones, the appropriate measures can reduce the damages of a hydrological event. Moreover, the proper delimitation of the floodplain leads to adequate economic management and ensures the security of the population.

Key words: floods, vulnerability, transition areas, hydraulic modelling, HEC-RAS software

Introduction

The frequency and intensity of extreme hydro-climatic phenomena has intensified over recent decades on the background of climate change and anthropogenic activities. Globally, from the analysis of data published by EM-DAT, there is a tendency to increase the number of floods occurring annually, as well as recorded damage or loss of human life (Hapciuc et al., 2015). For example, only in 2013 there were 149 flood episodes and their consequences have resulted in economic damages exceeding $ 70 billion (EM-DAT, 2013). The same explosion of extreme hydro-climatic phenomena was also observed in Romania. The statistical analysis of the flood data in Romania reveals that between 1900 and 2015 the number of deceased individuals varies between 1000 (in 1926) and one person in 2015. From the analysis of the damages produced, it is noticed that the worst floods occurred after 2000, with economic losses exceeding USD 1 billion annually, especially in the years with strong floods like 2005 and 2010 (Romanescu et al., 2018). An important aspect to be mentioned is that the greatest damage and loss of human life occurred in the eastern part of Romania in the area drained by the rivers that make the transition between the high mountain range of the Eastern Carpathians and the lower plateau belonging to the Moldavian Table land (Fig.1)

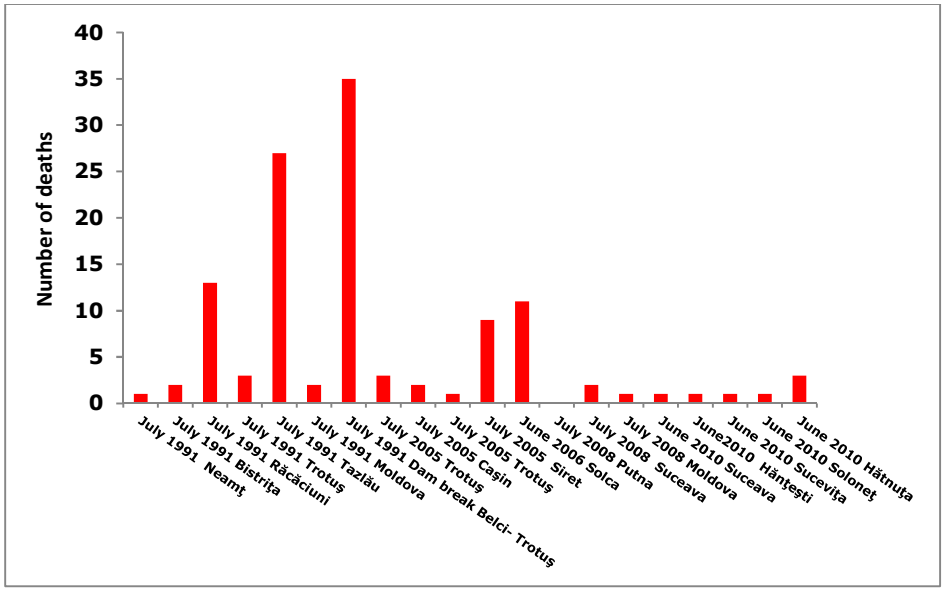


Figure 1. Number of deaths for each important flood in Easter Carpathian from 1990 to 2010 (after Water National Administration)

Moreover, by applying the Flood Risk Directive EC / 60/2207 it was noted that in this area of geological contact between the mountain and the plateau there are recorded the largest flooded areas in Romania and in the last 3 decades the most significant historical floods. For this reason, we have chosen to analyze a series of case studies to highlight the territorial vulnerability and the impact on human communities of the floods in a series of hydrographic basins severely affected by these extreme

hydrological phenomena: Sucevita (located in the northern aperture), Ozana and Tazlau located in the central part).

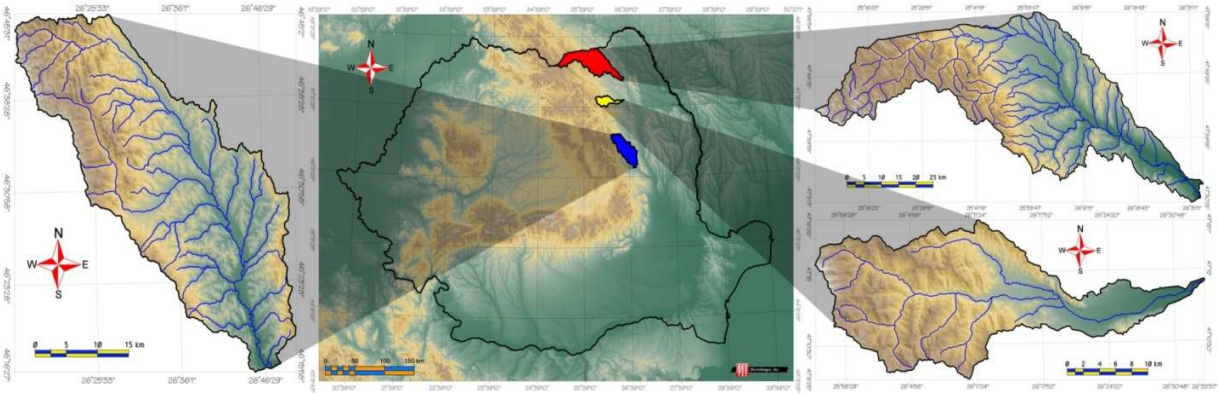


Figure 2. The geographical position of the drainage basins analyzed Sucevita, Ozana and Tazlau

Data base and methodology

The database came from the national hydrological elements monitoring system of the National Hydrological Administration. For each basin the most important floods were extracted and the main hydrological parameters and the probability of occurrence were calculated (table 1).

Tabel 1. Historical flood for each drainage basin

Location	Date	Duration (days)	Surface flooded (square km)	Occurrence probability
Suceviţa – down to Suceviţa village	2008-07-22	5	6.1	1%
Suceviţa -down to Suceviţa village	2010-06-20	5	6.3	2%
Ozana- down to Pipirig village	1991-07-25	15	13.5	3%
Ozana- down to Pipirig village	2010-06-20	8	14.2	5%
Tazlău – down to Tazlăul Sărat tributary	1991-07-26	20	12.6	1%
Tazlău -down to Tazlăul Sărat tributary	2005-07-08	15	20.9	1%

Two methodologies were used to determine areas with flood potential within the basin: the potential flood generation index and the analytical hierarchy process (AHP). Thus, two types of analysis were combined: the quantitative one which integrates the physical-geographic (morphometric and land use) factors that influence the distribution of the floods and the qualitative analysis by applying the analytical hierarchy process that allows for a hierarchical structure the criteria and the determination of the weights of influence. Thematic layers and weights were integrated into GIS system. The result obtained was used to determine the flood vulnerability of human settlements. (Nicu, Romanescu, 2016). The analysis of flood vulnerability

of built-up area and population was made using this method for the Sucevita basin and a number of localities within the basin (Sucevita and Marginea). For the other two drainage basins (Ozana and Tazlau) in the determination of floodplains, the HEC-RAS program and the HEC-GeoRAS extension. The stages of implementation were the following:

1. identifying the factors that amplify the vulnerability of buildings and population;
2. development of the database necessary for applying the methodology;
3. vulnerability evaluation for each item using the multi-criteria method/vulnerability evaluation for population;
4. comparative analysis of the results obtained.

Results and discussions

Local geographical condition that can generate floods

An important aspect that needs to be analyzed before identifying vulnerable areas are local conditions that can generate the floods. As we mentioned above in all three basins in the last decades, historical floods have occurred. These were generated by a combination of local and regional factors. Regional factors have been determined by the movement of air masses and the production of significant amounts of precipitation. Thus, in all the basins, quantities exceeding 100 mm/m^2 (186.1 mm in the Tazlau basin in 1991, 115.9 mm in the Sucevita basin in 2008, 116.3 mm in the Ozana basin in 2013) were recorded in a very short time interval). These large amounts of water have also accumulated the negative effects of local geographic factors such as uncontrolled deforestation, reduction of transit capacity in the hydrographic network, slope and form of receiving basins (Io□ub e□□l., 2014) (Fig.3).

Figure 3. Local geographical factors that contributes to producing floods in Eastern Carpathians

Most of these extreme hydrological phenomena occur in the summer season (table 2).

Table 2. Floods frequency distribution in the period 1950-2015

Month	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Sucevița	-	-	-	15	14	24	27	10	8	2	-	-
Oz□n□	-	-	8	19	5	24	19	22	-	3	-	-
T□zlău	1	3	9	13	17	16	16	11	7	3	1	3

At the same time it can be noticed that the occurence probabilities for the floods in the last decades, especially from 2005 and 2010, fall between 1 and 2% for the Ozana and Tazlău rivers and exceeds 1% for the Sucevita River (table 3).

Table 3. Maximum registered flow rates and the occurrence probabilities in Sucevița, Ozana and Tazlău drainage basins

River	Hidrometric station	Qmed (m^3/s)	Qmax year of occurrence (m^3/s)	Maximum flow rates with different occurrence probabilities		
				1%	2%	5%
Sucevița	Sucevița	1,22	107 (2008)	255	200	135
	Marginea section	2,44	**467 (2010)**	350	270	185
Ozana	Pluton	0,36	96 (1970)	90	70	49,5
	Leghin	2,11	250 (2005)	380	295	210
	Dumbrava	3,42	**456 (2005)**	500	390	275
Tazlău	Helegiu	6,8	**1556 (2005)**	1700	1395	1020
	Lucăcești	1,4	514 (2005)	545	430	300
	Scorțeni	3,3	538 (2005)	830	665	475
	Tazlău	1,4	698 (1970)	630	490	395

GIS applications in flood vulnerability analysis

Most settlements in the three river basins analyzed are located within the meadow or in the areas of action of overflowing waters. Flooding in recent years has highlighted the vulnerability of human communities by increasing material damage and reduced absorption capacity of the effects of the phenomenon. In recent years, researchers have focused on modeling, flood hazard and risk maps, and vulnerable areas. A number of methodologies have been developed to assess flood vulnerability (Luino et al., 2009; Kourgialas, Karatzas, 2011), these being vital tools in providing information to reduce the damage caused (Papathoma et al., 2003, Papathoma, Dominey-Howes, 2003; Pender, Neelz, 2007; Sanders, 2007; Förster et al., 2008; Huang et al., 2012).

Applying GIS techniques to analyzing the vulnerability of human communities greatly facilitates the work of researchers. For example, two methodologies were applied for the Sucevita basin: the potential flood generation index and the analytical hierarchy process (Hapciuc et al., 2016). The results of the first methodology can be seen in Figure 5. For the calculation of the Potential Index of Flood Occurrence FPI) 5 parameters were analyzed: the slope, curvature profiles, soil texture, land use and lithology.

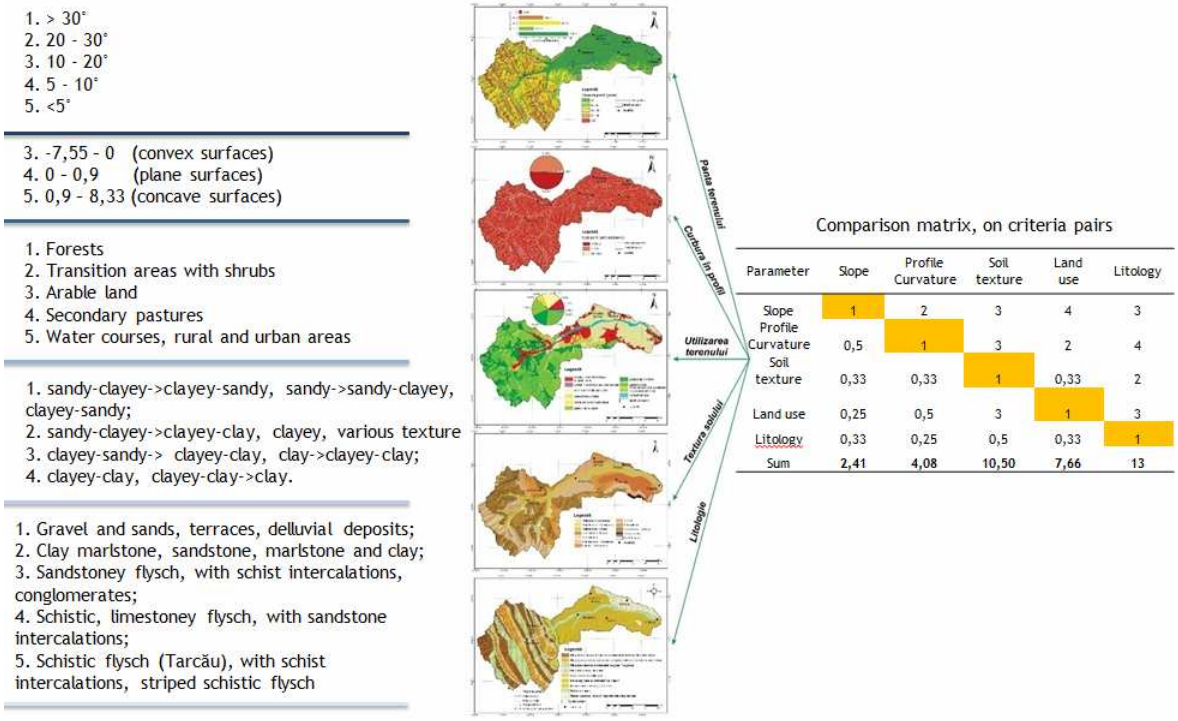


Figure 4 Potential index of flood occurence – Sucevița basin

Each parameter was ranked according to local geographic conditions and then the hierarchical analysis matrix (AHP) was used to calculate the weight of each factor and subsequently the flood event occurrence index (FPI):

$$FH = \sum_{i=1}^{n} RiWi$$

where: FH is the flood hazard, n is the number of integrated factors, Ri is the bonitation number assigned and Wi represents the weight of each factor analysed obtained by AHP.

For each factor the weight number is 3.88 for slope, 2.61 for curvature profile, 1.03 for texture, 1,75 for land use and 0,73 for lithology. The catographical results are shown in the figure 5.

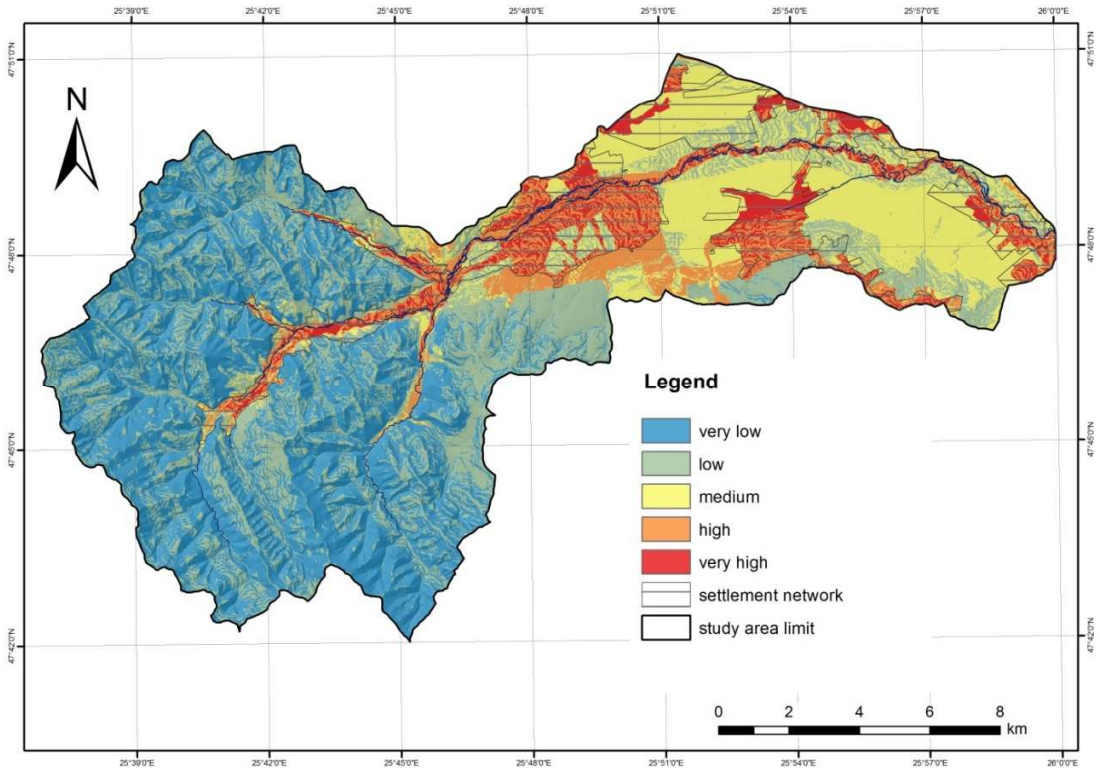


Figure 5. Distribution of areas vulnerable to floods in Sucevița drainage basin

For Ozana drainage basin was used another type of methodology. First was calculated the SCS-CN value. This SCS–CN is based on the relation of three layers: rainfall, soil hydrological conditions and depth of runoff (Grove et. al. 1998). It is an empirical parameter, used in hydrology for estimating runoff or excess water infiltration, after a torrential rain. The base ecuation of this parameter is:

$$Q=(P-0.2S)^2/(P+0.8S)$$

where Q=flow rate of the flood, P=precipitation quantity, S=capacity of water retention of the soil. The methodological steps of generating SCS-CN were described by Zhan, Huang (2004).

Applying this method has been estimated the water volume drained in the case of a 10, 50 and 125 mm/m^2 rainfall for entire basin. The result are shown in the figure 6.

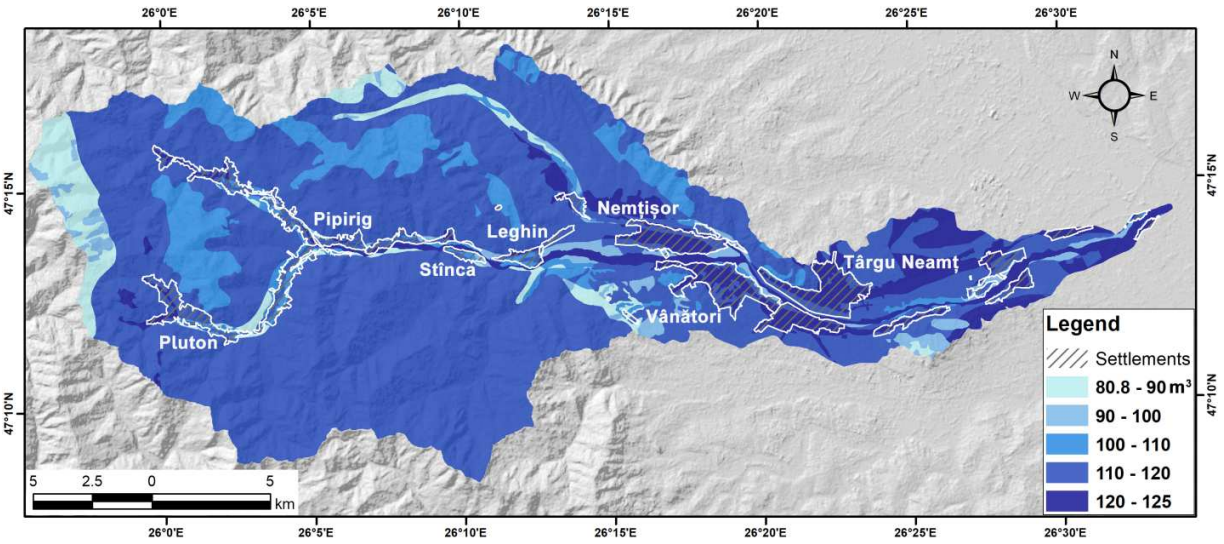


Figure 6. W□er volume dr□ined in □he c□□e of □125 mm/m^2 r□inf□ll □□he level of Oz□n□ dr□in□ge b□□in

Associated with this flow rate of flood can be calculated a water concentration time at each river basin. Reduced concentration times are specific to hydrographic basins that respond quickly to precipitation. The Ozana basin's mountainous area is characterized by a reduced concentration time of up to 6 hours, which places the area in a high risk category.

It is calculated according to the formula:

$$T_C = 1{,}67 * T_{LAG}$$

where: TL = the time passing between the center of the rainfall range and the moment when the peak of the flood with the relationship occurs (US Departament of Agriculture, 1997):

$$T_{LAG} = (3{,}28084 * L)^{0{,}8} * \frac{(S+1)^{0{,}7}}{1900\sqrt{I_B}}$$

where :

T_{LAG} – the delay time, in hours;

L – the length of the main bed, in meters;

I_B – the slope of the draiange basin, in %;

S – water storage capacity; values are calculated according to the formula CN (where metric measuring units):

$$S = \frac{2540}{CN} - 25{,}4$$

The basins with $T_c \leq 6$ hours are identified and the layers with values related to human settlements and the spatial distribution of sub-basins having a Tc (concentration time) of less

than 6 hours are overlapped. The result appears as a new layer identifying flood-sensitive localities (Figure 7).

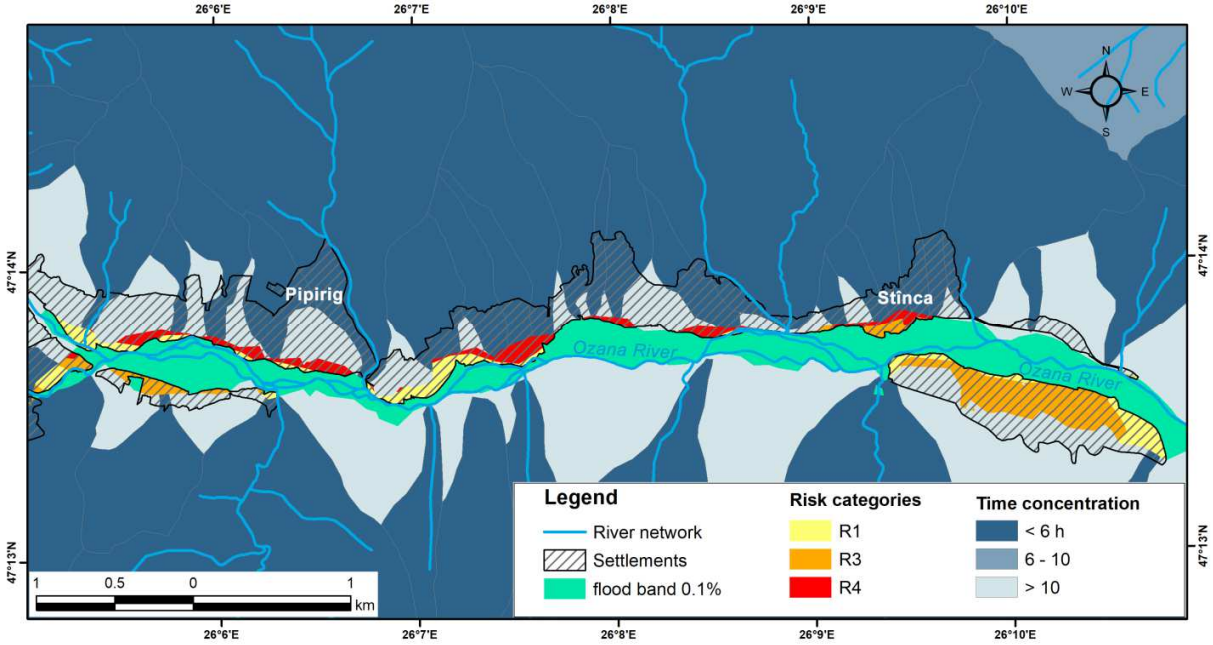


Figure 7. Flood risk on the slopes and the flood-prone areas for Ozana river valley, for a 0,1% occurence probability

Using the HEC-RAS model, water depth and water depth distribution during floods could also be estimated for different statistical probabilities (0,1%, 1% și 5%). Obviously, the largest depths in the areas where the riverbed is narrowed and the loss of the floodplain width is offset by the larger depths reaching sometimes even 4 m (like in the case of Leghin in the middle of the basin). These high water depths during floods are reflected in constructed water-covered areas which in some localities even exceed 40% of the entire area (Figure 8).

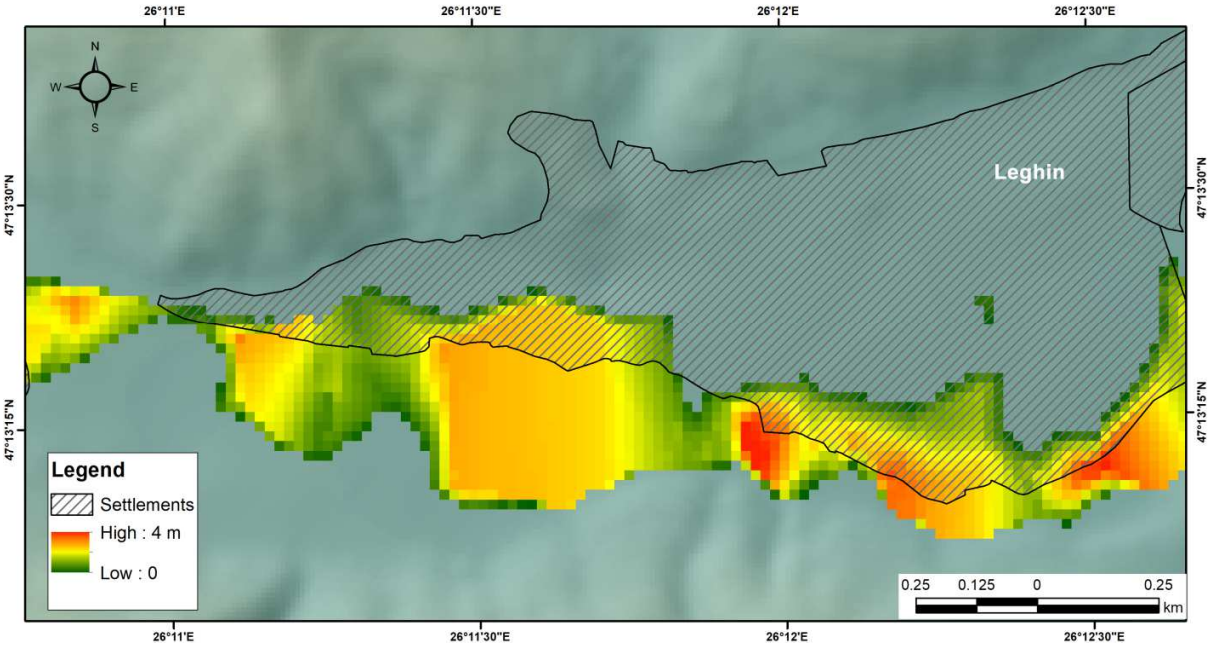


Figure 8. Flood water depth for 1 % occurence probability in the Leghin settlement

For Tazlau drainage basin After simulating an extreme pluviometric event, the following maps were generated:

- Surface runoff, for each half hour, out of a total of 3 hours, for the entire time span of the rainfall event
- Precipitation quantity for each half hour, out of which the most important two parameters that directly reduce the surface runoff were subtracted. These parameters are soil infiltration and the interception by the vegetation. After subtracting the specific values of infiltration and interception, a certain amount of water is left, which concentrates on the surface, for each of half hour interval that was generated.

-

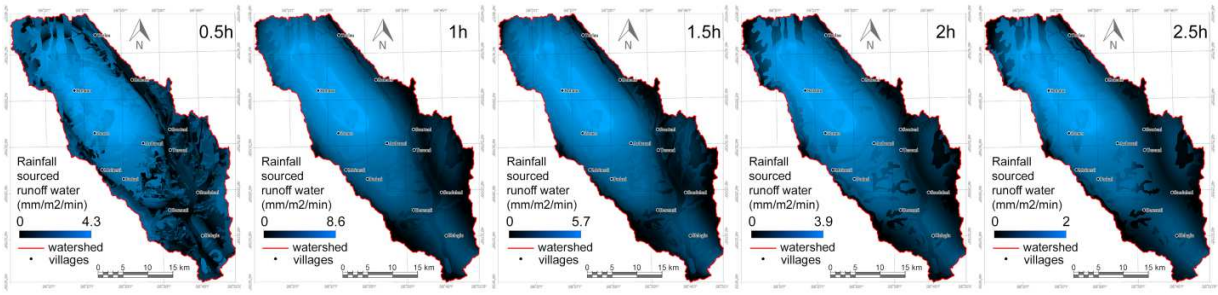


Figure 9. Amount of water drained on the topographic surface (for Tazlău drainage basin), for each half hour(in mm/min)

After executing the subtractions between the raster layers with the precipitation quantity that reached the ground, and the ones with interception values, and infiltration values, for each half hour interval, a new set of raster layers was generated, which reveal the amount of rain water, that fell in Tazlău drainage basin, and which eventually concentrates in river flows (Figure 10).

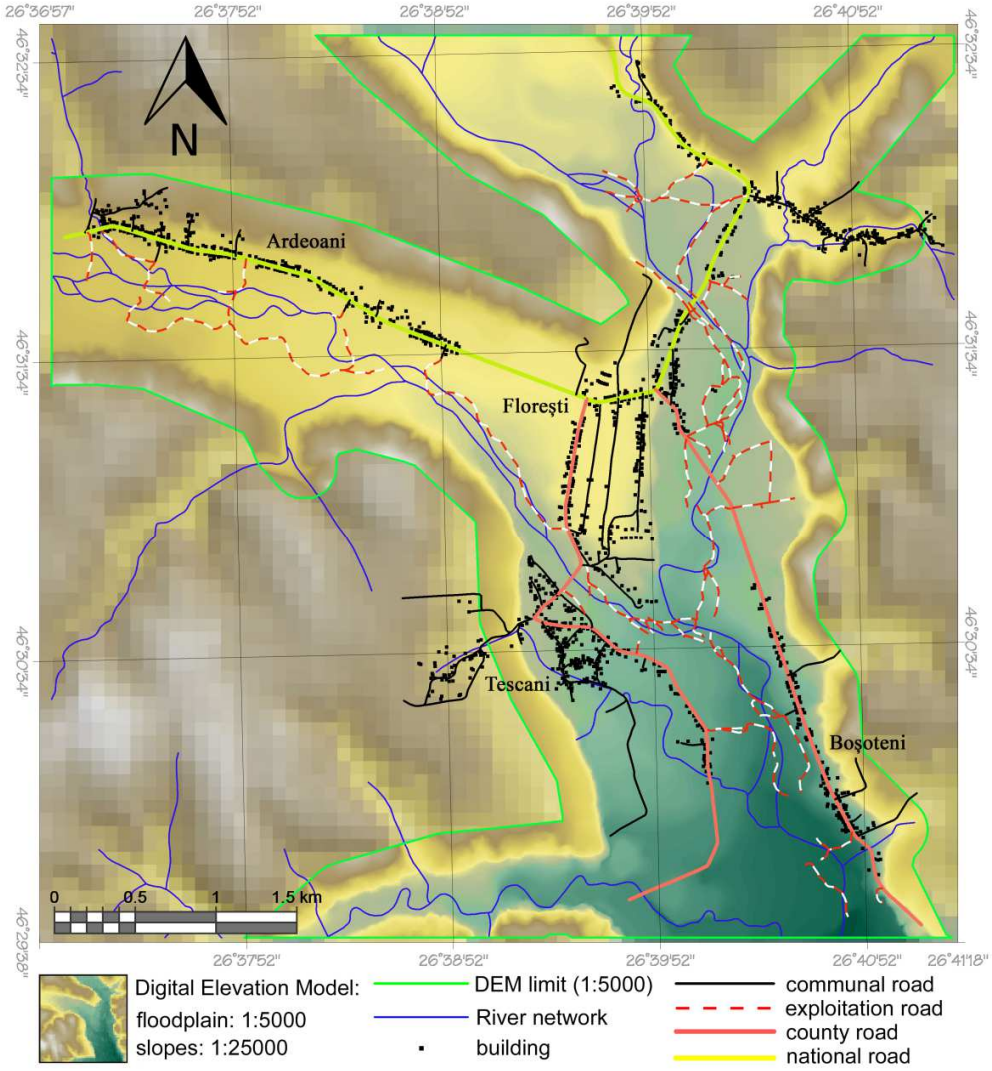


Figure 10. Area affected by flooding, at the moment of maximum discharge, (after 1 hour, from the beggining of the rainfall)

Conclusions

The utility of the tools for analyzing flood vulnerability can be starting point in the management of emergency situations as they allow the concentration of resources in the areas of concern, raising awareness among the population and devising a functional alarm system within the local community.

The methodology applied in the Sucevita, Ozana and Tazlau drainage basins, which has been tested and validated by studies carried out worldwide, was adapted to the conditions of a small catchment located in the mountain/plateau transition zone.
Quantifying the vulnerability and determining the areas likely affected in the event of a flood provide useful information to decision makers, leading to adequate allocation of resources so as to reduce potential damages.

Aknowledgements
This work was partially financially supported by the Department of Geography and Research Department from the "Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi. This work was done during the Postdoctoral Research Program from the "Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi.

References

1. Förster S., Kuhlmann B., Lindenschmidt K.-E., Bronstert A. (2008), Assessing flood risk for rural detention area, Natural Hazards and Earth System Sciences, 8, 311– 322.
2. Huang D., Zhang R., Huo Z., Mao F., Youhao E.,.Zheng W. (2012), An assessment of multidimensional flood vulnerability at the provincial scale in China based on the DEA method, Natural Hazards, 64, 1575–1586.
3. Grove M., Harbor J., Engel B., 1998, *Composite vs. Distributed curve numbers : effects on estimates of storm runoff depths*, Journal of the American water resources association, vol. 34, nr. 5, 1015-1023 p.
4. Hapciuc O.E., Minea I., Romanescu G., Tomașciuc A.I. (2015), Flash flood risk management for small basins in the mountain-plateau transition zone. Case study for Sucevița catchement (Romania), International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015, Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystem. Conference Proceedings, 1, 301-308.
5. Hapciuc, O.E., Iosub, M., Tomasciuc, A.I., Minea, I., Romanescu, G. 2016. Identification of the potential risk areas regarding the floods occurrence within small mountain catchments, 2nd International Scientific Conference Geobalcanica 2016, 177-183
6. Iosub M., Enea A., Hapciuc O.E., Romanescu G., Minea I. (2014), Flood risk assessment for the Ozana river sector corresponding to Leghin village, Romania, 14th SGEM GeoConference on Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems, 19 – 25 iunie, 315-328.
7. Luino F., Cirio G. C., Biddoccu M., Agangi A., Giulietto W., Godone F., Nigrelli G. (2009), Application of a model to the evaluation of flood damage, Geoinformatica, (13), 339–353.
8. Kourgialas N., Karatzas G. (2011), Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas – a case study, Hydrological Sciences Journal, 56(2), 212-225.

9. Nicu I.C., Romanescu G. (2016), Effect of natural risk factors upon the evolution of Chalcolithic human settlements in Northeastern Romania (Valea Oii watershed). From ancient times dynamics to nowadays degradation, Zeitschrift für Geomorphologie, 60(1), 1-9.
10. Papathoma M., Dominey-Howes D., Zong Y., Smith D. (2003), Assessing tsunami vulnerability, an exemple from Herakleio, Crete, Natural Hazards and Earth System Sciences, 3, 377–389. 169.
11. Papathoma M., Dominey-Howes D. (2003), Tsunami vulnerability assessment and its implications for costal hazard analysis disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece, Natural Hazards and Earth System Sciences, 3, 733–747.
12. Pender G., Neelz S. (2007), Use of computer models of flood inundation to facilitate communication in flood risk management, Enviromental Hazards and Risk Communication, 7, 106–114.
13. Romanescu G., Hapciuc O.E., Minea I., Iosub M. (2016c), Flood vulnerability assessment in the mountain-plateau transition zone: a case study of Marginea village (Romania), Journal of Flood Risk Management, doi:10.1111/jfr3.12249.
14. Sanders B. (2007), Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling, Advances in Water Resources, 30, 1831–1843.
15. Zhan X., Huang M.L., 2004, *ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps*, Environmental Modelling & Software, Elsevier, vol. 19, nr. 10, 875-879 p.
16. ***2007, *Europe: EU Flood Directive – Directive 2007/60/EC of the European Parliament and the Council of 26 October 2007 on the assessment and management of flood risks*.
17. ***USGS, 1999, *Hydrologic Hazards Science at the U.S. Geological Survey*, National Academy Press, Washington, D.C., 92 p.
18. ***http://www.emdat.be/database

Hydrotechnical structures on the rivers in the Drwęca basin (Poland)

Katarzyna Kubiak-Wójcicka[1], Dominika Śliwecka[1]

[1] Department of Hydrology and Water Management, Faculty of Earth Sciences, Nicolaus Copernicus University, Poland
Emails: kubiak@umk.pl

Abstract

This paper presents the current energetic usage of the rivers in the Drwęca basin. It has been determined on the basis of water supply consents obtained from the responsible agencies (district offices) and on-site verification. Based on the German maps from 1909–1949 scaled 1:25000 the number of water mills active at the beginning of the twentieth century in the Drwęca basin has been assessed. It allowed determining locations of potential energetic usage of the rivers.

The river Drwęca is located in northern Poland, in the Mazury Lake District and Chełmno-Dobrzyń Lake District. The river is 230.83 km long and the surface area of its basin is 5697.4 km^2 [Atlas podziału hydrograficznego Polski 2005].

In theory, the energetic capacity of the rivers in the Drwęca basin is estimated at 9.5 MW, which may result in annual energy production at the level of approximately 83.22 GWh. The energy resources possible to use, in turn, are estimated at approximately 3.5 MW [Zasoby i możliwości wykorzystania... 2009]. Currently, in the Drwęca basin there are 17 hydropower plants. The total capacity of all the existing hydropower plants is 678 kW, which comprises approximately 19% of the rivers' technical potential. This means that there is still approximately 2.8 MW capacity to be used. The water mills marked on old German maps indicate the places that can now be used to build new small hydropower plants.

Keyword(s): small hydropower plant (SHP), hydropower structures, Drwęca river, Poland,

1. Introduction

The use of the flowing water energy has been known for ages. Historic researches proved it was appreciated as early as ca. 3000 BC. However, the written sources which describe entire hydropower structures come from later times. In ca. 230 BC, Philo of Byzantium described more complex structures of water wheels [Steller 2013].

The first water wheels were used in the first century BC in the Roman Empire. They were described by Marcus Vitruvius, the court writer of Octavian Augustus, in his work *De Architectura* written between 25 and 23 BC [Hoffmann 1991]. A wider usage of water mills in Western Europe started later. In Germany water mills appeared at the end of the seventh century while in the area of Great Britain the oldest mention of a water mill comes from 838 AD [Baranowski 1977].

The first water mills in the area of Poland appeared at the end of the eleventh century. According to Z. Podgórski [2009] the first water mill was established in Zgorzelec. It was mentioned in a document from 1071. In addition, two other water mill sites were proven: in 1204 in Dobra in Silesia and in 1207 in Brzeźnica in Masovia. A wide spread of water mills in Poland took place in the thirteenth century. The number of mills had been growing to reach the highest level in the eighteenth century. An important achievement was the usage of water turbine, which started replacing a water wheel.

The oldest hydropower plant in Poland - still in operation - is the Small Hydropower Plant (SHP) Struga on the river Słupia, which was built in 1896. Initially it was a water mill. Then it was converted to a propulsion for the nearby sawmill and paper-mill. Since the modernisation in 1920, it has been producing electric energy with the capacity of 250 kW.

In the interwar period, in the area of the then Poland, there were 6500 factories driven by water engines [Hoffmann 1991]. After WWII the number of those objects decreased. Hydropower plants greater than 1 MW were taken over by the professional power industry. The remaining, smaller objects were restored only partially and started as hydropower plants. The renewed interest in hydropower plants started at the beginning of the 1980s, when the Council of Ministers' resolution on the development of small hydropower plants (no 192, 7 Sept. 1981) has been introduced. The resolution allowed private persons establishing and using hydropower plants with a capacity of up to 5 MW. Since then, the interest in using water mill sites and building SHPs has grown.

The definition of small hydro-energetics is not consistent throughout the world. The main criterion is the capacity. In Poland, various threshold capacities were considered, e.g. 5 MW or 2 MW. Yet in the 1970s, the object was deemed an SHP if its capacity was less than 1 MW [Łaski 1971]. Since Poland joined the European Union (1 May 2004), an SHP is an object with a capacity lower than 10 MW. Moreover, the 10 MW threshold is used for statistical purposes and other documents at the EU level [Steller 2013]. This value has been accepted by the European Small Hydropower Association. Among the SHPs there is a further division into mini, micro and pico power plants. Again, in this case the division is not explicit. It is related to various legal and administrative procedures as well as state subventions for the renewable energy sources in various countries [Steller 2013]. The most common is the division of the SHPs according to the categories given in Table 1.

Table 1. Classification of hydropower generation

Hydrogenerator	**Capacity**
Small	<10 MW
Mini	<2 MW
Micro	<100 kW
Pico	<20 kW

The power of hydroelectric plants located in Poland is not large. This is mainly due to the lowland nature of our country and the lack of convenient locations for placing a large hydropower plant. Most of the flowing water belongs to the basins of the Vistula and Odra, which in mountainous terrain do not have too much water (flows are relatively small), but there are more water areas in the lowland areas, but the water head do not exceed a few meters. Most of them are run-of-river power plants, but the highest power have pumped storage power plants, which in Poland is 6. The biggest pumped storage power plant in Poland is the Żarnowiec (716 MW). The largest run-of-river plant in Poland is the Włocławek power plant on the Vistula, with a maximum output of 160.2 MW (Kubiak-Wójcicka, Bąk, 2018). Small hydro power plants are considered one of the most cost-effective and environmentally benign energy technologies to be considered for rural electrification in less developed countries (Pang et al. 2015; Sachdev et al. 2015). Optimal conditions for the construction of small hydropower plants are primarily in mountain and foothill areas (south Poland), as well as in the Pomeranian and Masurian areas and in Greater Poland area (north and central Poland). The small rivers in north Poland where the energy potential has been used should be included Gwda river, Wda river, Brda river, Słupia river. For example the rivers on north Poland Gwda (Kubiak-Wójcicka, Muszyńska, 2011; Kubiak-Wójcicka and Kornaś 2015).

2. Aim and research methods

The aim of this paper is the presentation of energetic usage of rivers in the Drwęca basin and their potential for future hydrotechnical development. The research was conducted in a few stages.

During the first stage the available cartographic materials from various periods were recognised. The German maps from 1909–1949, scaled 1:25000, so called *Messtischblatt*, were selected for the detailed study. The water mills found on the German maps were tagged on the Drwęca basin map with the use of ArcGis 9 software.

The subsequent research stage was to acquire from appropriate authorities the information on water supply consents, which allow hydro-energetic usage of rivers. In order to achieve that, district offices of six districts located in the Drwęca river basin (Toruń, Golub-Dobrzyń, Brodnica, Nowe Miasto Lubawskie, Ostróda, Działdowo) were inquired for information on the water supply consents released for the purpose of energy production on the inland water. The consents usually contained data regarding the hydropower plant location, expiration period, amount of drained water, river gradient, flow and minimal flow and sometimes the plant capacity. Based on this data, a map with all current hydropower plants existing in the Drwęca basin was drawn.

The third stage was to verify the objects on-site to study the mode of operation and the influence of the selected hydropower plants on water conditions. The final result assumes pointing the potential sites for future hydropower plants as the interest in establishing SHPs is large.

Overall, there are 722 SHPs (below 10 MW) in Poland. Annually, they produce approximately 1036 GWh of energy. There is still approximately 1928 GWh of prospective annual production to be used by the SHPs [Small Hydropower Roadmap UE-27]. The Polish energy policy assumes development of only small hydropower plants.

3. Study area

The river Drwęca is located in northern Poland, in the Mazury Lake District and Chełmno-Dobrzyń Lake District. The Drwęca flows out from Lake Wielkie Omińskie in the Olsztyn Lake District, at the level of 191 m asl. It flows south-west and drains into the Vistula at the level of 36 m asl. Its final stage comprises the south-eastern border of the city of Toruń.

The river is 230.83 km long and the surface area of its basin is 5697.4 km^2 [Atlas podziału hydrograficznego Polski 2005]

The Drwęca basin is located within two voivodeships (Warmińsko-Mazurskie and Kujawsko-Pomorskie), which lay within several physical-geographical mesoregions: the Chełmno Lake District, Dobrzyń Lake District, Drwęca Valley, Brodnica Lake District, Urszulewo Plain, Lubawa Hills, Iława Lake District and Olsztyn Lake District [Kondracki 2000].

The Drwęca is a post-glacial river of the lake-district type. It uses the water discharge paths of the Krajna-Wąbrzeźno stage and the Pomeranian Phase of the last glaciation of Poland. It is one of the longest tributaries of the lower Vistula [Niewiarowski 1968]. The Drwęca's tributaries are fairly evenly spread over both sides of the river. The largest right tributaries are: Iławka, Skarlanka, Struga, Brodniczka and Struga Toruńska. The largest left tributaries are: Wel, Rypienica, Brynica, Ruziec, Lubianka and Grabiczek (Tab. 2). In the upper part of the river basin there is the Elbląg Canal, which connects Lake Drwęckie with Lake Drużno.

In 1980s, there were 26 watermarks in the Drwęca basin, in which hydrological observations were conducted: water level, flow, ice phenomena or water temperature. Seven of them were located on lakes [Atlas hydrologiczny Polski 1987]. Currently, there are only 13 watermarks, which conduct hydrological observations, out of which two are located on lakes [Atlas podziału hydrograficznego Polski 2005].

Table 2. Main tributaries of the Drwęca [Atlas podziału hydrograficznego Polski 2005]
R –right, L – left

Tributary	Drains into the Drwęca at the river kilometre	Length (km)	L/R	Basin area (km^2)
Grabiczek	210.14	25.64	L	139.70
Iławka	165.08	46.31	R	390.52
Sandela	162.84	17.88	L	71.66
Wel	152.37	107.45	L	822.44
Brynica	116.22	22.78	L	330.64
Skarlanka	106.44	26.22	R	234.28
Brodniczka	95.19	15.99	R	90.05
Rypienica	81.65	35.76	L	337.59
Struga	54.51	34.69	R	174.51
Ruziec	44.06	44.46	L	295.24
Lubianka	34.10	33.72	L	218.32
Struga Toruńska (Bacha)	10.25	54.41	R	338.96

4. Results

As a result of the research on the German maps from the period of 1909–1949, in total 100 water mills were found in the Drwęca basin (Fig. 1). There was one water mill per 57 km^2 of the basin, on average. The largest number of water mills was on the river Wel (12), which is one water mill per 9 km of the river. The second largest number of water mills was on the rivers Drwęca (7) and Sandela (6). It was common to have several water mills located in a single town or village. A good example is Lubawa which had 4 water mills on the Sandela and Lubicz with 3 water mills on the Drwęca (Table 3). The abovementioned tributaries have a large gradient. On the Drwęca itself there are not many water mills because of a small gradient and numerous menders. Only in its upper reaches the Drwęca had a few water mills.

In theory, the energetic capacity of the rivers in the Drwęca basin is estimated at 9.5 MW, which may result in annual energy production at the level of approximately 83.22 GWh. The energy resources possible to use, in turn, are estimated at approximately 3.5 MW [Zasoby i możliwości wykorzystania... 2009]. Currently, in the Drwęca basin there are 17 hydropower plants. The total capacity of all the existing hydropower plants is 678 kW, which comprises approximately 19% of the rivers' technical potential. This means that there is still approximately 2.8 MW capacity to be used.

Table 3. Water mills in the Drwęca basin (based on the Messtischblatt maps scaled 1:25000 released in 1909–1949)

Number	Site	River	Status
1	Morąg	Drela	0
2	Bożęcin		0
3	Czupla	Elbląg Canal	0
4	Miłomłyn		0
5	Janiki Wielkie	Iławka	0
6	Iława		0
7	Drwęck	Drwęca	0
8	Czarci Jar		0
9	Rychnowska Wola		0
10	Idzbark		0
11	Lubicz 1		0
12	Lubicz 2		0
13	Lubicz 3		0
14	Brodnica	Brodniczka	0
15	Brodnica (Ustronie)	No name 4 – tributary of the Drwęca	0
16	Glądy	Dylewka	0
17	Grabin	Grabiczek	0
18	Lesiak Ostródzki	Morlińska Struga	0
19	Nastajki	Poburzanka	0
20	Wirwajdy		0
21	Głaznoty	Gizela	0
22	Zakurzewo		0
23	Kołodziejki		0
24	Gierłoż Polska		0
25	Młyn	Młyńska Struga	0
26	Lubawa 1	Sandela	0
27	Lubawa 2		0
28	Lubawa 3		0
29	Lubawa 4		0
30	Targowisko Dolne		0
31	Rodzone		0
32	Samin	Saminiec	0
33	Młyn	No name 8 – tributary of the Straszewo Lake	0
34	Stare Miasto/ Wierzbica	Mała Wkra	0
35	Kolonia Rumian	Struga (Rumienica)	0
36	Rumian		0
37	Szczupliny	Wel	0
38	Tuczki		**1**
39	Cibórz		0
40	Jamielnik		0
41	Lidzbark 1		0
42	Lidzbark 2		0
43	Kurojady		**1**
44	PGR Chelsty		0
45	Kowaliki		0
46	Trzcin		**1**
47	Lorki		**1**
48	Bratian		**1**
49	Rynek	Struga Rynek	**1**
50	Pacołtowo	Groblica	0
51	Nowe Miasto Lubawskie		0
52	Wąs	No name 7 – tributary of the Wel	0
53	Gaj Grzmięca	Skarlanka	**1**
54	Sośno Królewskie/ Zembrze	No name 6 – tributary of the Drwęca	0
55	Wielki Głęboczek		0
56	Łażyn	Struga	0
57	Długi Most	No name 5 – tributary of the Samionka	0

58	Gutowo	Samionka	0
59	Samin 1		0
60	Samin 2		0
61	Czarny Bryńsk	Brynica	0
62	Nosek		0
63	Traczyska		0
64	Górzno 1	Górzanka	0
65	Górzno 2		0
66	Gołkówko	Pissa	**1**
67	Bachór		**1**
68	Pólko		**1**
69	Gorczenica	No name 3 – tributary of the Rypienica	0
70	Prątnia	Rypienica	0
71	Rypin		0
72	Przerwa	No name 2 – tributary of the Drwęca	0
73	Suława	Kujawka	0
74	Kujawa		0
75	Hamer		0
76	Hamer		0
77	Płonne	No name 1 – tributary of the Drwęca	0
78	Male pułkowo	Wawrzonka	**1**
79	Małe Pułkowo	Struga	0
80	Zawada		0
81	Lisewski Młyn		0
82	Handlowy Młyn		**1**
83	Słuchaj	Czarna	0
84	Zaręba	Ruziec	0
85	Sikórz	Wilenica	0
86	Bierzgło	Lubianka	0
87	Gapa		0
88	Dulnik		**1**
89	Chełmonie	Struga Młyńska Tyrnka	0
90	Franksztyn		0
91	Kałdunek		0
92	Leśno		0
93	Młyn Krupka	Struga Rychnowska	0
94	Młyn Krupka		**1**
95	Struś		0
96	Młyniec		0
97	Młyniec		0
98	Sęk	No name 9 – tributary of the Drwęca	0
99	Młyniec		0
100	Brodnica	Sugajnica	0

*Status: 0 - lack of new hydrotechnical structures, 1 - SHP at the site of a former

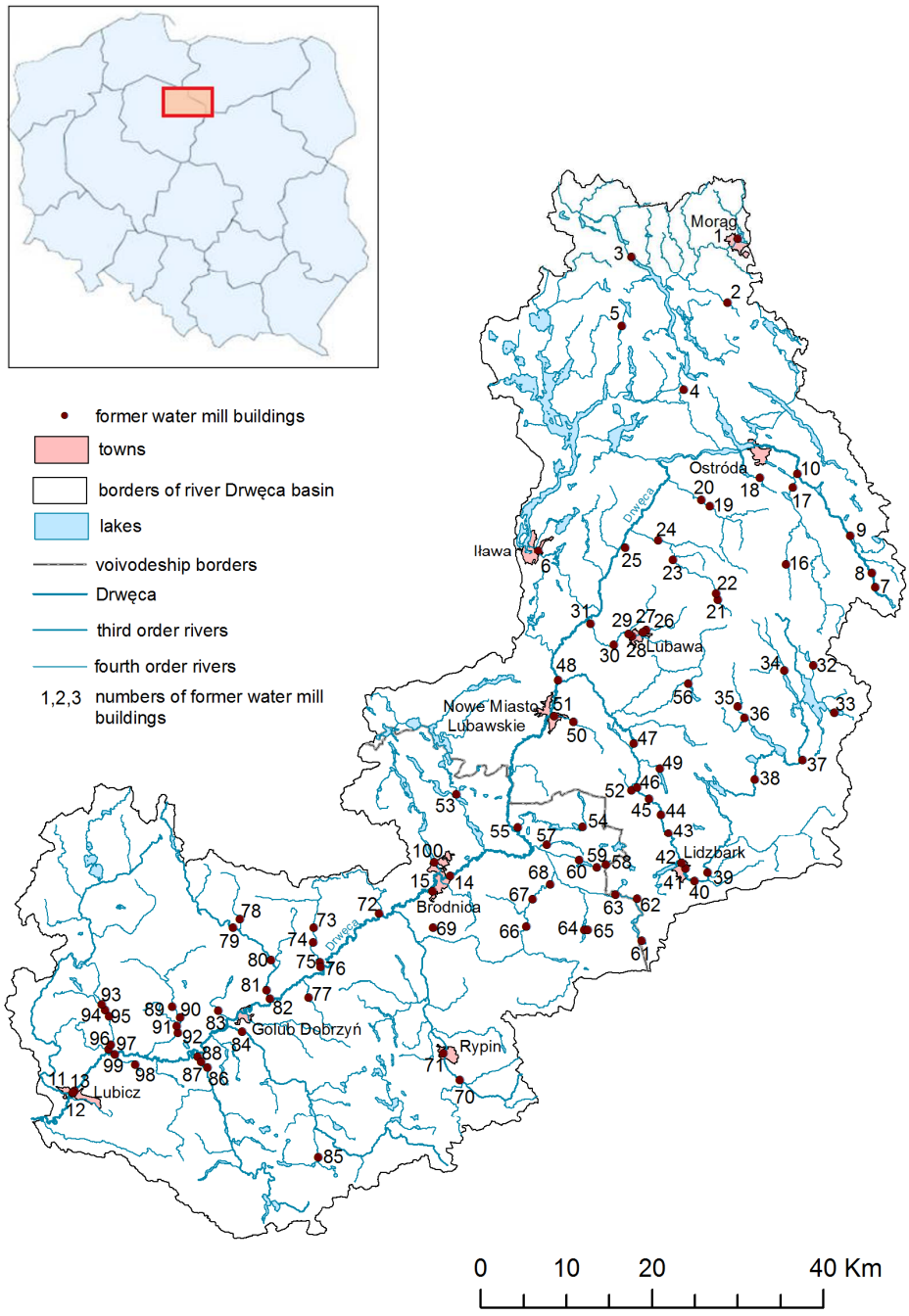


Figure 1. Water mills in the Drwęca basin based on the Messtischblatt maps (numbers correspond to Table 3)

Currently in the Drwęca basin there are 17 operating small hydropower plants (Table 4). One may notice that most of them are located on the left tributaries of the Drwęca. Alike water mills, small hydropower plants are mostly located in the proximity of the Lubawa Hills. In

this area there are as many as seven hydropower plants. In the Drwęca valley there are 3 SHPs: Lisak, Dulnik and Lubicz. Small hydropower plants on the rivers Pissa and Rypienica are located in the Urszulewo Plain. The hydrotechnical objects Gaj Grzmięca, Kamionka and Wielka Łąka are located in the following lake districts, respectively: Brodnica, Dobrzyń and Chełmno.

The objects listed in Table 4 have small a gradient, i.e. the difference between the upper and lower water levels. The characteristic feature of those objects is that the buildings bear the pressure of the dammed water. Their basic machinery mostly comprises turbosets, including Kaplan and Francis turbines [Łaski 1971]. The majority of them are micro hydropower plants with the capacity between 20 and 100 kW (12 plants), pico hydropower plants with the capacity below 20 kW (3 plants) and mini hydropower plants with the capacity between 100kW and 2MW (2 plants). The abovementioned objects are connected to the national grid and sell electricity to power companies.

Damming, draining and discharge of water for electricity production is only possible on the basis of the appropriate water supply consent. In most cases such documents are issued for the period of 20 years. In certain cases, however, they are issued for a shorter period of time. The examples mentioned in this paper have the consents issued for 20 or 10 years.

Table 4. Currently operating hydropower plants in the Drwęca basin (numbering according to Fig. 2)

#	SHP	River	Gradient (m)	Flow ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Capacity (kW)	Minimal flow ($m^3 \cdot s^{-1}$)
1.	Tuczki	Wel	2.9	1.52	~23	0.5
2.	Kurojady	Wel	2.19/3.0	2.5	60/90	0.5
3.	Trzcin	Wel	2.60	5.6	60	0.6
4.	Lorki	Wel	0.68	2.55	94	1.44
5.	Kaczek	Wel	2.20	2.264	110	0.5
6.	Bratian	Wel	2.66	2.18	105	0.44
7.	Rynek	Struga (Rynek)	4.76	0.375	13	0.02
8.	Gaj Grzmięca	Skarlanka	no data	0.88	30	0.16

9.	Gołkówko	Pissa	1.45	0.34-0.85	23	0.1
10.	Bachór	Pissa	3.5	0.4-0.7	23	0.05
11.	Pólko	Pissa	1.0	0.645	25	0.137
12.	Kamionka	Rypienica	no data	0.128	5.8	0.015
13.	Strzygi	Rypienica	1.5	1.8	17	0.1
14.	Lisak	Wawrzonka	4.30	no data	39	no data
15.	Dulnik	Lubianka	3.0	0.4-1.5	28	0.119
16.	Wielka Łąka	Struga (Rychnowska)	5.46	no data	17	no data
17.	Lubicz	Drwęca	1.8	2.23	28	no data

Most of the currently operating hydropower plants have been placed at the former water mill sites. They use damming as well as mill buildings. Among 17 hydropower plants only 3 are located in new sites, not used previously (SHP Kaczek, Kamionka and Strzygi). The largest number of hydropower plants is located on the Wel (6).

Some of these objects are bypass hydropower plants, in which water is supplied through a canal. In most cases, however, these are weir-by objects created by damming a river with a weir. Only a few of them have fish passes.

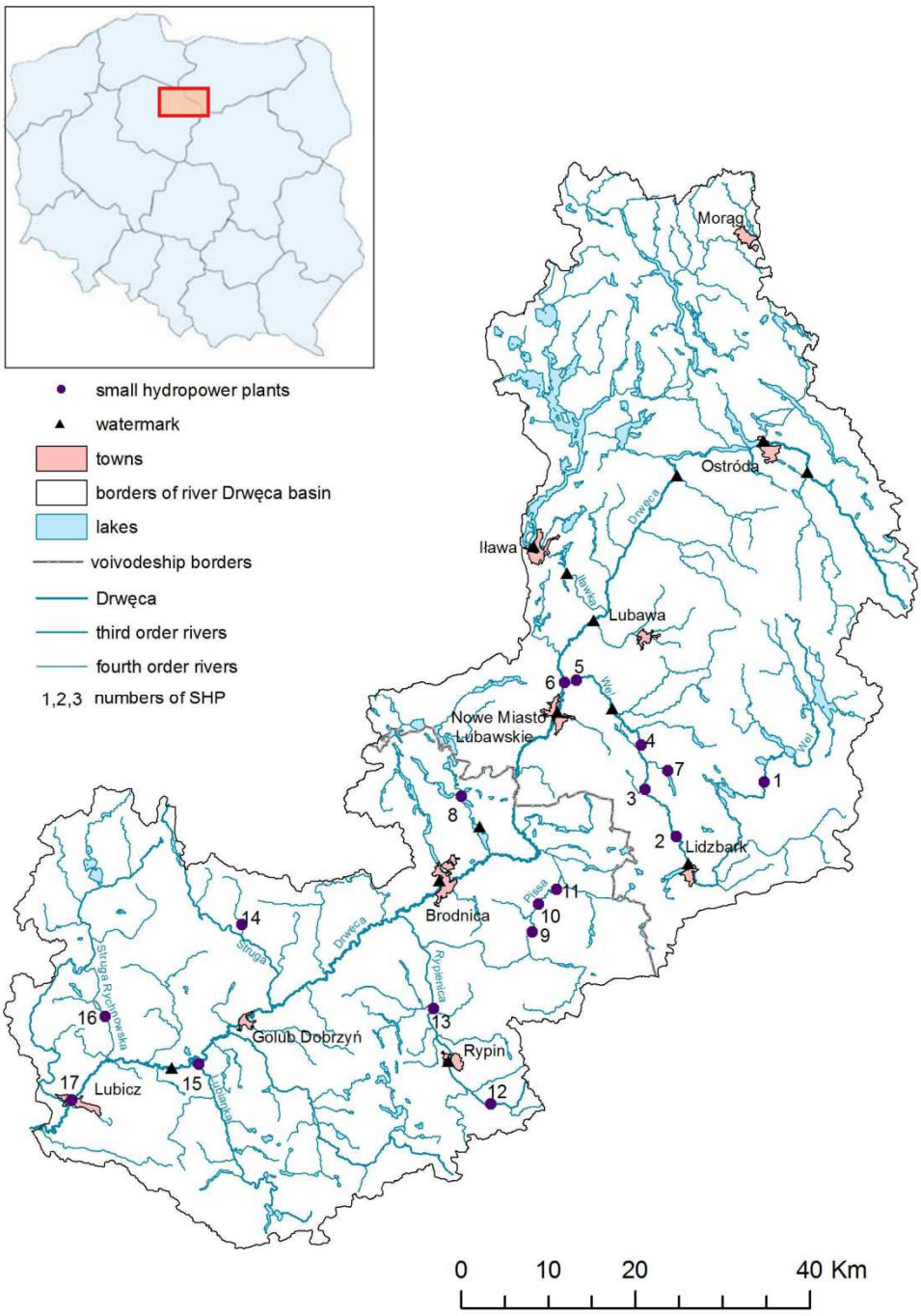


Figure 2. Small hydropower plants in the Drwęca basin

The analysis of the location of the small hydropower plants in the river bed allows dividing them into two kinds: weir-by and bypass. It is most common to locate the SHP in the river bed, especially at the place of damming. To make the construction of such a plant easier, it is located in the river bed only partially and sometimes in an artificial bay created on the river. The examples of the weir-by hydropower plants are the SHP Kurojady and SHP Trzcin. Another type, bypass hydropower plants, needs some additional structures, like a damming weir, water intake for the bypass and canal that brings the water into the powerhouse and then back to the river [Łaski 1971]. An example of bypass hydropower plant is the SHP Pólko.

A small hydropower plant Pólko is a bypass type power plant with the Francis turbine of capacity 25 kW. The plant has been working since 2004 and its water supply consent is valid through 2019. The river Pissa was dammed at the 2+340 km. Some water flows through the weir and some is carried by the bypass canal to the mill pond, and then to the power plant. After flowing through the turbine, the water is discharged back to the river Pissa. The total length of the canal is 152 m. For the energy production purposes, water is dammed up to the ordinate 87.52 m asl. The difference between the upper and lower water level is 1 m. Water damming causes the backwater reaching 500 m. The flow needed for the plant (intake and discharge) is Q=0.645 $m^{3}{\cdot}s^{-1}$. The SHP owner is obliged to keep the minimum flow below the plant no smaller than Q_n=0.137 $m^{3}{\cdot}s^{-1}$, by appropriate setting of the weir's crest shutter. It is a run-of-river hydropower plant, which means that the turbine capacity adapts to the current water flow.

A small hydropower plant Lubicz is a weir-by power plant. It is located in Lubicz Dolny at 12+300 km of the river Drwęca. Its capacity is estimated at 28 kW. The hydropower plant was built in 1995 and started its operation the same year. Initially, the SHP was owned by St. Brother Albert Society in Toruń. In 2012 it was bought by the Toruń Community Water Company. The hydropower plant's weir consists of 5 sliding spans and 3 non-movable spans. The weir, together with the fish pass, is 58.9 m wide. The small hydropower plant is located in the first sliding span of the weir, on the right bank. The SHP uses a propeller-pump turbine with a vertical axel, which works in a siphon system. The difference between the upper and lower water level is 1.8 m and the flow is Q=2.23 $m^{3}{\cdot}s^{-1}$. The weir construction caused the backwater reaching 16 km.

Environmental constraints are among the most important obstacles hampering the construction of new small hydropower plants. The Drwęca as a whole is a water reserve called “Rzeka Drwęca”, which was created to preserve the aquatic environment and fish dwelling there, in particular trout, salmon, bulltrout and vimba. It was created in 1961 and spreads over the Drwęca and some parts of its tributaries. It is the longest fish reserve in Poland with the protected area of 444.38 ha. Other obstacles hampering small hydropower plants construction include lengthy administrative procedures related to acquiring water supply consents and high construction costs. Hence, it is favourable to construct a hydropower plant at an existing damming site or at the sites with the already existing hydrotechnical structures built for other purposes. An important issue for the hydropower plants’ owners is keeping the minimal flow at the lower stand, below the power plant’s outflow.

5. Conclusions

Small hydropower plants produce ”clean” energy. Moreover, hydropower plants’ owners are obliged to keep the register of water levels and the amounts of energy produced. Thus, every SHP is a specific watermark, which supplies data on water levels and water flow. Publishing such information would enrich the knowledge on river systems on which regular watermark measurements are not currently conducted. Such option would extend the observation area by six additional rivers, which would give more accurate data about the Drwęca basin and its parts.

In the nearest future, the construction of two new SHPs is planned: a bypass SHP of the capacity about 560 kW in Lubicz and an SHP of the capacity 50 kW on the Wel in Grabacz. The existing SHPs in Lubicz and Kurojady are going to be modernised as well. Changing policies and finding new solutions will surely have a positive impact on the development of hydropower. So far, the programs have exploited the potential to a very small extent.

References

Atlas hydrologiczny Polski [Hydrological Atlas of Polish]. J. Stachy [ed.]. 1987. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.

Atlas podziału hydrograficznego Polski [Atlas Hydrographic Polish division]. H. Czarnecka [ed.]. 2005. Warszawa.

Baranowski B. 1977. Polskie młynarstwo [Polish milling]. Zakład Narodowy imienia Ossolińskich Wydawnictwo, Wrocław - Warszawa - Kraków – Gdańsk [in Polish].

Hoffmann M. 1991. Małe elektrownie wodne [Small hydropower plants]. Poradnik. Warszawa [in Polish].

Kubiak-Wójcicka K., & Muszyńska J. (2011). Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii do produkcji energii elektrycznej na przykładzie EW Podgaje. *Gaz Woda Technika Sanitarna*, 10, 371-373.

Kubiak-Wójcicka K., & Kornaś M. (2015). Impact of hydrotechnical structures on hydrological regime of the Gwda and Drawa rivers. *Quaestiones Geographicae* 34(1), 99-110

Kubiak-Wójcicka K., & Bąk B. (2018). Monitoring of meteorological and hydrological droughts in the Vistula basin (Poland). *Environ Monit Assess*, 190, 691. https://doi.org/10.1007/s10661-018-7058-8

Kondracki J. 2000. Geografia regionalna Polski [Regional Geography of Polish]. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa [in Polish].

Łaski A. 1971. Elektrownie wodne [Hydropower plants]. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa [in Polish].

Niewiarowski W. 1968. Morfologia i rozwój pradoliny i doliny dolnej Drwęcy [Morphology and development of the glacial valleys and valley bottom Drwęca]. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Toruń [in Polish].

Pang, M., et al. (2015). Ecological impacts of small hydropower in China: Insights from an energy analysis of a case plant. *Energy Policy*, *76*, 112–122. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.10.009

Podgórski Z. 2009. Młyny wodne w krajobrazie Pojezierza Chełmińskiego [Water mills in the landscape of the Lake District Chełmiński]. Prace Geograficzne. T. 41: 151-161 [in Polish].

Sachdev, H. S., Akella, A. K., & Kumar, N. (2015). Analysis and evaluation of small hydropower plants: A bibliographical survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51,* 1013–1122. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.065

Small Hydropower Roadmap. Condensed research data for UE-27. online: http://streammap.esha.be/fileadmin/documents/Press_Corner_Publications/SHPRoadmap_FINAL_Public.pdf

Steller J. 2013. Hydropower and its development. Acta Energetica, 3/16 (2013): 7-20. online: http://actaenergetica.org/pl/wp-content/uploads/2014/01/Steller-Hydropower-and-its-development.pdf

Zasoby i możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii [Resources and opportunities for the use of renewable energy sources]. Województwo kujawsko-pomorskie. opracowanie wykonane przez Kujawsko-Pomorskie Biuro Planowania Przestrzennego i Regionalnego we Włocławku, 2009 r. online: http://bip.kujawsko-pomorskie.pl/files/planowanie/oze/oze.pdf [in Polish].

YAPILARIN DEPREM TASARIMINDA ARAŞTIRMA İHTİYAÇLARI: YÜZEY DALGALARININ YÜKSEK BİNALARDAKİ ETKİLERİ

Prof. Dr. Erdal Şafak

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Universitesi, İstanbul
Email: erdal.safak@boun.edu.tr

ÖZET:

Yapıların sismik tasarımı için kullanılan yöntemler gün geçtikçe daha ileri ve sofistike hale gelmektedir. Bunun nedenleri olarak yapıların daha komplike olmaları, şartnamelerdeki lineer olmayan analiz şartları, yapılardaki izleme sistemlerinden alınan datalar, daha gerçekçi modelleme ve analiz yöntemleri, ve daha yüksek kapasiteli bilgisayarları sayabiliriz. Dolaysıyla, analiz sonuçları verilen yer hareketinin özelliklerine daha hassas olmakta ve yer hareketinin daha detaylı verilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Tepki spektrumları artık yeterli olmamaktadır.

Bu makalede, günümüzdeki deprem şartnamelerinde göz önüne alınmayan, uzun periyotlu yüzey dalgalarının yüksek binalardaki etkileri incelenmiştir. Bu etkilerin bina davranışını nasıl değiştirdiği ve binanın yapısal güvenliği açısından neden önemli olduğu izleme sistemi olan binalardan alınan titreşim kayıtları ve analitik yöntemlerle gösterilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Deprem tasarımı, araştırma konuları, yüzey dalgaları, zemin dönme hareketleri.

GİRİŞ

Bina mimarisi ve inşaatlarında son yıllardaki uygulamalar, bu yapıların sismik tasarımı için daha ileri ve kompleks yöntemlerin kullanılmasını gerektirmektedir. Ayrıca, yeni deprem yönetmeliklerinde şart koşulan lineer-ötesi analizler, yapılardaki izleme sistemlerinden alınan datalar, ve yüksek kapasiteli bilgisayarlar daha gerçekçi analitik modellemeleri mümkün kılmakta ve binanın deprem davranışı daha doğru olarak tahmin edilebilmektedir. Fakat, bu tip analizlerin sonuçları kullanılan yer hareketinin özelliklerine daha hassas olmakta ve yer hareketinin daha detaylı verilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Standart tepki spektrumu tabanlı analizler artık yeterli olmamaktadır (Şafak, 2017).

Bu makalede, güncel şartnamelerde göz önüne alınmayan, fakat maksimum ivme ve tepti spektrumunun ötesinde yapı davranışını etkileyen ilave yer hareketi parametrelerine örnek olarak uzun periyotlu yüzey dalgaları (Rayleigh dalgaları) ve bu dalgalarının oluşturduğu dönme hareketleri incelenmiştir.

YÜZEY DALGALARININ YAPILARDAKİ DEPREM TALEBİNE ETKİLERİ

Depremlerden oluşan yüzey dalgaları, yatay yönde ilerleyen, ve zemin yüzeyini yatay ve düşey yönde hareket ettiren dalgalardır. Oluşan zemin yüzeyi hareketi düşey ve yatay düzlemde ilerleyen bir yılanın hareketine benzetilebilir. İki temel yüzey dalga tipi vardır: düşey düzlemde hareket eden Rayleigh dalgaları ve yatay düzlemde hareket eden Love dalgaları. Bu dalgalar, özellikle derin basenlerin yüzeye yakın sınır bölgelerinde oluşur ve basen yüzeyinde değişik yönlerde ilerler. Dalgaların en büyük genlikleri zemin yüzeyinde olup, derinlere inildikçe azalırlar. Rayleigh dalgaları zemin yüzeyine dik düzlemde ve eliptik yörüngede hareketler oluşturur. Love dalgaları ise zemin yüzeyine içinde hareketler verir .

Yüzey dalgaları *S* ve *P* dalgalarına göre daha yavaş hızla ilerleyen dalgalar olduğu için deprem kayıtlarında en son görülen dalgalardır. Uzun periyotlu dalgalar oldukları için de genelde ivme kayıtlarında değil de deplasmanlarda daha belirgindirler. Bu nedenle, geçmişte kullanılan ve ivmeye bağlı tetikleme modunda çalışan izleme sistemlerinden alınan kayıtların çoğunda daha yüzey dalgaları kayıt noktasına ulaşmadan ivmeler tetikleme sınırının altına indiği ve kayıt durduğu için yüzey dalgalarını görmek mümkün değildir. Tetikleme modundaki kayıtlarıdan oluşan data setlerini kullanarak elde edilen azalım ilişkileri ve tepki spektrumları uzun periyotlarda (örneğin 3 saniyenin ötesinse) güvenilir değildir.

Yüzey dalgalarının bina davranışına etkileri binalarda sürekli kayıt yapan izleme sistemleri kurulduktan sonra alınan datalardan net olarak görülmüştür. Örnek olarak, Şekil 1 de 10 katlı bir binadan orta şiddette (M=4.3) bir deprem sırasında sürekli olarak alınan zemin seviyesi ve çatı katı ivme ve deplasmanları verilmiştir (Şafak, 2018). Şekilde ayrıca eğer izleme sistemi sürekli değil de tetikleme modunda çalışsaydı kaydın nerede kesileceği de gösterilmiştir (düşey kırmızı çizgi, deprem sonrası 10 saniyelik kayıt da dahil). Görüldüğü gibi, binanın en büyük deplasmanları tetikleme modu kaydı sonlandıktan neredeyse 60 saniye sonra oluşmaktadır. Bunun nedeni, binaya geç ulaşan uzun periyotlu, düşük hızlı yüzey dalgalarıdır.

Yüzey dalgalarının kayıtta olup olmaması hesaplanan deprem parametrelerinde büyük farklılıklara neden olabilir. Şekil 2 de, üstte, orta şiddete bir depremin zemin yüzeyi ivme kaydı ve karşı gelen deplasmanlar gösterilmiştir. İvmeler kısa sürede (15 saniyeden sonra) çok küçük

değerlere ulaşmakta, fakat deplasmanlarda yüzey dalgalarının etkisi nedeniyle benzer bir azalma görülmemektedir. Kaydı, yüzey dalgalarının olmadığı (ilk 15 saniye, tetikleme modundaki kayıt) ve yüzey dalgalarının olduğu (15 saniyeden sonraki kısım) şeklinde iki parçaya bölerek hesaplanan ivme ve deplasman tepki spektrumları Şekil 2 de altta verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, ivme tepki spektrumunda S dalgalarının kontrol ettiği A parçası, deplasman tepki spektrumunda ise yüzey dalgalarının kontrol ettiği B parçası en yüksek tepkileri vermektedir.

Benzer bir karşılaştırma elasto-plastik tepki spektrumlarını kullanarak da yapılabilir. Sekil 3 te gösterilen zemin kaydı için hesaplanan elasto-plastik yük deplasman eğrilerine göre, ilk 20 saniyelik kısım için gereken düktiliti 2.55 iken yüzey dalgalarını da kapsayan tüm kayıt için bu değer 6.63 değerine yükselmektedir.

Bu örnekler depremdeki yüzey dalgalarının yapıdan istenilen deprem talebini nasıl değiştirdiğini açıkça göstermektedir.

YÜZEY DALGALARININ YÜKSEK YAPILARDAKİ ETKİLERİ

Yüzey dalgaları uzun periyotlu dalgalar olup çok uzun mesafelere genliklerinde fazla bir azalma olmadan gidebilirler. Bu nedenle, büyük bir depremin yarattığı yüzey dalgaları çok uzaktaki (örneğin, 300-500 km) uzun periyotlu yapılarda da etkili olabilir.

Örnek olarak, Şekil 4 ve 5 te, sürekli izleme sistemi bulunan iki yüksek yapıda uzak bir depremden alınan kayıtlar verilmiştir (Çaktı and Şafak, 2019; Şafak et. al., 2014). Şekil 4, 62 katlı bir binanın 300 km uzaklıkta ve M=6.5 manyitündeki bir depremde 7 değişik katında ölçülen ivmeleri ve karşı gelen deplasmanları göstermektedir. Şekil 5 ise, 74 katlı bir binanın 900 km uzaklıkta ve M=7.8 manyitündeki bir depremde tepe noktasında ölçülen ivmeleri ve karşı gelen deplasmanları göstermektedir. Şekillerden de açıkça görüldüğü gibi, iki binada da yüzey dalgalarının oluşturduğu çok uzun süreli ve yüksek genlikli rezonans titreşimler oluşmuştur.

Depremlerin uzakta olması nedeniyle, oluşan rezonans titreşimler genelde yapı güvenliği açısından (örneğin tasarımda kullanılan maksimum taban kesme kuvveti, tepe deplasmanı, veya katlar arası öteleme sınırlarının aşılması gibi) bir tehlike oluşturmayabilir. Fakat, iki binada da titreşimlerin çok uzun sürmesi (10-15 dakika) büyük bir paniğe sebep olmuş, ve oturanların merdivenlere hücumu nedeniyle çok sayıda yaralanmalar olmuştur. Yapısal açıdan, eğer bina kaynaklı çelik konstrüksiyon bir yapı ise, bu tip uzun süreli titreşimler kaynaklarda ve eleman birleşimlerinde düşük çevrimli yorulma hasarlarına da sebep olabilir.

Bina titreşimlerinin çok uzun süreli olmasının bir başka nedeni de yüksek yapılardaki sönüm oranlarının çok düşük olmasıdır. Yapılan ölçümler, bina yüksekliği arttıkça sönüm oranlarının düştüğünü göstermektedir. Şekil 6 da, Şekil 4 teki 62 katlı binanın ilk üç moduna karşı gelen sönüm oranları verilmiştir. Görüldüğü gibi sönüm oranları %1 in çok altındadır.

YÜZEY DALGALARININ OLUŞTURDUĞU ZEMİN YÜZEYİ DÖNMELERİ

Yüzey dalgalarının yatay yöndeki hareketleri yüzeyde dönmelere sebep olur (Şafak and Çaktı, 2019). Örneğin, düşey düzlem içinde seyahat eden Rayleigh dalgaları zemin yüzeyinde yatay eksenler etrafında dönmeler oluşturur. Yapının temeli de zeminle kontakta olduğu için, zemin dönmeleri yapıda da dönmeler yaratacaktır. Bu durum Şekil 7 de şematik olarak gösterilmiştir. Özellikle radye temelli yüksek yapılarda bu dönmeler bina tabanında P-Delta etkisi denilen ve bina ağırlığından oluşan ilave momentler ve yatay kuvvetler oluşturabilir (bk. Şekil 8).

Rayleigh dalgalarından oluşan dönmelerin ölçülebilmesi için özel izleme ağları kurulması gerekir. Şekil 9 da Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından İstanbul, Yeşilyurt'ta kurulan böyle bir ağ gösterilmiştir. Kısa aralıklı 22 istasyondan oluşan bu ağdan alınan kayıtlarla hem yüzey dalgalarının ilerleme hızını, hem de zemindeki dönmeleri bulmak mümkün olacaktır.

SONUÇLAR

Depremlerden oluşan yüzey dalgaları uzun periyotlu olmaları nedeniyle esnek yapılarda (gökdelenler gibi) çok uzun süreli rezonans titreşimlere sebep olabilirler. Yüzey dalgaları uzak mesafelere genliklerinde fazla bir azalım olmadan gidebildikleri için, çok uzaktaki büyük depremler de bu tip titreşimler yaratabilir. Rezonans etkilerinin yanı sıra, yüksek binalardaki titreşimlerin çok uzun süreli olmasının bir başka nedeni de bu tip binalardaki sönüm oranlarının çok düşük olmasıdır.

Yüzey dalgalarından Rayleigh dalgaları zemin yüzeyine, ve dolayısıyla bina temeline, dönme hareketleri de verir. Temel dönmesi bina ağırlığından oluşan ve P-Delta etkisi denilen ilave momentlere ve taban kesme kuvvetlerine sebep olur.

KAYNAKLAR

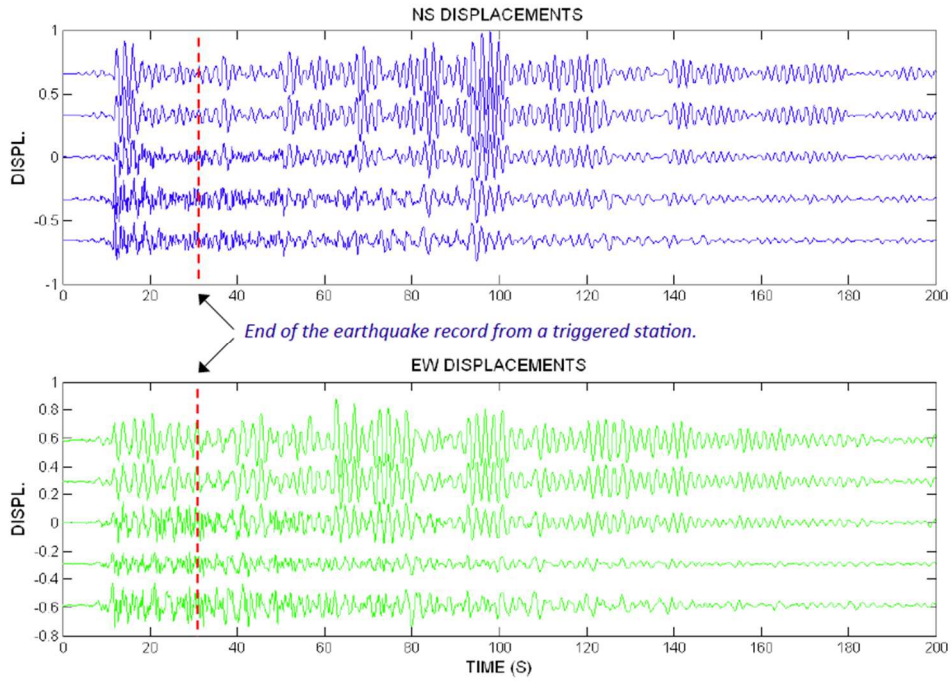
Cakti, E. and E. Safak, E. (2019). Structural Health Monitoring: Lessons Learned, in *Seismic Isolation,Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering*, Springer AG, 2019, pp.145-164.

Safak, E. (2017). Changing needs of engineers for seismic design, *Invited Speaker*, PSHA Workshop, 5-7 September 2017, Lenzburg, Switzerland.

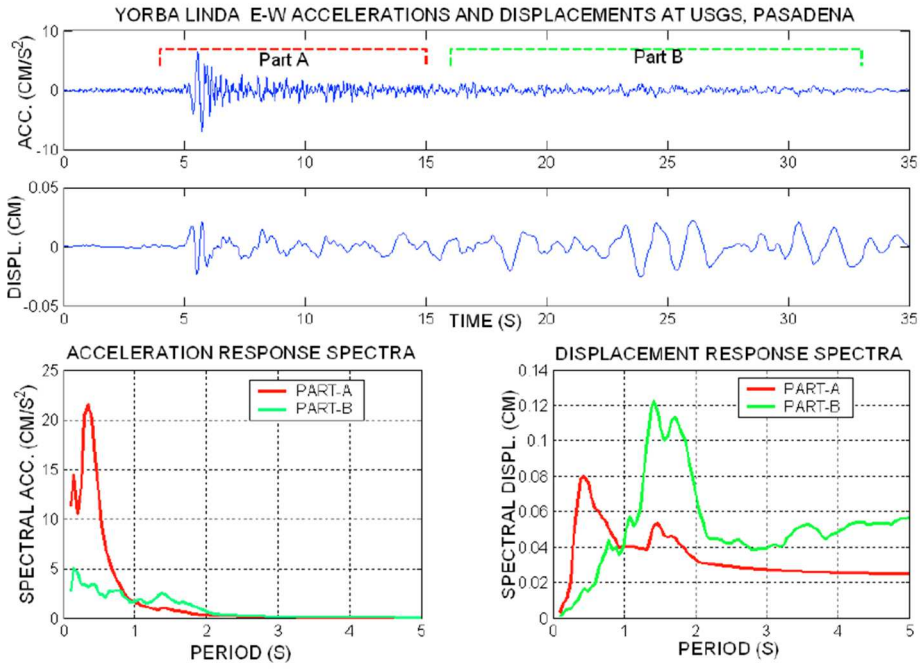
Safak, E. (2018). Shortcomings of Current Seismic Design Codes and Implications for the Gulf Region, *Keynote Lecture*, 10th Gulf Seismic Forum, 19-22 March 2018, Muscat, Oman.

Safak, E and E. Cakti (2019). Importance of Rotational Ground Motions on Seismic Response of Tall Buildings, *Abstracts*, Annual Meeting of the Seismological Society of America, 23-26 April, 2019, Seattle, WA, USA.

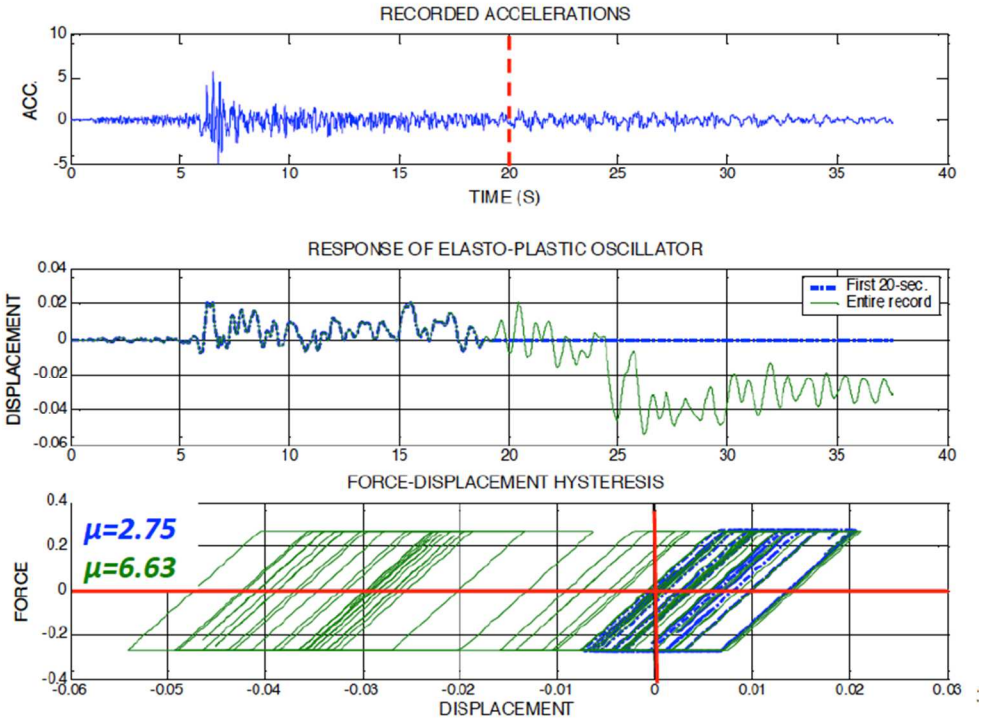
Safak, E., Y. Kaya, D. Skolnik, M. Ciudad-Real, H. Al Mulla, and A. Mehgahead (2014). Recorded response of a tall building in Abu Dhabi from a distant large earthquake, *Proceedings*, 10th U.S National Conference on Earthquake Engineering, 21-25 July 2014, Anchorage, AL, USA.



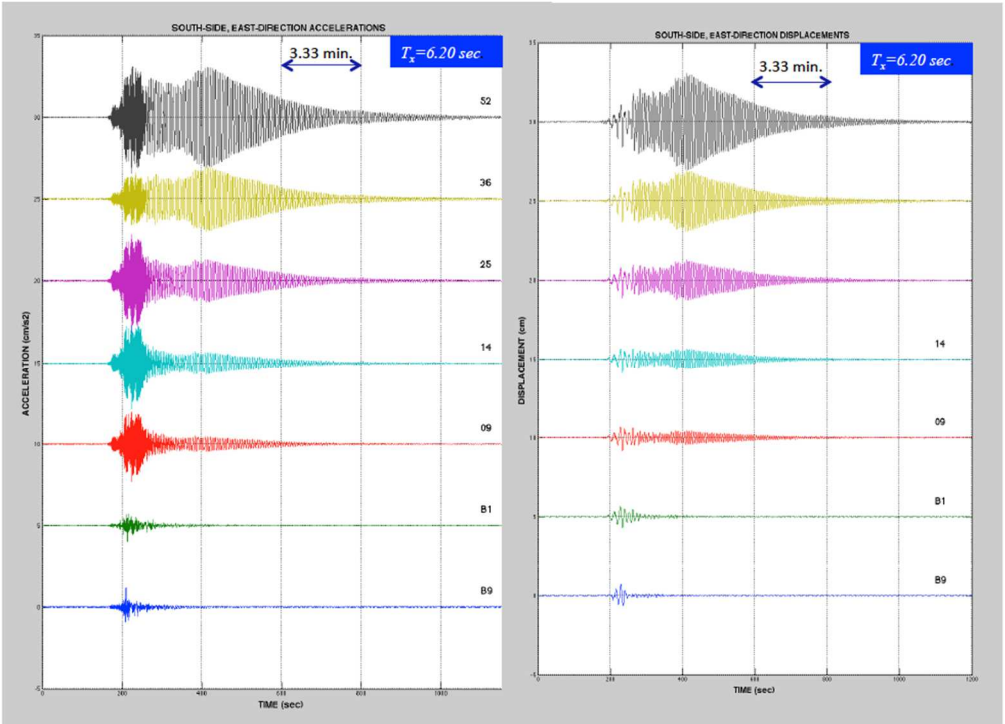
Şekil 1. Çok katlı bir yapının depremden oluşan tepe deplasmanları (düşey kırmızı çizgi tetikleme modunda çalışan izleme sisteminde kaydın duracağı yeri gösterir).



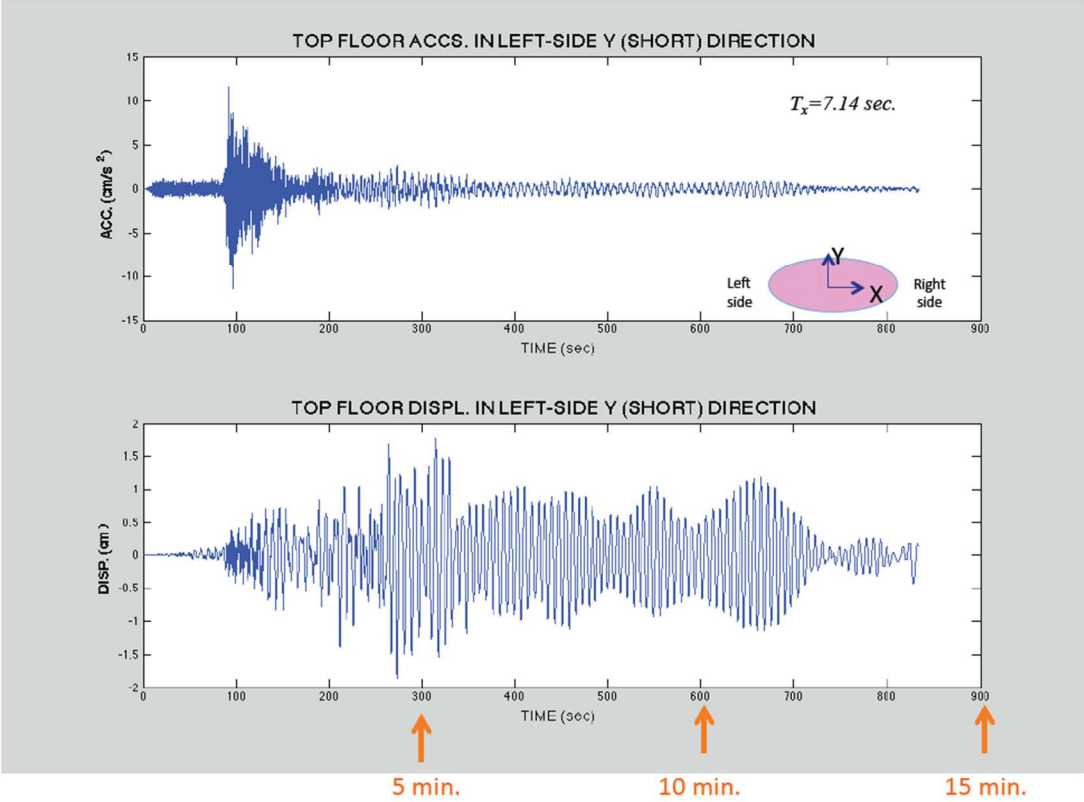
Şekil 2. Yüzey dalgalarının deplasmanlara ve deplasman tepki spektrumuna etkisi.



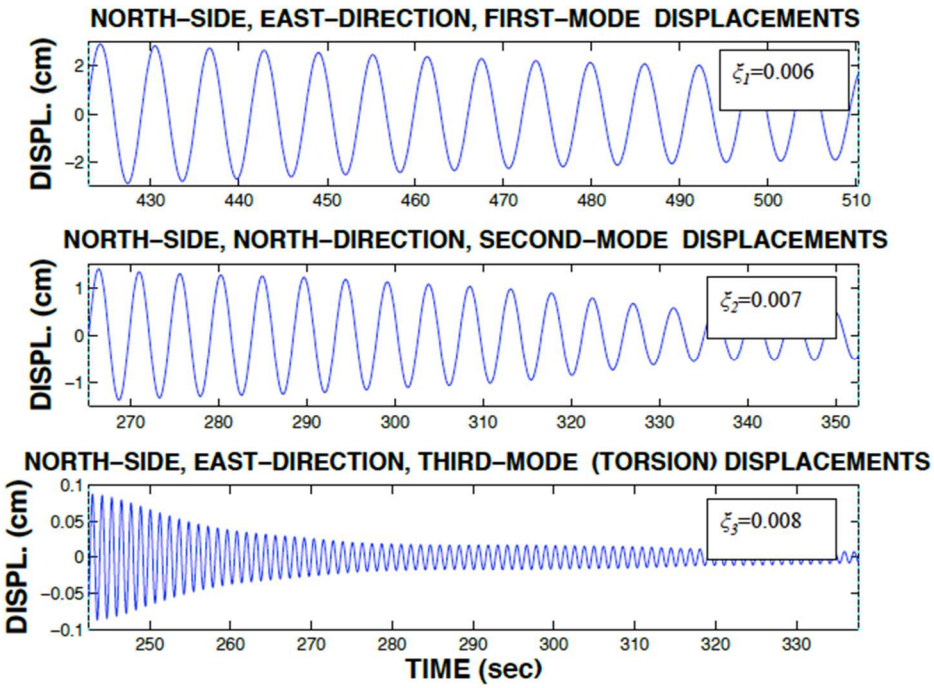
Şekil 3. Elasto-plastik sistemlerde yüzey dalgalarının gereken düktilite değerine etkisi.



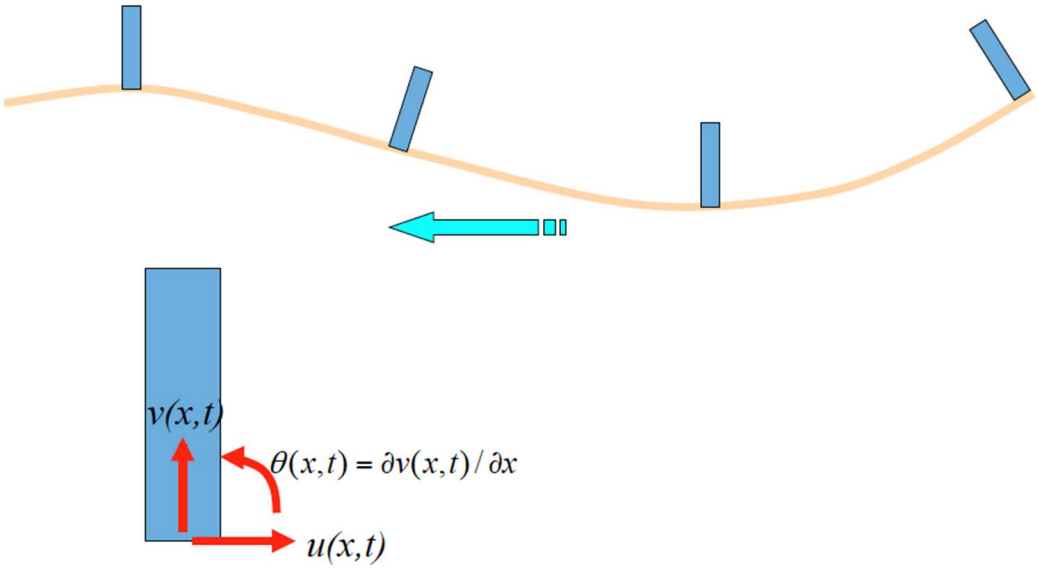
Şekil 4. 62-katlı bir yüksek yapıda yüzey dalgalarının oluşturduğu rezonans ivme ve deplasmanlar.



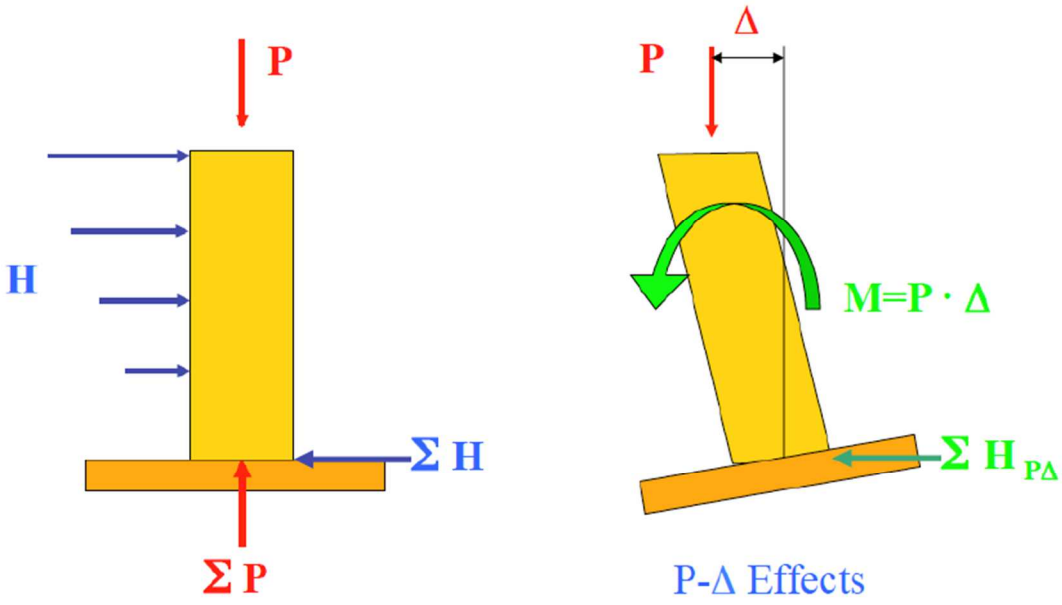
Şekil 5. 74-katlı bir yüksek yapıda yüzey dalgalarının oluşturduğu rezonans tepe ivmeleri ve deplasmanları.



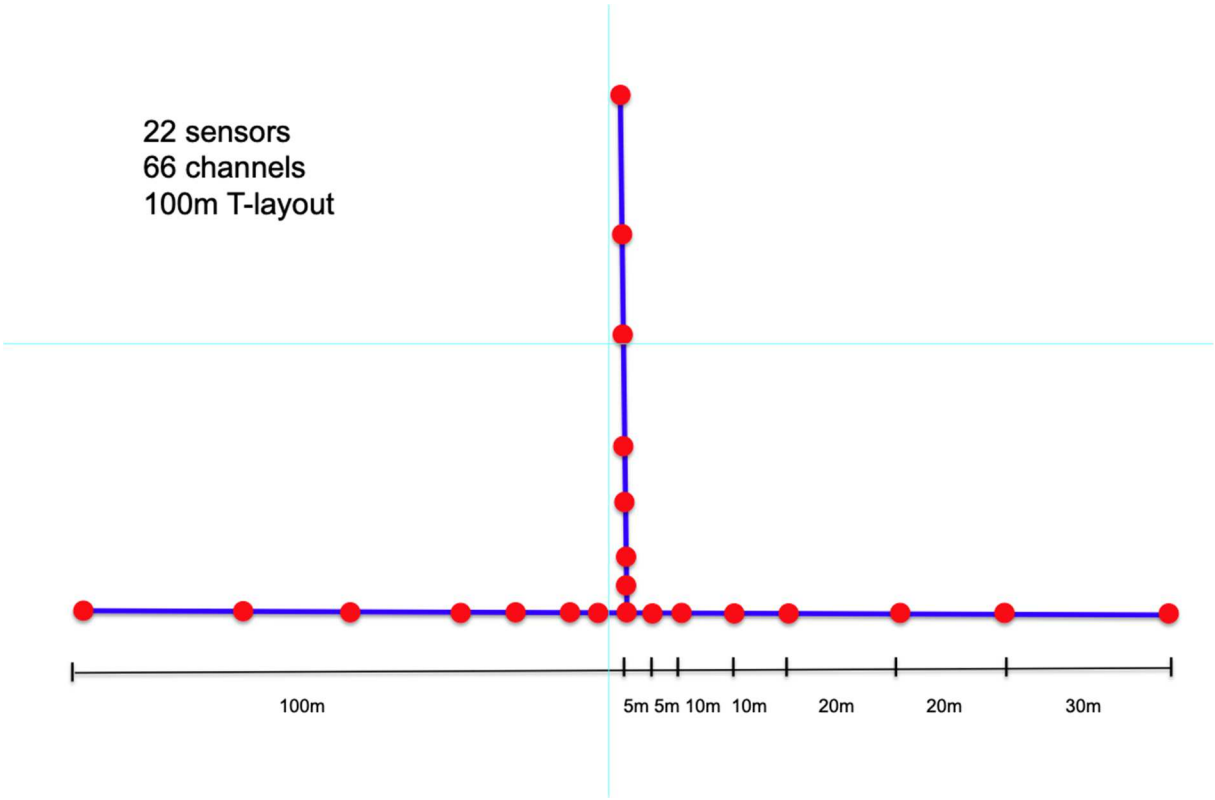
Şekil 6. 62-katlı yapının ilk üç modunda deplasman azalımlarından hesaplanmış sönüm oranları.



Şekil 7. Rayleigh dalgalarının oluşturduğu zemin dönmeleri ve bina temeline gelen dönme momentleri.



Şekil 8. Zemin dönmelerinden oluşan P-Delta momentleri ve temele gelen ilave yatay kuvvetler.



Şekil 9. Yüzey dalgalarını incelemek amacıyla Kandilli'nin Yeşilyurt, İstanbul'da kurduğu 22 istasyon ve kısa açıklıklı deprem ağı.

İskenderun Körfez Kirliliğinin Araştırılması

Ayşe Bahar YILMAZ

Deniz Bilimleri Bölümü, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
Email: abahar.yilmaz@iste.edu.tr

Özet

İskenderun Körfezi çevresinde artan nüfus yoğunluğu, sanayileşme ve tarımsal faaliyetler ile atıklar artmakta ve çeşitlenmektedir. Bertaraf edilemeyen atıklar çevreye yayılmakta, doğaya ve doğal döngülere zarar vermekte olup, gözle görülemeyen atıklar içerisinde "ağır metaller" ve gözle görülenler arasında "plastikler" en önemli grupları oluşturmaktadır. Endüstriyel faaliyetler ile Körfeze giren ağır metaller besin zinciri ile su ürünlerinde birikim yapabilir. Değerli bir besin kaynağı olan su ürünlerindeki bu birikim hem sucul canlılar için hem de onu tüketen üst canlılar için tehlikeli olabilir.

Denizel çevreye ulaşan plastik atıklar da uzun süre bozulmadan kalabilir, su hareketleri ve akıntı sistemleri ile çok uzak mesafelere taşınabilirler. Dolayısıyla plastik atıkların herhangi bir şekilde denizel ortama ulaşması yerel değil küresel bir sorun haline gelir. Sucul canlıların plastik çöplere dolanması ya da yutması, besin zinciri yoluyla mikro plastiklerin insanlara kadar ulaşması, deniz çöplerinin sedimenti kaplayarak canlıların yaşam alanlarını yok etmesi çok ciddi çevre problemleri olarak ortadadır, giderek de hızla artmaktadır.

Ülkemiz ve Akdeniz için önemli bir bölgeyi oluşturan İskenderun Körfez'inin gelecekte atıklar yönünden ciddi bir tehlikeyle yüz yüze olacağı, bu atıkların bölgenin tüm ekosistemini etkileyeceği, *"körfezin mavi ve yeşilini yok edeceği"* açıktır. Bu iki ana başlıkta yorumlanan kirleticilerin sürekli takip edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Anahtar kelimeler: İskenderun Körfezi, Ağır metaller, Plastik materyal, Atık, Çevresel farkındalık

1. GİRİŞ

İskenderun Körfezi Kuzey Doğu Akdeniz'in başlıca körfezlerinden olup, Körfez civarında sanayileşme de yoğundur. İskenderun Körfezi'nin önemini vurgulayan 'Dünyaya sahip olmak, yönetmek, yönlendirmek isteyen Ortadoğu'ya sahip olmalıdır, Ortadoğu'ya sahip olmak için de İskenderun Körfezi'ne sahip olmalıdır' sözü yıllardır yetkililer tarafından söylenmektedir.

Aynı zamanda yoğun deniz trafiğine sahip Körfezde yaklaşık 15 tane irili ufaklı liman ve iskele bulunduğunu, İskenderun Deniz Ticaret Odası yetkilileri tarafından 2018 verilerine göre İskenderun Körfezi'ndeki liman ve iskelelerden 69 milyon ton yükleme, 41 milyon ton boşaltma yapıldığını, 4 milyon 700 ton da transit yük transferi gerçekleştirildiği bildirilmiştir.

Körfez çevresindeki Payas ilçesinde "Ülkemizin en büyük demir çelik fabrikası İsdemir, Türkiye'nin aynı anda uzun ve yassı ürün üreten tek bütünleşmiş tesisi bulunmaktadır. Çok sayıda haddehane, sanayi üretim fabrikaları, saç ve yedek parça üreten fabrikaları ve organize sanayi bölgeleri de vardır.

İskenderun Körfezi barındırdığı zengin balık türleri ve liman işletmeciliği ile Türkiye ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Körfezde balıkçılık faaliyetleri yoğun olup, çok sayıda balıkçı tekneleri ve amatör balıkçılar tarafından avcılık yapılmaktadır. Körfez balık ve karides türleri yönünden önemli bir merkezdir.

1.1.Körfezle ilgili Raporlar

Körfez çevresi Arsuz, İskenderun, Payas, Erzin, Dörtyol ilçelerinin kıyısı olup, Adana ili Ceyhan, Yumurtalık, Karataş ilçeleri ile Mersin ili Kazanlı ilçesine kadar olan uzanmaktadır. Dolayısıyla da çok sayıda yerleşim bölgelerine, tarımsal ve turizm faaliyetlerine açıktır. Körfez kapsamındaki yerleşkelerin nüfusunun 2014 verilerine göre 637.051 kişi olduğu bildirilmektedir (İskenderun Körfezi Bütünleşik Kıyı Alanları Planı Açıklama Raporu). Arsuz başta olmak üzere, Yumurtalık, Karataş, Samandağ ve Dörtyol-Erzin bölgelerinde yaz nüfusunda, yerleşik nüfusa oranla belirgin artışlar söz konusudur. Mevcut durumda kıyı bölgesinde yazlıklar, dinlenme tesisleri ve turizm faaliyetlerinden ötürü yaz döneminde nüfus kapasitesi yükselme göstermektedir.

Bölgenin, özellikle Asi, Ceyhan, Seyhan ve Berdan Nehirlerinin taşıdığı katı ve çözünmüş kimyasal yükler ile Amik Ovası ve Çukurova Bölgesi'ndeki tarımsal faaliyetlerin neden olduğu organik/inorganik atıklardan birinci derecede etkilenmektedir. Ayrıca aşırı nüfus yoğunluğu ve yeterince arıtılmayan endüstri ve evsel atık suların kirlilik yaratmakta olduğu belirtilmektedir. Uzun süreli pestisit kullanımının ekosistemin zarar görmesine, insan sağlığını olumsuz etkilenmesine, tarımsal sürdürülebilirliğin azalmasına ve flora ve faunanın olumsuz olarak etkilenmesine neden olduğu bilinmektedir (TÜBİTAK-MAM 2005, 45).

İskenderun Körfezi, coğrafi özellikleri, doğal kaynak potansiyeli ve ekosistem zenginliğinin yanı sıra, kentleşme, sanayileşme, ikinci konut gelişmeleri nedeniyle kıyı bölgesi üzerindeki baskıların artarak sürdüğü bir bölgedir. Sektörel gelişme eğilimleri arasındaki uyumsuzluklar, kıyı bölgesi ve deniz ortamını olumsuz olarak etkilemektedir. Bölgenin önemli bir enerji terminali olma

potansiyeli, körfez bölgesinin öneminin giderek artmasına neden olmaktadır (İskenderun Körfezi Bütünleşik Kıyı Alanları Planı Açıklama Raporu).

TÜBİTAK-MAM tarafından yapılan, kara kökenli kirleticilere ilişkin Ulusal Eylem Planında, bölge ve havza düzeyindeki riskler; evsel kaynaklı kirletici yükü, endüstriyel kaynaklı kirletici yükü, tarımdan kaynaklanan kirlilik ve petrol kirliliği konusunda yapılan çalışmalarda Doğu Akdeniz Bölgesi'nde demir çelik, kağıt, demir dışı metal ve süt ürünleri üretimi faaliyetleri ile ilişkili olarak "su kirliliği"; demir dışı metal, demir çelik, gübre ve petrol rafinerileri ile ilişkili olarak "toksik kirlilik" ve demir dışı metal, demir çelik ve işlenmiş metal ürünleri üretimi faaliyetleri ile ilişkili olarak da "toksik metal kirliliği" tespiti yapılmıştır (TÜBİTAK-MAM 2005, 43-44).

1.2.Gözle Görülemeyen Kirlilikler

Bu raporların yanı sıra çok sayıda akademisyen de İskenderun Körfezi ile ilgili çalışmalar yapmıştır ve hala yapmaktadır. Akademik çalışmaların çoğu sucul canlılarda ağır metal birikimi üzerine olup, besin yönünden çok değerli olan sucul canlılarda insan sağlığı yönünden risk olup olmadığı yönündedir. Ağır metal kirliliği gözle görülemeyen ancak çok özel analizlerle belirlenebilen bir kirliliktir. Dolayısıyla bu çalışmalar ciddi maliyeti olan ve bilim adamları tarafından yürütülen çalışmalardır.

1.2.1. Ağır Metaller

Periyodik tablodaki elementlerden yaklaşık 80 i metal olup, yoğunluk > 5 gr/cm^3 büyük olan metaller grubu ağır metal olarak adlandırılır. "Endüstriyel Metaller" olarak nitelendirilen yaklaşık 50 metal ve alaşımı çeşitli amaçlarla endüstride, ayrıca metaller ve tuzları tıpta ve veteriner hekimlikte ilaç, pestisit (fungusit, insektisit, herbisit, rodendisit gibi) olarak da kullanılmaktadır. 30 civarında metalin insanlarda toksisite oluşturduğu bilinmektedir.

60 dan fazla metal (d elektronlarına sahip) karmaşık biyokimyasal reaksiyonlarda önemli rol oynarlar. "Esansiyel ya da İz Metaller" olarak adlandırılan; Demir (Fe, 7.87 gr/cm^3), Çinko (Zn, 7.136 gr/cm^3), Bakır (Cu, 8.96 gr/cm^3), Krom (Cr, 7.19 gr/cm^3), Mangan (Mn, 7.43 gr/cm^3) gibi metaller başta olmak üzere çoğu ağır metalin çok düşük miktarlarda canlı bünyesinde bulunması gerekmektedir. Bu metallerin eksiklikleri çeşitli olumsuzluklara yol açabilir. Ancak bir diğer grup metaller "Esansiyel Olmayan Metaller" olarak adlandırılır; Civa (Hg, 13.55 gr/cm^3), Kurşun (Pb, 11.34 gr/cm^3), Kadmiyum (Cd, 8.65 gr/cm^3) benzeri metallerin canlı bünyesinde hiç bulunmaması istenir. Çünkü bu metaller toksik metaller olup, çok düşük miktarlarda bile önemli biyolojik zararlara yol açabilirler (WHO, Yılmaz AB,2010).

1.2.2. Ağır Metallerin Biyolojik Etkileri

İnsanlar bünyelerine esansiyel olan ve olmayan metalleri başta besinler olmak üzere diğer bazı yollarla (su, hava gibi) almaktadırlar. Böylece "vücut metal yükü " oluşmakta; bazılarının ise (alüminyum, kurşun ve kadmiyum gibi) yaş ile birikerek vücuttaki konsantrasyonları artmaktadır. Bu nedenle metallerin bütün canlı hücrelerin metabolizmalarının dengede tutulmasında çok önemli bir yer oluşturduğu bilinir.

Esansiyel metallerin yüksek konsantrasyonları ve esansiyel olmayan bütün metaller hücre zarı hasarına yol açıp, enzim spesifikliğini değiştirebilmekte, hücresel fonksiyonları bozabilmekte ve DNA'nın yapısına zarar verebilmektedirler. Metallerin toksik etkileri her metalin özelliğine göre değişmektedir. Ancak genel olarak metallerin hepsi birden fazla organ ve sistemi etkilemektedir (Neff JM.,2002).
Bu nedenle metal zehirlenmelerinde "hedef veya kritik organ", o metale en duyarlı olan etki yeri için kullanılmaktadır. Örneğin kadmiyuma en duyarlı organ böbrekler olmakla beraber karaciğer ve akciğerlerde de toksik etki görülür. Bazı metaller metabolik olarak benzedikleri elementlerin yerine geçerek toksik etki gösterirler. Örneğin kurşun ~ kalsiyuma benzer metabolizması ile kemik mineralizasyonunu, demir ve çinkonun yerini alarak ta hem metabolizmasını etkiler.

1.2.3. Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikimleri

Besin içeriği zengin ve popüler insan gıdası olan "Su Ürünleri" ağır metal düzeyleri yönünden dünyada ve ülkemizde çok sayıda araştırmacı tarafından incelenmektedir. Bu nedenle ekonomik öneme sahip balıklardaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi önemlidir. Ayrıca balıkların kendi yaşamlarını sağlıklı sürdürmeleri ve türlerin devamlılığı için de ağır metal kirliliği önemli ve istenmeyen bir etkendir.

Sucul canlılarda ağır metallerin birikimi çok sayıda parametreye göre değişim gösterebilir (Yılmaz ve ark., 2010). Canlının türüne, yaşına, biyolojik aktivitesine, cinsiyetine, besin zincirindeki yerine göre birikim değişebildiği gibi yaşam ortamının fiziko-kimyasal parametrelerine göre de (tuzluluk, sıcaklık, pH) değişebilir. Ayrıca metalin sudaki derişimine, canlının temas süresine, beslenme alışkanlıklarına göre de değişim gösterebilir. Tüm bu parametreler değişken olduğundan çalışmaların sürekli yapılması ve sürdürülebilir olması gerekmektedir.

Körfez 2004 yılında ciddi bir tehlike yaşamıştır. M/V ULLA gemisi 6 Eylül 2004 tarihinde Körfez liman içinde batmış ve tüm çevrede panik yaratmıştır. 2200 ton yüksek fırın külü taşıyan gemi yıllarca bürokratik işlemlerden dolayı limanda demirli kalmış, bu süreçte yükü önemsenmezken battığı anda olay haline gelmiştir. Yük sadece % 0.04 seviyesinde sınır değer üzerinde "Krom VI" içermesine rağmen, basın tarafından tüm yükü toksik maddeymiş gibi yanlış değerlendirilmiş, halkta ciddi panik yaşanmıştır. O sene balık satışları etkilenmiş, balıkçılar büyük zarar görmüş, turizm sekteye uğramış, insanlar denize girmekten çekinmişlerdir. Halbuki batan geminin yükünden ve çevresindeki deniz suyundan aldığımız örneklerle, bilimsel olarak yaptığımız analizlerde sınır değerler üzerinde "Krom VI" ya rastlanmamıştır. İskenderun Körfezi akıntılar yönüyle çok dinamik olup, hem güneyden kuzeye yönelen ve körfez kıyıları boyunca devam eden akıntılara hem de körfez içi küçük siklonlar yapan akıntılara sahiptir (Yılmaz, 2003). Bu nedenle kirlilikler dağılım göstererek seyrelebilmektedir, bu da Körfez için avantaja dönüşmektedir.

Körfezde 2018 yılına kadar olan süreçte "deniz suyu, plankton, balıklar, kabuklular v.b" yapılan çalışmalar Yılmaz ve ark. tarafından derlenerek iki bölümde yayınlanmıştır. Derlemenin birinci bölümü "Esansiyel Metaller" ya da "İz elementler" diye tanımlanan "Bakır, Çinko, Demir, Krom ve Mangan" gibi metaller ile ilgili yapılan tüm çalışmalar tablolarla verilmiştir (Yılmaz et al., 2017) İkinci bölümde ise İskenderun Körfezi'nden avlanan sucul canlılarda "Esansiyel Olmayan Metaller" ile ilgili çalışmaların tümü bildirilmiştir (Yılmaz et al., 2018).

Bütün bu çalışmalarda Körfezin değişik bölgelerinden çok sayıda balık türü, kabuklular v.b. canlıların, farklı mevsimlerde, farklı dokularında ağır metal birikimleri ölçülmüştür. Yapılan çalışmalarda bazı canlıların biyolojik aktifliğe sahip organlarında (Karaciğer, böbrek, gonad gibi) bazı metallerde sınır değerler üzerinde tespitler varsa da tüketilen kas dokularında tehlikeli sayılabilecek değerlere ulaşmadığı bildirilmektedir.
Körfez çevresi çok farklı parametrelerden kirliliklere açık olmasına rağmen, Körfezin dinamik yapısı, akıntılar, hakim rüzgarlar ile kirleticilerin derişimlerinin artmadığı ve bunun sonucunda sucul canlıların kaslarındaki ağır metal birikimlerinin sınır değerlerin üzerine çıkmadığı ileri sürülmektedir. Ancak bu tür çevresel izleme çalışmalarının sürekli yapılması konusu ciddiyetle vurgulanmaktadır.

1.3. Gözle Görülebilen Kirlilikler

Körfezin dinamik yapısı ağır metal kirliliği konusunda olumlu görülürken, başka bir kirletici yönünden aynı değildir. Bu kirletici gurubu gözle görülebilen ve son yüzyılın sorunu olan "Plastikler" dir. Sanayii tesislerinin atıkları, gemicilik faaliyetlerinin atıkları yasal düzenlemelerle denetlenmeye çalışılsa da, gelişmiş toplumlarda ki kentsel yaşam atıklarının yönetimi ile gelişmekte olan ya da az gelişmiş toplumlardaki kentsel yaşam atıklarının yönetimi oldukça farklıdır. Körfez akıntı sistemleri ile Doğu Akdeniz ülkelerinin her türlü atıklarına açık bir bölgedir (Bingel ve ark., 1987). Genellikle hafif yüzen materyaller (plastik materyal vb.) nehirlerle, gemicilik faaliyetleriyle, evsel atıklar ve turizm faaliyetleri ile denize karışmaktadır. Bu materyallerin deniz ortamında doğal parçalanma süreçlerinin çok uzun olması nedeniyle yüzeyde belirli bir süre yüzdükten sonra deniz tabanına çökmektedirler. Gerek yüzme süresince, gerekse deniz tabanına çöktükten sonra hem su ortamı hem de sucul canlılar için, dolayısıyla insanlar için ciddi tehlike oluşturmaktadırlar.

1.3.1.Plastikler

Gözle görülebilen kirlilikleri "Doğa ile barışık olanlar" ve "Doğa ile barışık olmayanlar" olarak iki grupta incelersek; Doğa ile barışık olmayanların başında plastikler gelir. Plastik atıklar; sadece insanlar için değil, doğadaki diğer ekoloji bileşenleri için de çok ciddi riskler içermektedir. Büyük bir çoğunluğu plastik atıklardan oluşan deniz çöpleri, zaten üzerinde büyük bir insanoğlu baskısı bulunan denizel canlılara önemli zararlar vermekte ve gelecekteki varlıklarını tehdit etmektedir. Plastiklere canlıların dolanması ya da canlılar tarafından yutulması sıklıkla karşılaşılan bir durumdur (Gregory, 2009, Cozar et al., 2014). Plastikler bir süre sonra yapılarının değişmesi ya da fouling organizmaların tutunmasından dolayı ağırlaşarak bir süre sonra dibe çökebilmekte ve sedimenti kaplayarak canlıların yaşam alanlarını yok etmektedir (Barnes ve ark., 2009). Ayrıca belirli bir süre denizel ortamda kalan plastik atıklar, mikro plastiklere dönüşerek canlıların sindirim sistemlerine girmekte, içerdikleri zararlı kimyasallarda canlıların vücutlarında birikmektedir (Teuten ve ark., 2009, PlasticsEurope 2009). Bu durum besin zinciri yoluyla birçok kimyasalın, doğrudan plastik kirliliğine maruz kalmayan canlıları ve dolayısıyla, besin zincirinin en üstünde yer alan insanoğlunun bile etkilemesine sebep olmaktadır (Farrel ve Nelson, 2013; Bakir ve ark., 2014).

Plastiklerin üretimi 1950 li yılların başında 5 Milyon Ton iken 2018 de 371 Milyon Ton yeni plastik üretimi yapıldığı bildirilmektedir. Plastik üretimi her yıl %8 artmıştır. Son 10 yılda 20. Yüzyılın

tamamından fazla plastik üretilmiştir. Bu üretimin yarısını tek kullanımlık plastik poşetler oluşturmaktadır ve ortalama kullanım ömürleri sadece 15 dakikadır. Dünya çapında yılda 1 Trilyondan fazla plastik poşet üretilmektedir, bu dakikada 1 Milyondan fazla plastik poşet demektir. ABD 'de günde 60 Milyondan fazla plastik şişenin atıldığı bildirilmektedir. Okyanuslarımıza saniyede 1/4 ton plastik girdiği, bu değerin yılda 8 milyon tona karşılık geldiği bildirilmektedir. Bu plastiklerin %94 ünün deniz tabanına çökeceği, bu şekilde devam ederse 2050 yılında okyanuslarda balıktan daha fazla plastik olacağı öne sürülmektedir (ABD, Ellen Mc Arthur Vakfı).

1.3.2.İskenderun Körfezi Plastik Kirliliği

Plastik kirliliğine dikkat çekmek ve bu bağlamda konuyu saptamak için "İSKENDERUN KÖRFEZİ" güney doğu kıyılarında 1999- 2000 yılları arasında bir araştırma yapılmıştır. Yılmaz ve ark. (2002) Temmuz 1999-Haziran 2000 tarihleri arasında İskenderun Körfezi'nin güney-doğu kıyılarında trol çekimi yaparak kaynaklarına göre plastik materyal birikimini araştırmıştır. 0-50 m derinlik aralığında plastik materyalin aylık dağılımı tanımlanmış ve toplam kütle alan tarama metodu kullanarak hesaplanmıştır (Yılmaz ve ark. 2002).

Balıkçılık, deniz trafiği ve sanayi tesisleri sebebiyle ülkemiz açısından ekonomik olarak önemli bir yere sahip olan İskenderun Körfezi'nde de son yıllarda plastik kirliliğinde önemli miktarda artış görüldüğü bildirilmiştir (Gündoğdu ve Çevik, 2017; Yılmaz ve ark., 2017).

Gündoğdu ve Çevik (2017), Doğu Akdeniz kıyılarındaki mikro plastik yoğunluğunu belirlemek üzere yaptıkları çalışmada, en çok mikro plastik yoğunluğunun Mersin körfezinde olduğunu, İskenderun körfezindeki plastik yoğunluğunun en düşük seviyede olduğunu tespit etmişlerdir.

2018 yılında durumun giderek daha da vahim hale geldiği gözlenmiş, "Balıkçılar trol çekimlerinde balıktan daha çok plastik materyal çıkardıklarını söylemeye başlamışlar". İskenderun Körfezi'nde gözlemlenen bu plastik kirliliğinin hareketini, kaynaklarını ve menşeini belirlemek üzere İskenderun Teknik Üniversitesi proje ekibi tarafından bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir (Yılmaz ve ark., 2017).
Gerçekleştirilen ön çalışmada; körfezdeki kirliliğin ana kaynaklarının nehirler ve akarsuların taşıdığı atıklar, akıntılarla Akdeniz'e kıyısı olan komşu ülkelerden gelen atıklar, deniz trafiğinde rol oynayan gemilerden atılan atıklar ve doğrudan kıyısal alanlardan denize atılan/karışan atıklar olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca GPS sistemleri ile yapılan akıntı yönleri ve atıkların hareketinin izlenmesi çalışmasında; ana kıyısal akıntıların Suriye sınırından Samandağ yönüne olduğu ve batıya doğru yönelerek saat yönünün tersinde körfezin kıyılarını takip ettiği tespit edilmiştir.
Trol çekimleriyle elde edilen plastik malzeme menşei yönünden sınıflandırıldığında; %43,4 bilinmeyen, %26,6 Türk kökenli, % 30,1 Yabancı kökenli atıklardır. Elle kıyıdan yapılan toplama sonucu atıklar menşei yönünden sınıflandırıldığında ise; % 29,8 bilinmeyen, %25,8 Türk kökenli, % 29,8 Yabancı kökenli atıklardır. Bu atıklar içerik yönünden sınıflandırılacak olursa, Trol çekiminden %13,9 çuval, %8,7 plastik şişe, %27,2 paketleme atıkları, %15,6 plastik poşet, %34,7 diğerleri şeklindedir. Elle toplanan atıklar ise %5,7 çuval, %34,9 plastik şişe, %33,3 paketleme atıkları, %17,4 plastik poşet, %8,6 diğerleri şeklindedir.

İskenderun Teknik Üniversite ve İskenderun Deniz Ticaret Odası destekleriyle "Daha Mavi İskenderun Körfezi" ortak projesi yürütülmektedir. Körfezin plastik kirliliği yönünden incelenmesi

yapılmaktadır. Körfez'in gelecekte atıklar yönünden ciddi bir tehlikeyle yüz yüze olduğu, bu atıkların bölgenin tüm ekosistemini etkileyeceği, "körfezin mavi ve yeşilini yok edeceği" açıktır. Bu sürecin önlenmesi ve oluşan atık birikiminin giderilmesi çok yönlü ve sürekli çalışmalarla mümkündür.

Körfez balıkçılık yönüyle; Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikim Düzeylerinin Takibi, Plastik Materyallerin Giderimi Konusunda; Multidisipliner Çalışmaların Yapılması, Farkındalık Oluşturma, Bilinçlendirme ve Eğitim Faaliyetleri, Sivil Toplum Kuruluşları İle Ortak Etkinlik Programları çok yönlü olarak ve kesintisiz incelenmelidir.

Kaynaklar

https://mpgm.csb.gov.tr/iskenderun-korfezi-adana-mersin-hatay-butunlesik-kiyi-alanlari-plani-i-82314

https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/20142016%20YILI%20Akdeniz_Ozet_Raporu.pdf

Yılmaz AB (2010). Heavy metal pollution in aquatic environments. In: El-Nemr A, editor. Impact, monitoring, and management of environmental pollution (pollution science, technology & abatement series), chapter 9. USA: Nova Science Publishers Incorporated 2010;193–221.

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/40985/WHO_TRS_505.pdf;jsessionid=EEEEF253BC7BCD3C71ED33EAD535DD3E?sequence=1

Yılmaz, A. B., Sangün, M. K., Yağlıoğlu, D., & Turan, C. (2010). Metals (major, essential to non essential) Composition of the Different Tissues of Three Demersal Fish Species from Iskenderun Bay, Turkey. Food chemistry, 123(2), 410-415. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.057.

Yilmaz, A. B. (2003). Levels of Heavy Metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb, and Zn) In Tissue of Mugil cephalus and Trachurus mediterraneus from Iskenderun Bay, Turkey. Environmental research, 92(3), 277-281. https://doi.org/10.1016/S0013-9351(02)00082-8.

Ayşe Bahar Yılmaz*, Alper Yanar and Ela Nur Alkan (2017). Review of heavy metal accumulation on aquatic environment in Northern East Mediterrenean Sea part I: some essential metals. Rev Environ Health 2017; 32(1-2): 119–163

Ayşe Bahar Yılmaz*, Alper Yanar and Ela Nur Alkan (2018). Review of Heavy Metal Accumulation in Aquatic Environment of Northern East Mediterrenean Sea Part II: Some Non-Essential Metals). Pollution, 4(1): 143-181, DOI: 10.22059/poll.2017.236121.287

Neff JM. (2002).Bioaccumulation in marine organisms: effect of contaminants from oil well produced water. Elsevier,

Bingel, F., Avşar, D. ve Ünsal, M (1987) A note on plastik materials in trawl catches in the north-eastern Mediterranean. Meeresforsch, 31:227-233.

Gregory M (2009) Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 364: 2013–2025.

Barnes D, Galgani F, Thompson R, Barlaz M (2009) Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 364: 1985–1998.

A. Bahar Yılmaz, Nuri Başusta, Ali İşmen (2002). İskenderun Körfezi'nin Güney-Doğu Kıyılarında Plastik Materyal Birikimi Üzerine Bir Çalışma. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences 2002 Cilt/Volume 19, Sayı/Issue (3-4): 485 – 488

Farrell P, Nelson K (2013) Trophic level transfer of microplastic: (Mytilus edulis) to (Carcinus maenas). Environ Pollut 177: 1–3.

Bakir A, Rowland S, Thompson R (2014) Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. Environ Pollut 185: 16–23.

https://www.ellenmacarthurfoundation.org/

Gündoğdu, S., Çevik, C (2017). Micro-and mesoplastics in Northeast Levantine coast of Turkey: The preliminary results from surface samples. Marine Pollution Bulletin, 118(1), 341-347.

Yılmaz A.B., Uyğur N., Yanar A., Ayan O.A (2017). More Plastics Than Fish In The İskenderun Bay? 11-13 October 2017, İnternational İskenderun Bay Symposium Proceedings Book, p.38. İskenderun/Hatay, Turkey

Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., ... Fernández-de-Puelles, M. L (2014). Plastic debris in the open ocean. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(28), 10239-10244.

PlasticsEurope (2009) The Compelling Facts about Plastics 2009. An analysis of European plastics production, demand and recovery for 2008. PlasticsEurope, European Plastics Converters, European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations & European Plastics Recyclers.

Teuten E, Saquing J, Knappe D, Barlaz M, Jonsson S, et al. (2009) Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 364: 2027–2045.

Hatay'ın Deprem Riskinin İncelenmesi

Semir ÖVER[1]

[2] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
Emails: semir.over@iste.edu.tr

Özet

Hatay, Doğu Akdeniz tektoniğinin önemli yapılarından Doğu Anadolu, Ölü Deniz ve Kıbrıs-Anatakya Transform faylarının kesiştiği alandır. Bu tektonik elemanlar Hatay'ın sismik aktivitesini kontrol etmektedirler. Bölgenin sismik dağılım haritası depremlerin büyük çoğunluğu bu faylar boyunca meydana geldiğini göstermektedir. Aletsel dönemde Hatay'da kayıt edilen en büyük deprem 22 Ocak 1997 meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki depremdir. Aletsel dönemde büyük deprem meydana gelmemiş olmasına karşın Türkiye Sismik Tehlike Haritası'nda Hatay, riski yüksek bölge olarak tanımlanmıştır. Hatay'ın tarihsel deprem geçmişi bunun nedenlerindendir. Tarihsel deprem kayıtları son 2000 yılda bölge pek çok büyük (M≥7.0) ve yıkıcı depremin Hatay'da can ve mal kayıplarına neden olduğunu belgelemektedir. Bölgede meydana gelen son iki büyük deprem 23 Ağustos 1822 ve 3 Nisan 1872 depremleri Hatay'ın son aktif dönem depremleridir. Hatay'da yaklaşık 147 yıldır büyük ve yıkıcı deprem meydana gelmemiştir. Tarihsel deprem kayırları bölgedeki aktivitenin sürekli olmadığını ve aktif dönemi suskun dönem (sismik boşluk) takip ettiğini göstermektedir. Gerek tarihsel gerekse aletsel dönem aktivitesi, günümüzde bölgenin suskun dönemde olduğunu ve her an aktif döneme girebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Hatay, deprem aktivitesi, tarihsel depremler, sismik boşluk

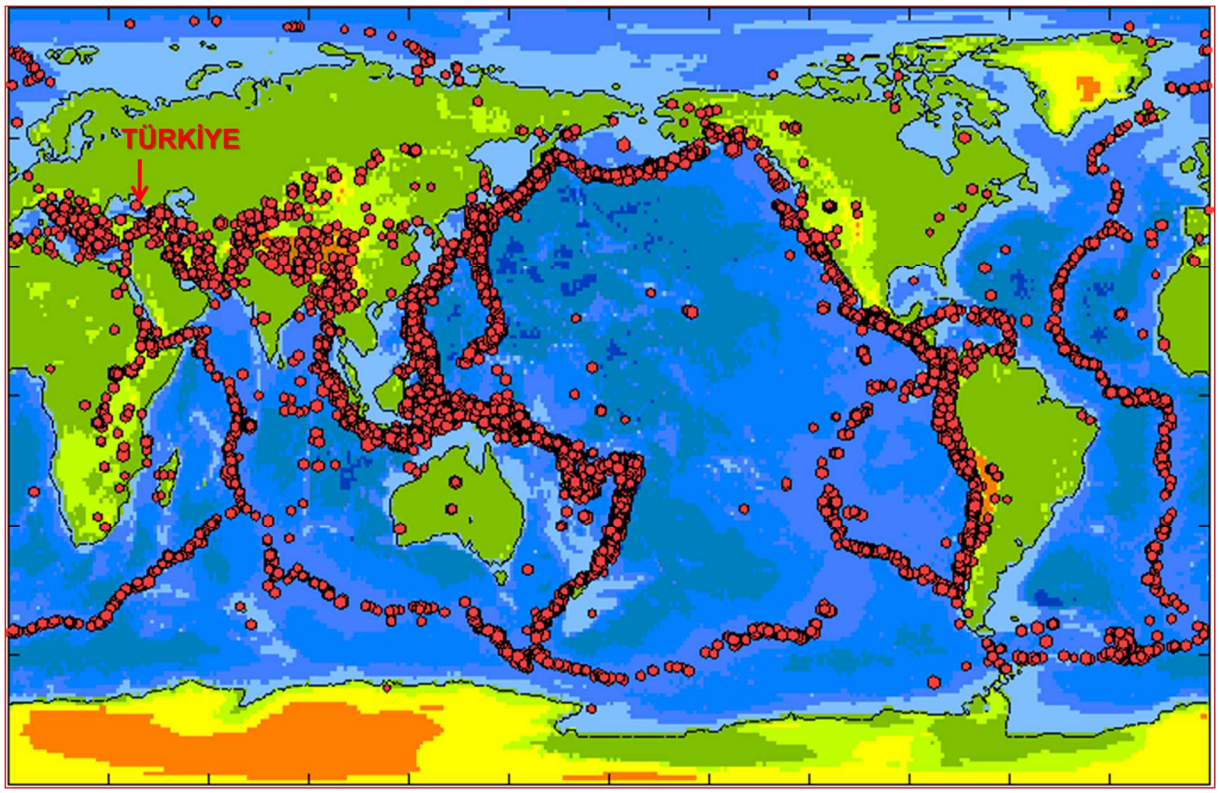
Abstract

The East Anatolian Fault, Dead Sea Fault and Cyprus-Anatolian Transformation Fault that meet in Hatay, are important tectonic structures of Eastern Mediterranean region. These tectonic elements control the seismic activity of Hatay. The seismic distribution map of the region shows that the majority of earthquakes occur along these faults. The biggest earthquake recorded in Hatay during the instrumental period is the earthquake of 5.7 magnitude occurred on 22 January 1997. Despite the large earthquake did not occur in the instrumental period in Hatay Turkey Seismic Hazard Map it has been identified as a high risk area. The historical earthquake history is one of the reasons. The historical earthquake records document the fact that many large (M≥7.0) and destructive earthquakes caused losses in life and property in Hatay in the last 2000 years. Hatay is the last two major earthquakes that occurred on 23 August 1822 and April 3, 1872 earthquakes. These are the earthquakes of the last active period of Hatay. There has not been a major and devastating earthquake in the region for 147 years. Historical earthquake records indicate that the activity in the region is not continuous and the active period is followed by the silent period (seismic gap). Both historical and instrumental period activities show that the region is in a silent period and can enter the active period at any time

Keyword(s): Hatay, seismic activity, historical earthquakes, seismic gap

1. Introduction

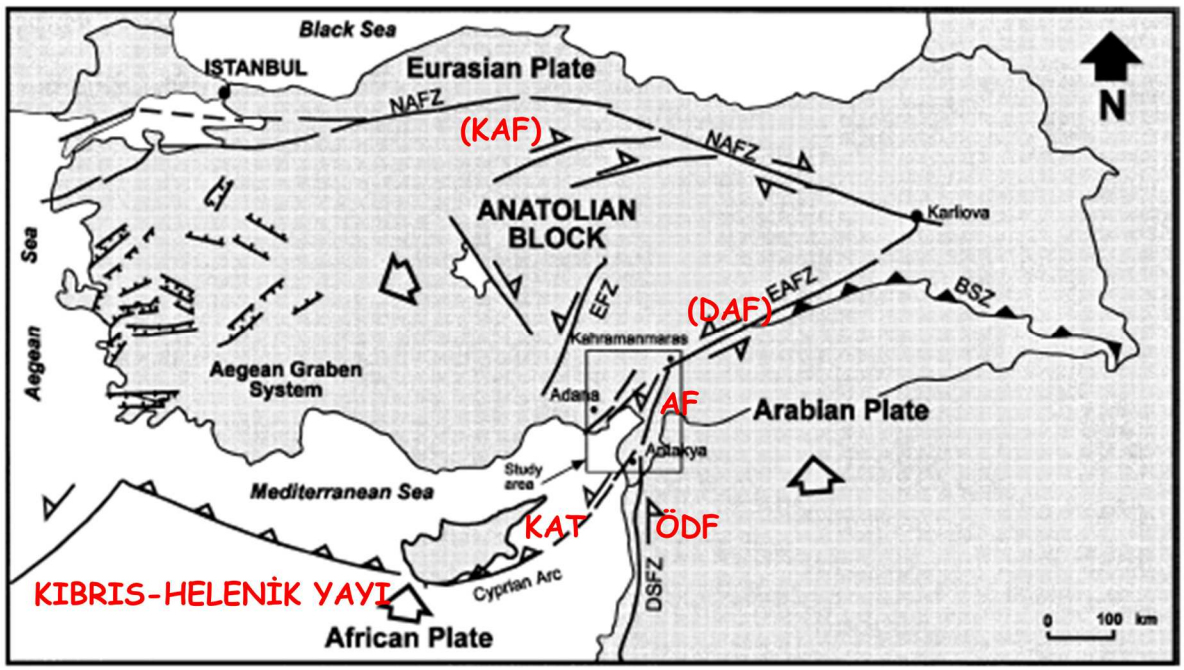
Depremlerin, bir doğa olayı olarak algılanmaya başlandığı 1900'lü yılların başından günümüze kadar dünya genelinde birçok coğrafyada çok sayıda deprem meydana gelmiştir (Şekil 1). Bu coğrafyaları belirleyen en önemli unsur bölgenin tektonik yapısıdır.



Şekil 1. Dünya deprem dağılım haritası.

Hatay'ın tektonik yapısı bölgenin sismik aktivitesi üzerinde son derece etkilidir. Hatay, dünyada oldukça aktif bir zon olarak tanımlanan Doğu Akdeniz'in en doğusunda yer almaktadır. Tektonik açıdan bakıldığında, depremlere neden olan Afrika, Arabistan ve Avrasya levhalarının kesiştiği bölgedir (Şekil 2). Hatay ve civarını etkileyen bölgenin tektonik yapısını bölgede etkin olan levhaların birbirlerine göre göreceli hareketlerdir. Tektonik açıdan Türkiye (Anadolu), Avrasya levhasının bir parçası olarak kabul edilmektedir. Hatay, sırasıyla Avrasya/Arabistan, Arabistan/Afrika ile Afrika/Avrasya arasındaki levha sınır fayları olan Amanos Fayı (Doğu Anadolu Fayı'nın güney uzantısı) Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs-Antakya transfom Fayı'nın kesiştiği alandır. Söz konusu faylar Amik Ovası'nda birleşerek Antakya üçlü eklem noktasını (Triple Junction) oluşturur (Över vd., 2004a).

Bu çalışmanın amacı Hatay'ın deprem riskini ortaya koymak adına bölgenin tektonik yapısını ve depremselliğinin yanı sıra olabilecek yıkıcı bir deprem karşısında hangi tehlikelerle karşılaşabileceğini belirleyerek bölgenin yetkililerine yön verebilecek bütün bir çalışma sunmaktır.



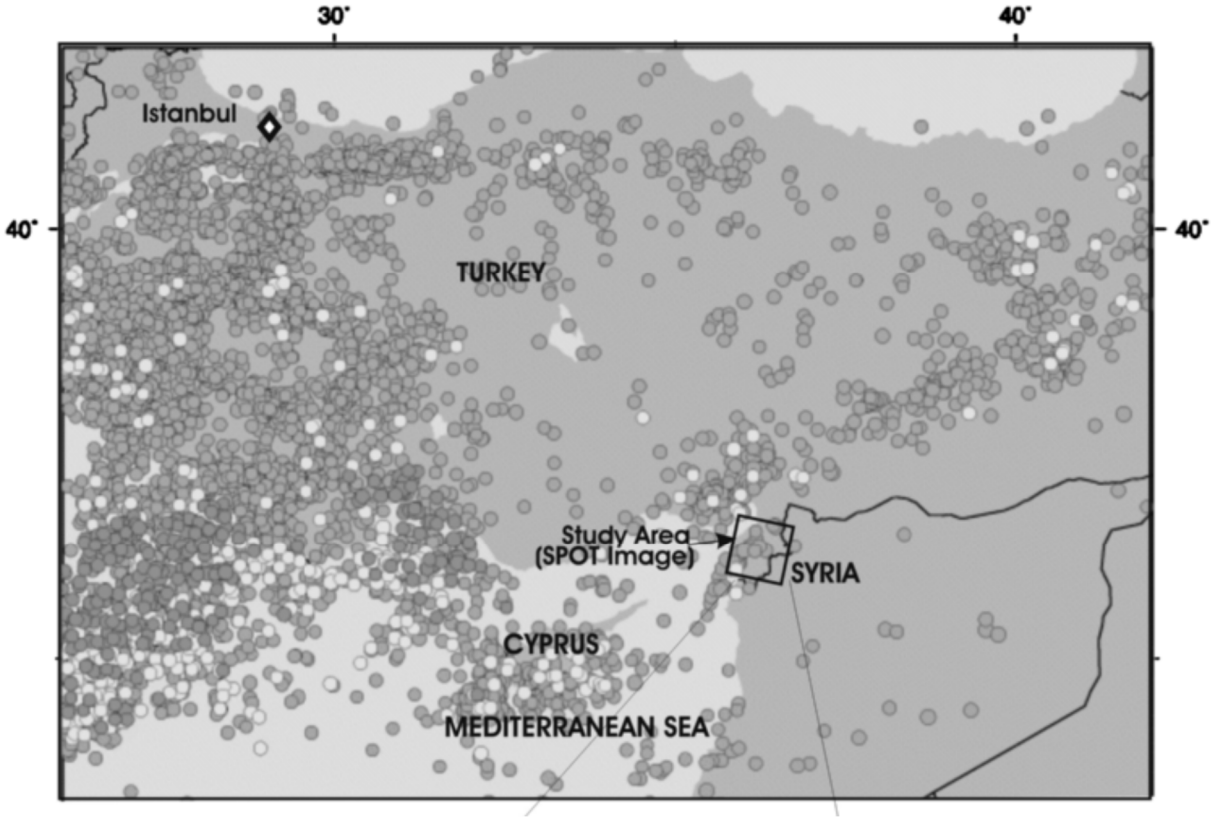
Şekil 2. Türkiye'nin tektonik unsurları. KAF: Kuzey Anadolu Fayı, DAF: Doğu Anadolu Fayı, ÖDF: Ölü Deniz Fayı, AF: Amanos fayı, KAT: Kıbrıs-Antakya Transform Fayı. Över vd. (2004b)'den değiştirilmiştir..

2. Türkiye'nin Tektonik Unsurları ve Depremselliği

Pek çok araştırmacı (Dewey vd., 1986; Şengör vd., 1985; McKenzie, 1978; McClusky et al., 2000), Türkiye genel olarak Alp-Himalaya deprem kuşağında yer aldığını belirtmişlerdir. Türkiye'de tektonik unsurlar Afrika, Arabistan ve Avrasya arasındaki neotektonik dönemden (Miyo-Pliyosen) günümüze kadar devam etmekte olan göreceli hareketlere bağlı olarak gelişmişlerdir (Şengör et al., 1985). Doğuda Arabistan'ın kuzeye doğru hareketi Türkiye'yi sıkıştırmakta ve yüksek dağ ve platoları oluşturarak yerkabuğunun kalınlaşmasına neden olmaktadır (Dewey vd., 1986). Bu hareket Anadolu'nun batıya doğru hareketini de doğurmaktadır. Anadolu'nun bu hareketine Afrika'nın kendine doğru çekecek şekilde (Roll-back) bu harekete katkı sağlayarak Batı Anadolu açılma rejimini (Batı Anadolu graben sistemi) doğurmaktadır (Le Pichon and Angelier, 1979; Över vd., 2010). Anadolu batıya hareketini neotektonik dönemde Arabistan levhasının kuzeyde Avrasya (Anadolu) ile çarpışmasıyla eş zamanlı gelişen Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı (DAF) boyunca gelişmektedir (Şekil 2). Kuzey Anadolu fayı doğuda Karlıova'dan batıda Saroz körfezine kadar uzanan yaklaşık 1400 km uzunluğa sahip sağ yönlü doğrultu atımlı faydır. Bu fay Anadolu ile Avrasya arasında dünyanın en önemli levha sınır faylarından bir tanesidir

Doğu Anadolu Fayı ise kuzeydoğuda KAF ile kesiştiği Karlıova'dan güneyde Kahramanmaraş'a kadar uzanan yaklaşık 500 km uzunluğunda sol yönlü doğrultu atıma sahip önemli bir faydır (Şaroğlu et al., 1992). Bu fay doğuda Anadolu ile Arabistan arasında yer alan diğer önemli levha sınır fayıdır. Kahramanmaraş'tan itibaren fayın güneye doğru uzanımı tartışmalıdır (Över vd., 2004b). Anadolu'nun güneyde yer alan ve Afrika ile arasındaki bir başka önemli sınırı ise Helenik ve Kıbrıs yayları ile temsil edilmektedir.

Türkiye'nin deprem aktivitesi söz konusu levhaların göreceli hareketlerine bağlı olarak gelişen levha sınır fayları boyunca yoğunlaşmaktadır (Şekil 4). Son yüzyılda Türkiye'de meydana gelen önemli yıkıcı depremler özellikle KAF, DAF, Doğu Anadolu sıkışma ve Batı Anadolu graben sisteminde meydana geldiği görülmektedir.



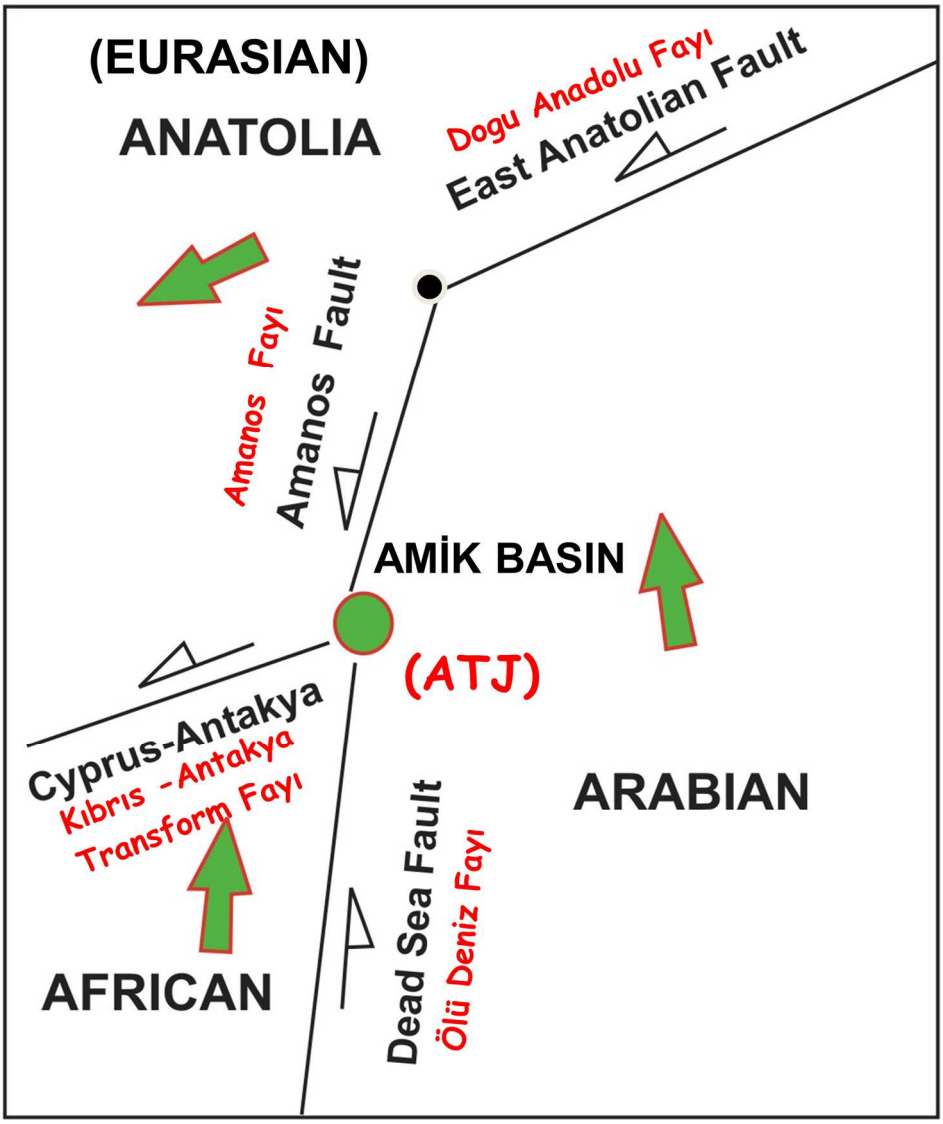
Şekil 4. Türkiye Deprem etkinliği haritası. Över vd. (2004a).

2. Hatay'ın Tektoniği

Hatay, Şekil 2'de görüldüğü gibi, üç önemli levha sınır fayın kesiştiği alandır. Bu faylar. Amanos Fayı (AF), Ölü Deniz Fayı (ÖDF) ve Kıbrıs-Antakya Transform Fayı (KATF)'dır. Amanos Fayı, DAF'nın Türkoğlu (Kahramanmaraş)'dan güneye doğru devamıdır (Perinçek ve Çemen, 1990; Şaroglu vd.., 1992; Över vd., 2002). Güneyde Amik Ovası'na kadar uzanan yaklaşık 145 km uzunluğundaki bu fay Anadolu ile Arabistan arasındaki levha sınır fayıdır. Normal bileşenli sol yönlü doğrultu atım özelliğindeki bu fay Karasu Fayı olarak da bilinir (Över vd. 2004b). Hatay'ı etkileyen diğer önemli levha sınır fayı Arabistan ile Afrika arasındaki hareketi sağlayan Ölü Deniz Fayı'dır (Nur and Ben-Avraham 1978; Lovelock

1984; Mart and Rabinowitz, 1986). Bu fay, güneyde Akeba Körfezinden kuzeyde Amik Ovası'na kadar uzanan yaklaşık 1000 km uzunluğunda sol yönlü doğrultu atımlı bir özelliğe sahiptir (Nur and Ben-Avraham 1978, Lyberis et al. 1992).

Hatay'ı etkileyen diğer önemli levha sınır fayı ise Över vd. (2004a) tarafından tanımlanan ve Afrika ile Anadolu arasında Kıbrıs-Antakya Transform Fayıdır. Bu Kıbrıs'ın güneyinden Amik Ovası'na kadar uzanan normal bileşenli doğrultu atımlı fay özelliğindedir. Hatay'ın deprem aktivitesinden sorumlu olan bu faylar Amik Ovası'nda birleşerek Antakya üçlü eklem noktasını [Antakya Triple Junction (ATJ)] oluşturur (Över vd., 2004a) [Şekil 5].

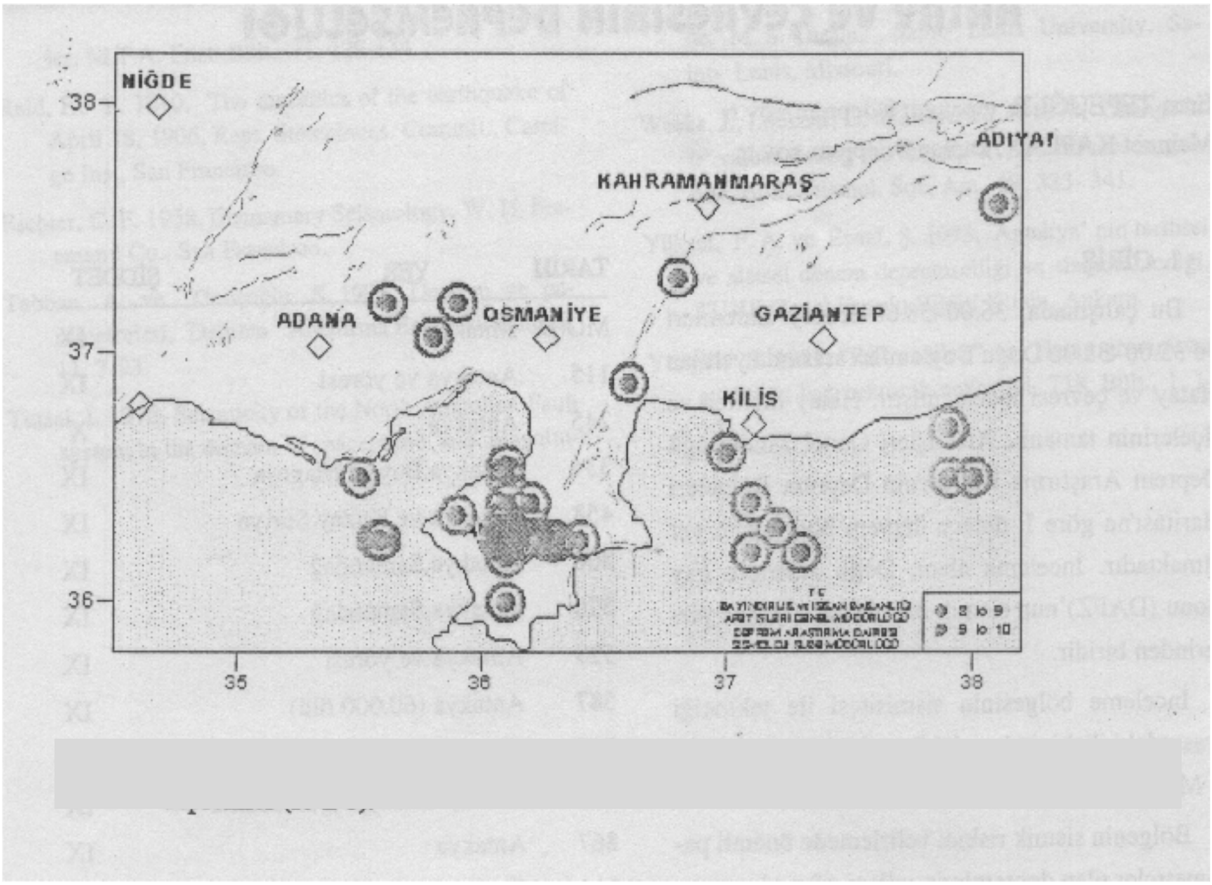


Şekil 5. Hatay'ın tektonik unsurları Antakya Üçlü Eklem Noktası (ATJ). Över vd. (2004a)'dan değiştirilmiştir.

3. Hatay'ın Depremselliği ve Sismotektoniği

Gerek aletsel dönem gerekse tarihsel dönem kayıtları üç levhanın levha sınır faylarının kesiştiği Hatay ve yakın civarının 2000 yıldır pek çok yıkıcı depreme maruz kaldığını

göstermektedir (Willis, 1928; Sieberg,1932; Ergin et al., 1967; Ambraseys, 1970, 1989; Soysal et al., 1981). söz konusu deprem kataloglarından bölgenin sismik açıdan oldukça aktif olduğu bilinmektedir (Poirier ve Taher, 1980; Ambraseys ve Barazangi, 1989). Yıkıcı tarihsel depremlerin büyük çoğunluğu Antakya ve yakın civarında meydana gelmiştir (Şekil 6).

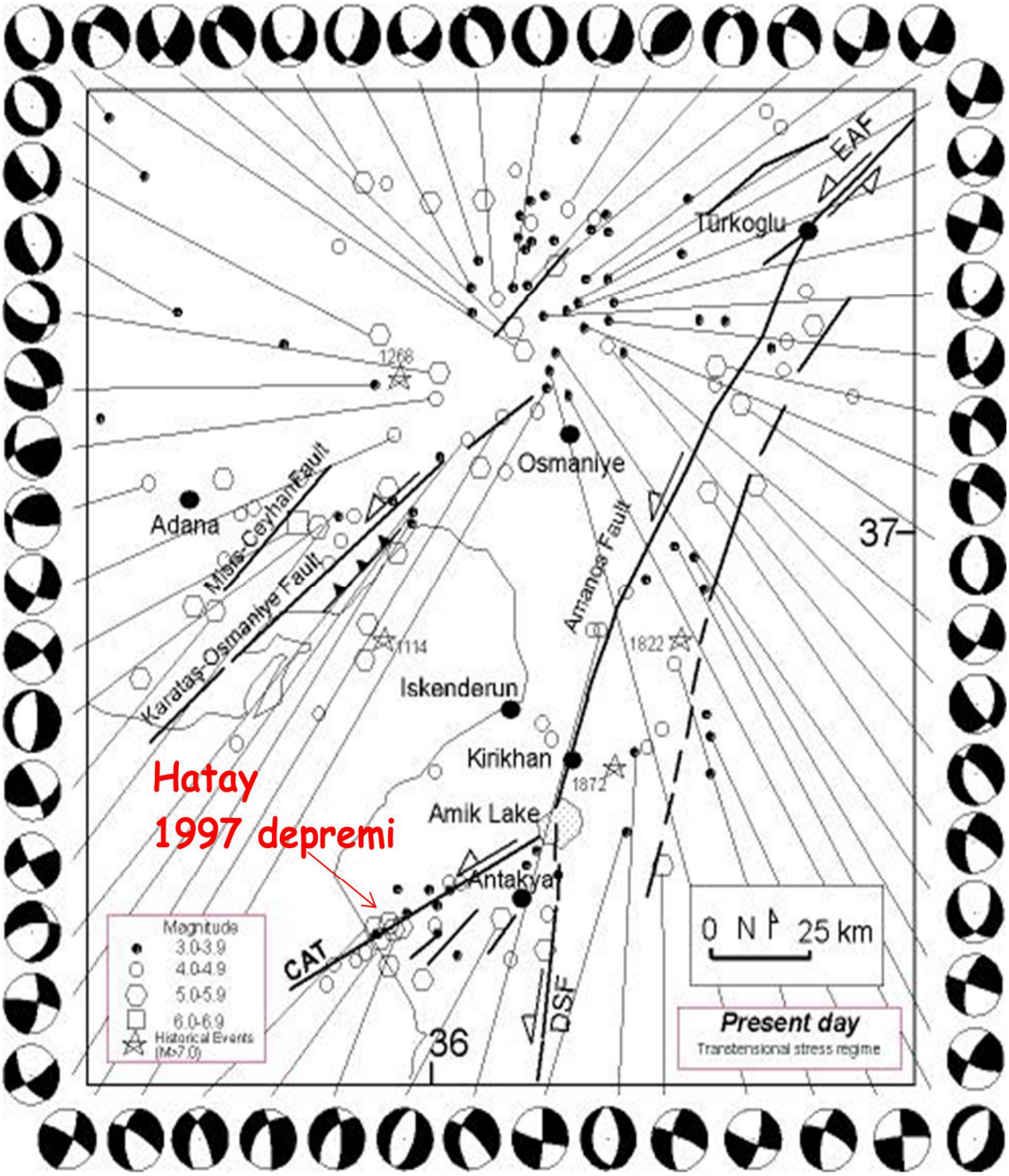


Şekil 6. M.Ö. 148-M.S. 1896 tarihleri arasında Hatay ve Çevresinde meydana gelen tarihsel depremlerin dağılım haritası.

Aletsel dönem depremlerin dağılımlarına bakıldığında depremler bölgeyi etkileyen önemli faylar boyunca sıralandığı görülmektedir (Şekil 7). Depremlerin çözüm mekanizmalarına bakıldığında büyük çoğunluğunun normal ya da normal bileşenli doğrultu atım özelliğine işaret etmektedir (Şekil 7). Bu dönemde Hatay'da meydana gelen en büyük deprem 5.7 büyüklüğündeki 22 Ocak 1997 depremidir. Bu deprem ve artçı şoklarının dağılımına bakıldığında Över vd. (2004a) tarafından isimlendirilen Kıbrıs-Anatakya Trnsform Fayı boyunca meydana geldiği görülmektedir (Şekil 8). Son dönem deprem dağılımlarına bakıldığında bu fayın Hatay'ı etkileyen diğer faylara nazaran daha aktif olduğu görülmektedir (Şekil 7).

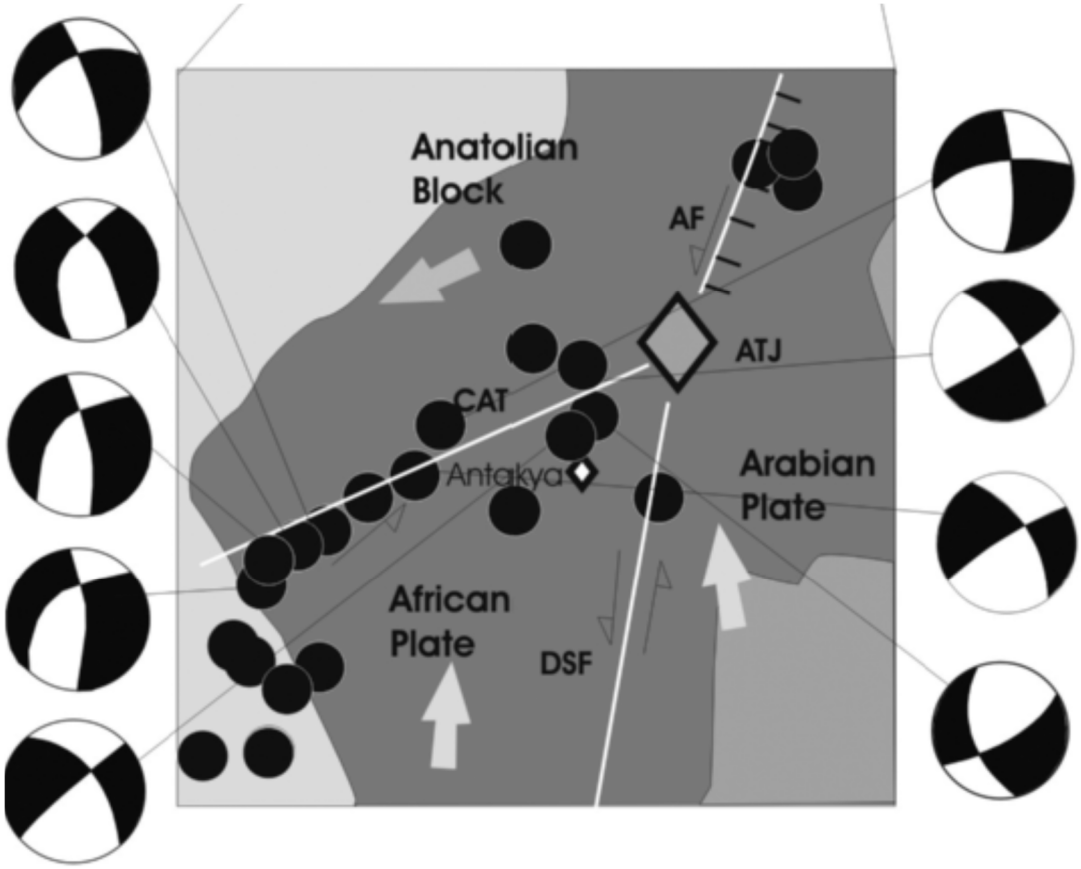
Aletsel dönem kayıtlarında meydana gelmiş en büyük depremin orta büyüklükte (Mw=5.7) olmasına karşın tarihsel kayıtlardaki büyük depremler (M≥7.0) [Çizelge 1]. Türkiye Deprem Tehlike Haritasında Hatay'ın deprem açısından riski yüksek alan olarak tanımlanmasına neden

olmaktadır (Şekil 9). Hatay'ı etkileyen en son iki büyük deprem (M≥7.0) 23 Ağustos 1922 ve 3 Nisan 1872 depremleri binlerce insanın ölümüne neden olmuşlardır (Şekil 7).

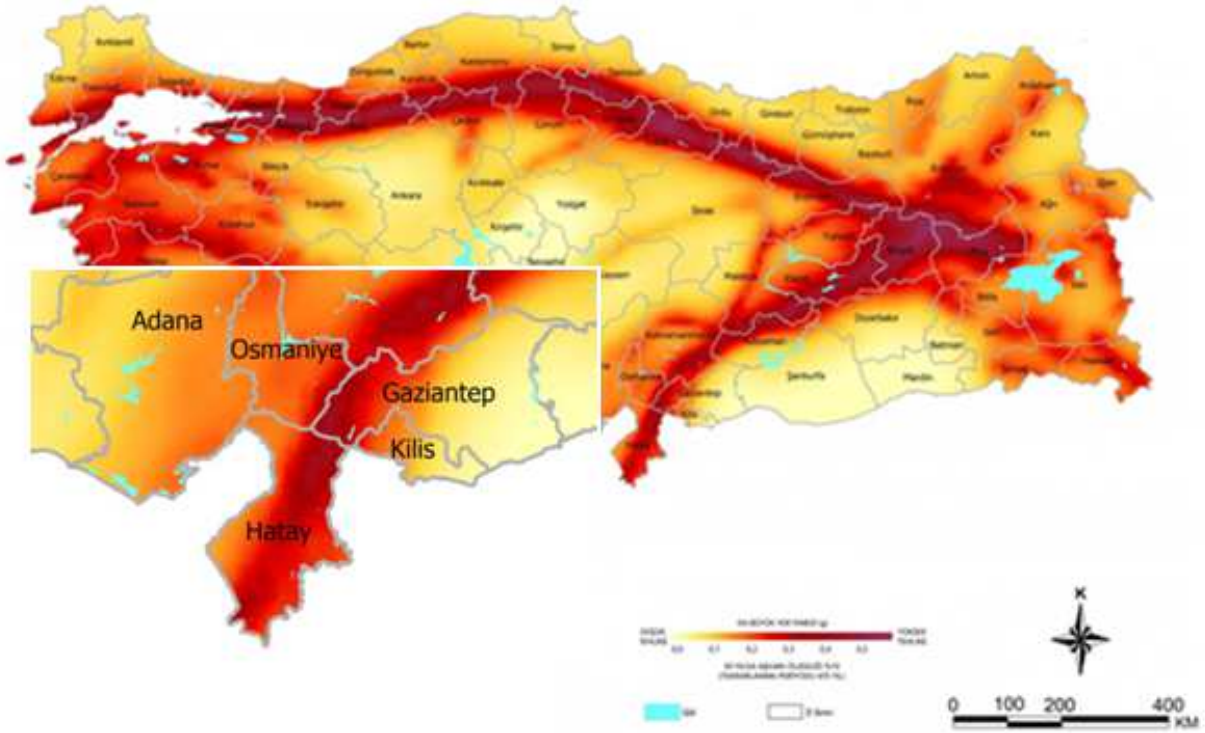


Şekil 7. Hatay ve yakın civarının sismotektonik haritası (Över vd., 2004b).

Hatay'ı etkileyen tarihsel depremler Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'den de görüleceği gibi kayıt edilmiş tarihsel depremlerin zaman açısından bir süreklilik göstermediği ve büyük depremlerin meydana geldiği periyotları bir suskunluk dönemi takip ettiği görülmektedir (Çizelge 2).



Şekil 8. Antakya ve civarının sismotektonik haritası (Över vd., 2004a).



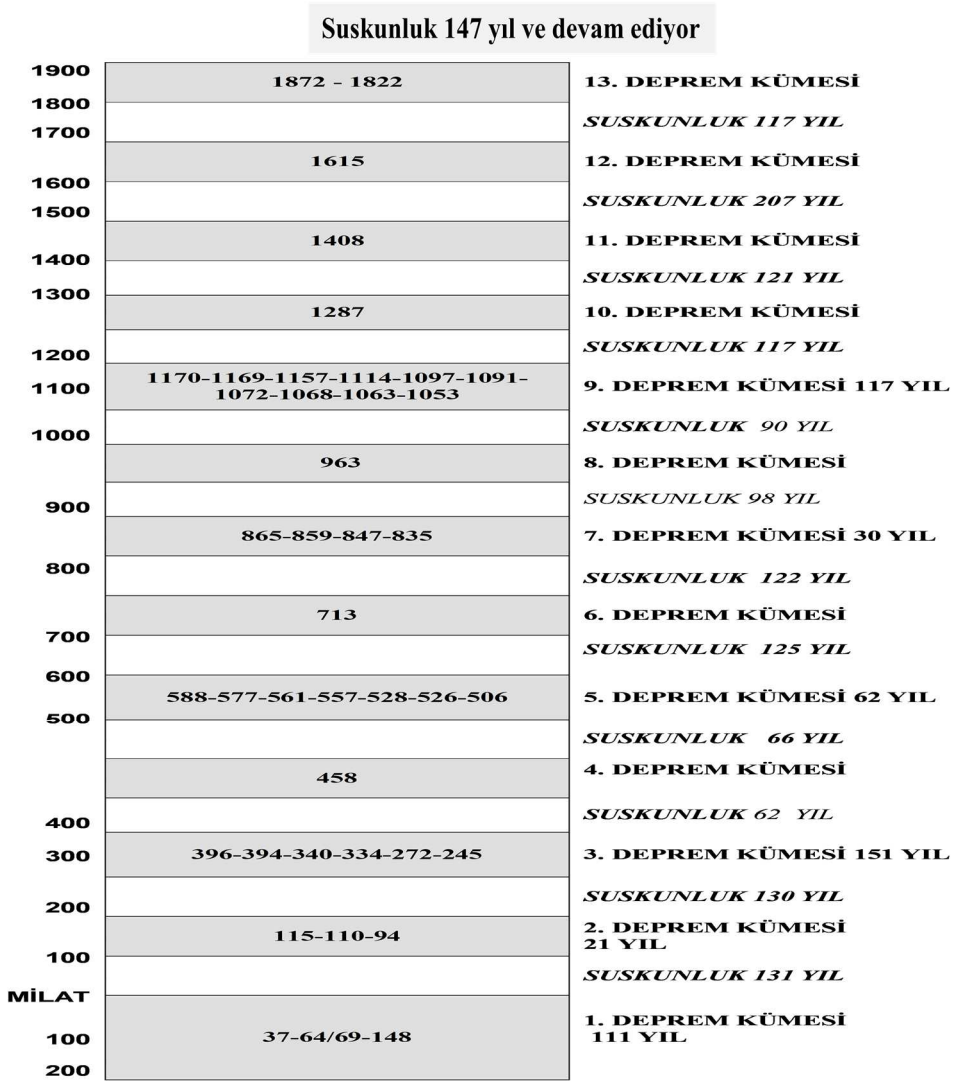
Şekil 9. Türkiye Deprem Tehlike Haritası

Birbirini takip eden deprem aktivite dönemleri ile suskunluk dönemlerinin tam bir uyum içinde olmadığı da görülmektedir (Çizelge 2). Hatay'ın yaklaşık 147 yıldır suskun olduğu (sismik boşluk) ve bunun devam ettiği görülmektedir. Suskunluk dönemlerinden en küçük dönem 21 yıl en yüksek dönem ise 207 yıl olarak kayıtlara geçmiştir (Çizelge 2). Günümüzde devam etmekte olan suskunluk dönemi ise ikinci en yüksek dönemdir. Daha önce 12 suskunluk dönemi yaşanmış ve ortalama 116 yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Hatay'ın Tarihsel depremleri

Tarihsel Depremler					
	Man	**Enlem**	**Boylam**	**Şiddet**	**Yer**
BC 69	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya,Suriye
13 12 115	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya
245	>7.0	36.25	36.10	X	Antakya
334	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya,Beyrut,Kıbrıs
367	7.0	36.00	36.00	IX	Antakya, Filistin
14 09 458	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya ve Kuzey Suriye
10 09 506	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya,Samandağ
29 05 526	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya,Samandağ
29 11 529	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya
30 09 587	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya-(60.000 ölü)
08 04 859	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya,Lazkiye
867	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya
10 08 1114	7.0	36.50	35.50	IX	Ceyhan,Antakya,Maraş-(Tsunami)
1170	7.0	36.00	36.00	IX	Antakya Halep (Binlerce ölü)
13 08 1822	>7.2-7.5	36.40	36.20	X	Antakya,Iskenderu (20000 ölü,Tsunami)
02 04 1872	7.0	36.25	36.10	IX	Antakya,Samandağ-(1800 ölü)

Çizelge 2. Tarihsel deprem kümeleri



Nalbant vd. (2002) yaptıkları çalışmalarda 1822 depreminin yaklaşık 140 km uzunluğunda bir yüzey kırığı ve 5 m büyüklüğünde bir atıma sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ülkemizi yasa boğan son büyük depremi olan 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin yaklaşık 100 km uzunluğundaki yüzey kırığı ve ölçülen en büyük atımın yaklaşım 4.5 m olduğu göz önüne alınırsa Hatay depreminin büyüklüğünün 7.5 olabileceğini söylemek yanlış olmaz. Aynı araştırıcılar 1872 depremi için 34 km lik yüzey kırığı ve 3 m lik bir atımın oluştuğunu belirtmişlerdir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bölgenin gerek aletsel gerekse tarihsel deprem dağılım haritasına bakıldığında levha sınır fayları olan Amanos Fayı, Ölü Deniz Fayı ve Kıbrıs-Antakya Transform Fayının aktif olduğu görülmektedir. Aletsel dönemde meydana gelen depremler söz konusu faylar boyunca dağılım göstermektedir. Bu dönemin en büyük depremi 22 Ocak 1997 yılında meydana gelen

orta büyüklükteki (Mw=5.7) depremdir. Ancak, tarihsel kayıtlar pek çok büyük ve yıkıcı depremin meydana geldiğini göstermiştir. Bu kayıtlar bölgedeki fayların 7.0 ve daha büyük bir deprem üretebilecek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Gerek aletsel gerekse tarihsel depremler, Hatay'ı etkileyen fayların suskunluk dönemlerinde olduğunu bunun yaklaşık 147 yıldır sürdüğünü göstermektedir. Bu da Hatay'da bir sismik boşluk olduğu anlamına gelmektedir. Son 2000 yılın tarihsel deprem verileri Hatay'da farklı periyotlara sahip toplam 12 adet suskunluk dönemi yaşandığını göstermiştir. Hesaplanan ortalama suskunluk süresi 116 yıldır. 147 yıldır süren yaşamakta olduğumuz 13. suskunluk dönemi ortalama değerden çok daha uzun sürdüğü görülmektedir. Hatay'daki suskunluk dönemin ne kadar süreceği tam olarak bilinmemekle birlikte her an büyük bir deprem olabileceği böylece sismik boşluğun dolabileceği unutulmaması gerektiği kanısındayız.

Kaynaklar:

Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroglu, F. & Seng¨or, A.M.C.,1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone, in *Collision Tectonics,* eds Coward,M.P. & Ries, A.C., *Geol. Soc. London, Sp. Publ.,* **19,** 3–36.

Ambraseys NN (1970) Some characteristic features of the Anatolian fault zone. *Tectonophysic*s 9:143–165

Ambraseys NN (1989) Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophys J Int* 96:311–331

Ambraseys, N.N. & Barazangi, M., 1989. The 1759 earthquake in the Bekaa Valley: Implications for earthquake hazard assessment in the eastern Mediterranean region, *J. geophys. Res.*, **94,** 4007–4013.

Ergin K, Guclu U, Uz Z (1967) A catalogue of earthquakes of Turkey and surrounding area (11 AD to 1964 AD). MadenFakultesi, ArzFizigiEnstitusuYayinlari, Istanbul 24:1–28.

Le Pichon, X., Angelier, J., 1979. The Hellenic arc and trench system: a key to the evolution of eastern Mediterranean area. Tectonophysics 60, 1–42.

Lovelock, P.E.R., 1984.Areviewof the tectonics of the northern middle-East region, *Geol. Mag.,* **121,** 577–587.

Lyberis N, Yurur T, Chorowicz J, Kasapoglu E, Gundogdu N (1992) The East Anatolian fault: an oblique collisional belt. *Tectonophysics* 204:1–15

Mart, Y. & Woodside, J., 1994. Preface: tectonics of the Eastern Mediterranean, *Tectonophysics,* **234,** 1–3.

McKenzie, D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean sea and surrounding regions (tectonic of Aegean region), *Geophys. J. R. astr. Soc.,* **55,** 217–254.

Nalbant, S. S., J. McCloskey, S. Steacy, and A. A. Barka (2002), Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey, Earth Planet. Sci. Lett., 195, 291 – 298.

Nur, A. & Ben-Avraham, Z., 1978. The eastern Mediterranean and the Levant: Tectonics of continental collision, *Tectonics,* **46,** 297–311.

Över, S., Can Ünlügenç, U., &Bellier, O. 2002. Quaternary stress regime change in the Hatay region (SE Turkey). *Geophysical Journal International*, *148*(3), 649-662.

Over, S., Kavak, K. Ş., Bellier, O., &Özden, S. 2004a. Is the Amik Basin (SE Turkey) a triple-junction area? Analyses of SPOT XS imagery and seismicity. *International Journal of Remote Sensing*, *25*(19), 3857-3872.

Över, S., Özden, S., Yılmaz, H., 2004b. Late Cenozoic Stress State evolution along the Karasu Valley, SE Turkey. Tectonophysics 380 (1–2), 43–68.

Över, S., Özden, S., Pınar, A., Yılmaz, H., Ünlügenç, U.C., Kamacı, Z., 2010, Late Cenozoic 480 Stress Field in the Çameli Basin, SW Turkey. Tectonophysics, 492, 1-4, 60-72.

Perinçek, D. and Çemen, I., 1990. The structural relationship between the East Anatolian Fault and Dead Sea Fault zones in southern Turkey, *Tectonophysics*,**172,** 331–340.

Poirier, J.P.&Taher, M.A., 1980. Historical seismicity in the Near and Middle East, North Africa and Spain from Arabic documents, *Bull. seism. Soc. Am.*, **70,** 2185–2201.Mart, Y. & Rabinowitz, P.D., 1986. The northern Red Sea and the Dead Sea rift, *Tectonophysics*, **124,** 85–113.

Sieberg A (1932). Erdbeben geographic. In: Gutenberg B (ed) Handbuch der Geophysic, Bands IV. Borntrager, Berlin, pp 527–1005.

Soysal H, Sipahioglu S, Kolcak D, Altinok Y (1981) Turkiye tarihsel deprem katalogu. TUBITAK Project (No: TBAG-341), Ankara.

Şaroglu F, Emre O, Kuscu I (1992) The East Anatolian fault zone of Turkey. *AnnaliTectonicae* VI:99–125

Willis B (1928) Earthquakes in the holy land.*Bull Seism Soc Am* 18:73–103.

HATAY'IN YOLCU TAŞIMACILĞI İLE İLGİLİ SORUNLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Ömer Faruk CANSIZ1[1], Muhammed İkbal POLAT[2], Nazmi ÖZTEKİN[3]

[1]İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Turkey
[2,3]HatayBüyükşehirBelediyesi, Ulaşım Dairesi Başkanlığı, Turkey
Emails: ofarukcansiz@iste.edu.tr, ikbalpolat@hotmail.com, nazmioztekin.mfbe18@iste.edu.tr

Özet

Günümüzde toplu taşım araçlarına ihtiyaç, sürekli olarak artış göstermektedir. Şehirlerin artan nüfusları ve değişen cazibe noktaları ile birlikte toplu taşım ihtiyaçları da değişim göstermektedir. Bunun için toplu taşım hizmetlerinin sürekli olarak güncellenmesi ve yolculuk ihtiyaçlarına göre şekillenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada; Hatay İlinin mevcut durumdaki toplu taşım analizi ve Hatay İlinde yapılan toplu taşım rehabilitasyon çalışmaları ele alınmaktadır. Hatay'da mevcut durumda 4218 adet toplu taşım işleticisi bulunmaktadır. İşleticilerin büyük bir çoğunluğu bir biri ile rekabet halinde olduğundan, zaman içerisinde verimsiz ve sürdürülebilirliği gittikçe azalan bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bu durumla birlikte, toplu taşım araçları şehrin önemli caddelerinde büyük çapta trafik problemlerine sebebiyet vermektedir. Yaşanan problemlerinin önüne geçebilmek için, yerel yönetim 2010 yılında toplu taşım araçlarını şehrin belirli noktalarından keserek daha az kullanılan caddelere yönlendirmiştir. Günü kurtarmak adına alınan bu tür kararların, çözüm olmadığı görülmekte ve gerekli çalışmaların ivedilikle yapılması ortaya çıkmaktadır. Problemlerin önüne geçebilmek için, işleticilerin mevcut durumdaki analizleri yapılarak her bölgeye kendine özgü çözüm önerileri geliştirilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda; toplu taşım araçlarının birbirine entegre olduğu, aktarma indirimlerinin tanımlandığı, 65 yaş ve üstü, %40 ve üstü engelli vatandaşların ücretsiz toplu taşım hizmetlerinden faydalandığı, işleticilerin birbiri ile rekabetinin önüne geçildiği ve lastik tekerlekli toplu taşım sistemlerine belirli standartların getirildiği bir yapı kurulması amaçlanmaktadır. Mevcut durumda sahada toplu taşım faaliyeti gösteren 4218 adet aracın 1392 tanesi rehabilitasyon çalışmalarına tabi tutulmuştur. Çalışmalar sonucunda 1392 adet aracın 486 araca dönüştürülmesi ile alakalı kararlar alınmış ve uygulama aşamasına geçilmiştir. Uygulama aşamasına geçilmesiyle birlikte toplu taşım araç sayısı yaklaşık olarak % 65 oranında azalmıştır. Böylelikle toplu taşım araçlarının güzergâhlarını, azalan araç sayısı sayesinde şehrin merkezi noktalarına alma işlemi daha da kolaylaşmaktadır. Şehir merkezine alınan toplu taşım araçlarıyla birlikte; bireysel kullanımın azalacağı, daha verimli hatların oluşturulacağı, çevre kirliliğinin ve trafik yükünün azalacağı öngörülmektedir. Ayrıca toplu taşım sayılarının azalması ile birlikte; amortisman, bakım onarım, ilk yatırım bedeli, sigorta vb. giderlerinde azaldığı tespit edilmektedir.

Keyword(s): Toplu Taşıma, Rehabilitasyon, Sürdürebilirlik

1. Giriş

Dünyada toplu ulaşım sistemleri her geçen gün gelişim göstermektedir. Pek çok ülke toplu taşıma araçlarının kullanımını daha yaygın ve verimli bir hale getirmek için çalışmalar yapmaktadır. Ülkemizde de birçok toplu taşım sistemi bulunmaktadır. Bunların içerisinde en yaygın olarak kullanılanı lastik tekerlekli toplu taşım sistemleridir. İlk yatırım ve işletme maliyetlerinin diğer ulaşım araçlarına göre daha ucuz olması bu durumu daha da cazip hale getirmektedir. Lastik tekerlekli toplu taşım sistemleri her geçen gün gelişimi sürdürmekte ve yeni projelerin içerisinde yer almaktadır. Ancak bu gelişimin kontrolsüz bir şekilde olması durumunda pek çok olumsuz duruma sebebiyet verecektir. Gerekli analizler yapılmadan oluşturulan toplu taşım sistemleri; atıl kapasitenin oluşmasına, verimsiz toplu taşım güzergahlarının oluşmasına, bireysel kullanımın artmasına, çevre kirliliğinin artmasına, toplu taşım ücretlerinin yüksek olmasına vb. birçok olumsuz duruma sebebiyet verecektir. Toplu taşıma sistemlerinin dört temel bileşeni vardır. Bunlar sırasıyla; İdare (belediye), işletici, şoför ve vatandaş olmak üzere dört adettir. Sürdürülebilir bir sistem için bu unsurların ortak paydada buluşması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda her unsurun kendi açısından problemlerinin ve kaygılarının olduğu gözlemlenmektedir. Bu problem ve kaygıları sıralayacak olursak;

İdare Açısından Problemler

- İhale süreleri,
- Verimsizlik,
- Kalitesizlik,
- Güvenlik,
- Muhataplık,
- Alışılmış uygulamalar,
- Teknik yetersizlikler,
- İşleticilerin sosyal yapısı,
- 5216 sayılı yasanın getirdiği zorluklar,

İşletici Açısından Problemler

- Güven problemi,
- Gelecek kaygısı,
- Mali beklentiler,
- Yasal problemler,
- Verimsizlik,
- Sürekli şoför değişikliği,
- Cezalar,

Şoför Açısından Problemler

- Maaş,
- Sosyal haklar,
- Çalışma şartları,
- Yolcu problemleri,
- Zaman baskısı,
- Düzensiz hatlar,
- Trafik,

Vatandaş Açısından Problemler

- Uzayan hatlar,
- Hizmet kalitesi,
- Zamanlama,
- Şoförlerin kaba davranışları,
- Teknik yetersizlikler,
- Fiyatlar tarifesi,

Görüldüğü gibi her bir bileşenin kendince problem ve kaygıları bulunmaktadır. Bunları minimize etme adına birçok ülke ve şehirlerde toplu taşım sistemleri ile alakalı çalışmalar yapılmaktadır.

Polat (2019) tarafından yapılan çalışmalarda; Hatay ilinin merkez ilçelerinde toplu taşım faaliyetinde bulunan işleticilerin mevcut durum analizleri ve analiz sonuçlarına göre uygulanan rehabilitasyon çalışmaları ele alınmaktadır. Bu çalışmada 9 kooperatife ait 404 işletmeci toplu taşıma rehabilitasyon çalışmaları sonrasında 167 araca indirgenerek araç sayısı yaklaşık olarak %59 oranında azaltılmıştır. Yapılan çalışmada işleticilerin hepsi aynı havuz yapısı içerisinde toplanarak araç başı hak ediş modeli uygulanmış ve aralarındaki yolcu kavgalarına son verilmesi amaçlanmıştır. Toplu taşım hizmetinden faydalanan vatandaşlara modern, konforlu, çevre dostu araçlarla hizmet verilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca 65 yaş ve üzeri, %40 ve üzeri engelli vatandaşların toplu taşıma hizmetlerinden ücretsiz olarak faydalanmaktadır. Çalışmada işleticilerin ilk yatırım ve işletme giderleri minimum seviyede tutularak verimli ve sürdürebilir bir toplu taşım sistemi kurulması amaçlanmaktadır.

Ağın (2015) tarafından yapılan çalışmalarda; toplu taşıma araçlarını kullanan vatandaşların, toplu taşım araçlarını seçerken göz önünde bulundurdukları kriterlerin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmada, bazı hatlar belirlenerek vatandaşlarla anketler yapılmıştır. Anket sonrası veriler analiz edilerek, otobüsü tercih eden vatandaşların elektronik bilet sistemi uygulamasının olması ve aktarma indirimlerinin tanımlanmasından dolayı tercih ettiği, minibüsü tercih eden vatandaşların esnek güzergaha sahip olmasından dolayı tercih ettiği, izban tercih eden vatandaşların toplu taşıma hizmetini hızlı ve konforlu bir şekilde almasından dolayı tercih ettiği, taksi dolmuşu tercih eden vatandaşların ise daha hızlı, konforlu ve inme binmenin daha kolay olduğundan tercih ettiği sonuçlarına ulaşılmaktadır.

Baştürk (2014) tarafından yapılan çalışmalarda; Türkiye'de bulunan mevcut raylı sistemler incelenerek, dünyadaki diğer örnekleri ile karşılaştırılmaktadır. Ülkemizde bulunan raylı sistemlere ait verilerin hepsinin bulunduğu herhangi bir veri tabanı bulunmadığından, verileri karşılaştırmak pek mümkün olmamaktadır. Ayrıca raylı sistemlerde tercih edilecek araçların ve sinyalizasyon ekipmanlarının büyük bir kısmını ithal edildiğinden, bu tür çalışmalarda; ileriye dönük olarak tecrübeli personellerin yetişebilmesi ve ekipmanların ülkemizde üretilebilmesi adına, yerlilik kriterleri getirilmesi gerekmektedir.

Cansız ve Polat (2018) tarafından yapılan çalışmalarda; Hatay İl'inin Antakya İlçesi'nde toplu taşıma faaliyeti gösteren kooperatiflerin mevcut durum analizleri ele alınmaktadır. Yapılan çalışmalarda hatlarda günlük taşınan yolcu sayıları, hatlarda çalışan araç sayıları, araç başına yolcu sayıları, günlük hatta yapılan kilometre değeri, araç başına yapılan kilometre değeri, hatlarda çalışan araçların yaşları ve mevcut durumdaki çalışma verimliliklerinin tespiti yapılmaktadır.

Öztürk ve arkadaşları(2015) tarafından yapılan çalışmada; İstanbul'da toplu taşıma araçlarında şoför olarak çalışan vatandaşların, tükenmişlik seviyesinin tespiti yapılmaktadır. İlk olarak şoförlere Maslach tükenmişlik ölçeği uygulanmaktadır. Çalışmalarda, mevcut durumda 1879 şoförden 396'sı değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Tükenmişlik durumu için 3 kriter belirlenmiş olup bunlar sırasıyla; duygusal bitkinlik, duyarsızlık ve düşük kişisel başarı olarak sıralanmaktadır. Sonuç olarak Anadolu Yakası garajında çalışan ve değerlendirmeye alınan şoförlerde tükenmişlik sendromuna rastlanılmamıştır.

Hatay İlinde 2015 yılında toplu taşım rehabilitasyon çalışmaları başlatılmıştır. İlk olarak mevcut durumun analizi yapılmış ve her bölgeye kendine özgü çözümler üretilmeye çalışılmıştır. Toplu taşım rehabilitasyon çalışmalarının sonlanmasıyla birlikte;

- Şehir merkezindeki trafik yoğunluğunun azalması,
- Araç sayısının azalmasına bağlı olarak çevre kirliliğinin azalması,
- Gürültü ve görüntü kirliliğinin azalması,
- 65 yaş ve üstü, %40 ve üstü engelli vatandaşların, toplu taşım faaliyetlerinden ücretsiz faydalanması,
- Toplu taşım hizmetlerine belirli standartların getirilmesi,
- Yeni güzergâh planlamalarının daha kolay yapılması,
- Vatandaşların bireysel olarak araç kullanımının önüne geçilmesi,
- Toplu taşım sistemini daha verimli ve sürdürebilir bir hale getirilmesi,
- Elektronik bilet sistemine geçilmesi,
- Toplu taşım sisteminin bir bütün halinde bir birine entegre olması,
- Hatlarda aktarma indirimlerinin tanımlanması, gibi birçok olumlu durum söz konusudur.

2. Hatay İlindeki Toplu Taşım Rehabilitasyon Çalışmaları

2.1. Mevcut Durum Analiz Çalışmaları

Mevcut durum analizleri yapılırken her güzergâh ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Sahada toplu taşım faaliyeti gösteren işleticilerle bir anket çalışması yapılarak mevcut bilgiler toplanmaktadır. Daha sonra saha çalışması yapılarak alınan bilgilerin doğruluğu gözlemlenmektedir. Mevcut durum analizlerinde;

- Hatta ve günde servise verilen kayıtlı araç sayısı,
- Araçların yolcu taşıma kapasitesi,
- Sefere başlama ve bitirme saatleri,
- Sefer-zaman çizelgesi,
- Hattın uzunluğu,
- Gün içinde yapılan tur sayısı,
- Toplam yapılan tur sayısı,
- Bir turun toplam süresi,
- Ortalama ticari hız,
- Araç başı yapılan km,
- Araç başı tur sayısı,
- Aracın toplam çalışma süresi,
- Aracın çalışma verimliliği,
- Tur başına yolcu,
- Araç başına yolcu,
- Toplam yolcu,
- Km. başına yolcu,
- Gece nöbete başlama saati,
- Gece nöbet bitiş saati,
- Nöbette yapılan tur sayısı gibi bilgiler toplanmaktadır.

4218 adet toplu taşım işletmecisinin faaliyet gösterdiği kooperatiflerin hepsine bu işlemler uygulanmaktadır. Daha sonra tüm toplu taşıma güzergâhları uydu haritası üstüne çizilerek hatların geçtikleri yerler ve temas ettiği cazibe noktaları tespit edilmektedir. Bu durumların tespitinden sonra, planlanan toplu taşım yapısı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Hatay'da şuana kadar 5 farklı bölgeye toplu taşım rehabilitasyon çalışmaları uygulanmış olup araç sayısı 5 bölgede toplam 1392 olan araç sayısı rehabilitasyon çalışmaları sonunda 486'ya düşürülmesi öngörülmüştür.

2.2. Belen Bölgesi Mevcut Durum Analizi

Belen İlçesi'nde mevcut durumda toplu taşım hizmeti 2 kooperatife ait 53 işletmeci tarafından verilmektedir. Kooperatiflerin mevcut durumdaki toplu taşım verileri Hatay Ulaşım Ana Planı verileri olup ve veriler; Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 1 Belen İlçesinde Toplu Taşım Faaliyeti Gösterilen Güzergahlarda Yolcu Sayıları

Hattın adı	Yolcu sayısı
Halilbey-Belen - İskenderun	5.206
Cırtıman - İskenderun	1.453
Petek/Toki - İskenderun	92
Atik-İskenderun	26
Toplam	**6.777**

Tablo 2 Belen İlçesinde Güzergahlarda Taşınan Araç Başına Yolcu Sayıları

Hattın adı	Günlük ortalama yolcu Sayısı	Hatta Çalışan Araç Sayısı	Araç Başına Taşınan Günlük Yolcu Sayısı
Halilbey-Belen - İskenderun	5.206	39	133
Cırtıman - İskenderun	1.453	12	121
Petek/Toki - İskenderun	92	1	92
Atik-İskenderun	26	1	26
Toplam/Ortalama	**6.777**	**53**	**128**

Tablo 3 Güzergahlarda Yapılan Günlük Tur Sayıları ve Araç Başı Km Değerleri

Hattın Adı	Hattın Uzunluğu (Km)	Tur Sayısı	Hatta Gün İçinde Yapılan Toplam Km	Araç Başına Yapılan Toplam Km
Halilbey-Belen - İskenderun	37	190	6.954	178,3
Cırtıman - İskenderun	34	67	2.278	189,83
Petek/Toki - İskenderun	23,2	7	162,4	162,4
Atik-İskenderun	42,52	1	42,52	42,52
Toplam/Ortalama		**265**	**9.437**	**178,05**

Tablo 4 Kilometre Başına Taşınan Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Hatta Gün İçinde Yapılan Toplam Km	Km Başına Taşınan Yolcu Sayısı
Halilbey-Belen - İskenderun	5.206	6954	0.75
Cırtıman - İskenderun	1.453	2278	0.64
Petek/Toki - İskenderun	92	162.4	0.57
Atik-İskenderun	26	42,52	0.61
Toplam/Ortalama	**6.777**	**9436,92**	**0.72**

Tablo 5 Araç Başına Tur Sayıları

Hattın Adı	Araç Sayısı	Tur Sayısı	Araç Başına Tur sayısı
Halilbey-Belen - İskenderun	39	190	4,87
Cırtıman - İskenderun	12	67	5,58
Petek/Toki - İskenderun	1	7	7
Atik-İskenderun	1	1	1
Toplam/Ortalama	53	265	5

Tablo 6 Sefer Başına Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Sefer Sayısı	Sefer Başına Yolcu Sayısı
Halilbey-Belen - İskenderun	5.206	380	13,70
Cırtıman - İskenderun	1.453	134	10,84
Petek/Toki - İskenderun	92	14	6,57
Atik-İskenderun	26	2	13,00
Toplam/Ortalama	6.777	530	12,79

Tablo 7 Hatlardaki İşletme Verimlilik Değerleri

Hattın Adı	Araç Başına Yapılan Km	Hatlarda İşletme Verimliliği
Halilbey-Belen - İskenderun	178.3	71.32
Cırtıman - İskenderun	189.83	75.92
Petek/Toki - İskenderun	162.4	64.96
Atik-İskenderun	42.52	17.00
Ortalama		57.30

2.3. Üniversite Serinyol Bölgesi Mevcut Durum Analizi

Üniversite Serinyol Bölgesinde, mevcut durumda toplu taşım hizmeti 7 kooperatife ait 227 işletmeci tarafından verilmektedir. Kooperatiflerin mevcut durumdaki toplu taşım verileri Hatay Ulaşım Ana Planı verileri olup ve veriler; Tablo 8, Tablo 9, Tablo 10, Tablo 11, Tablo 12 Tablo 13 ve Tablo 14'te gösterilmektedir.

Tablo 8 Üniversite Serinyol Bölgesinde Toplu Taşım Faaliyeti Gösterilen Güzergahlarda Yolcu Sayıları

Hattın adı	Yolcu sayısı
Serinyol-Antakya	10.819
Alahan-Antakya	2.132
Kampüs-Antakya	11.331
Anayazı Antakya	1.748
Dikmece-Antakya	480
Ovakent-Antakya	406
Karaali-Antakya	568
Toplam	**27.484**

Tablo 9 Üniversite Serinyol Bölgesindeki Güzergahlarda Taşınan Araç Başına Yolcu Sayıları

Hattın adı	Günlük ortalama yolcu Sayısı	Hatta Çalışan Araç Sayısı	Araç Başına Taşınan Günlük Yolcu Sayısı
Serinyol-Antakya	10.819	69	157
Alahan-Antakya	2.132	13	164
Kampüs-Antakya	11.331	100	113
Anayazı Antakya	1.748	14	125
Dikmece-Antakya	480	8	60
Ovakent-Antakya	406	14	29
Karaali-Antakya	568	9	63
Toplam	**27.484**	**227**	**121**

Tablo 10 Güzergâhlarda Yapılan Günlük Tur Sayıları ve Araç Başı Km Değerleri

Hattın Adı	Hattın Uzunluğu km (gidiş-Dönüş)	Tur Sayısı	Hatta Gün İçinde Yapılan Toplam Km	Araç Başına Yapılan Toplam Km
Serinyol-Antakya	43	215	9.254	134
Alahan-Antakya	38	51	1.941	149
Kampüs-Antakya	37	313	11.644	117
Anayazı Antakya	36	76	2.754	197
Dikmece-Antakya	25,83	24	619,92	77,49
Ovakent-Antakya	46,04	24	1104,96	78,92
Karaali-Antakya	27,36	22	601,92	66,88
Toplam		**725**	**27.919**	**122,99**

Tablo 11 Kilometre Başına Taşınan Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı yolcu Sayısı	Hatta gün içinde yapılan Toplam Km	Km Başına Taşınan Yolcu Sayısı
Serinyol-Antakya	10.819	9254	1,16
Alahan-Antakya	2.132	1941	1,09
Kampüs-Antakya	11.331	11644	0,97
Anayazı Antakya	1.748	2754	0,63
Dikmece-Antakya	480	619,92	0,77
Ovakent-Antakya	406	1104,96	0,37
Karaali-Antakya	568	601,92	0,94
Toplam	**27.484**	**27920**	**0,98**

Tablo 12 Araç Başına Tur Sayıları

Hattın Adı	Araç Sayısı	Tur Sayısı	Araç Başına Tur sayısı
Serinyol-Antakya	69	215	3,11
Alahan-Antakya	13	51	3,92
Kampüs-Antakya	100	313	3,13
Anayazı Antakya	14	76	5,42
Dikmece-Antakya	8	24	3
Ovakent-Antakya	14	24	1,71
Karaali-Antakya	9	22	2,44
Toplam	**227**	**725**	**3,2**

Tablo 13Sefer Başına Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Sefer Sayısı	Sefer Başına Yolcu Sayısı
Serinyol-Antakya	10.819	430	25
Alahan-Antakya	2.132	102	21
Kampüs-Antakya	11.331	626	18,1
Anayazı Antakya	1.748	152	11,5
Dikmece-Antakya	480	48	10
Ovakent-Antakya	406	48	8,45
Karaali-Antakya	568	44	12,9
Toplam	**27.484**	**1450**	**18,95**

Tablo 14 Hatlardaki İşletme Verimlilik Değerleri

Hattın Adı	Araç başına yapılan Km	Hatlarda Kapasite Kullanım oranı
Serinyol-Antakya	134	53,6
Alahan-Antakya	149	59,6
Kampüs-Antakya	117	46,8
Anayazı Antakya	197	78,8
Dikmece-Antakya	77,49	31
Ovakent-Antakya	78,92	31,6
Karaali-Antakya	66,88	26,8
Ortalama	**123**	**49,2**

2.4. Harbiye Bölgesi Mevcut Durum Analizi

Harbiye Bölgesinde, mevcut durumda toplu taşım hizmeti 8 kooperatife ait 372 işletmeci tarafından verilmektedir. Kooperatiflerin mevcut durumdaki toplu taşım verileri Hatay Ulaşım Ana Planı verileri olup ve veriler; Tablo 15, Tablo 16, Tablo 17, Tablo 18, Tablo 19 Tablo 20 ve Tablo 21'de gösterilmektedir.

Tablo 15 Harbiye Bölgesinde Toplu Taşım Faaliyeti Gösterilen Güzergahlarda Yolcu Sayıları

Hattın adı	Yolcu sayısı
Yukarı Harbiye-Antakya	8.094
Aşağı Harbiye- Antakya	1.092
Döver- Antakya	557

Sinanlı- Antakya	456
Balıklıdere-Antakya	437
Gümüşgöze- Antakya	5.538
Bahçeköy- Antakya	438
Dursunlu- Antakya	538
Değirmenyolu- Antakya	618
Toplam	**17.768**

Tablo 16 Harbiye Bölgesindeki Güzergahlarda Taşınan Araç Başına Yolcu Sayıları

Hattın adı	Günlük ortalama yolcu Sayısı	Hatta Çalışan Araç Sayısı	Araç Başına Taşınan Günlük Yolcu Sayısı
Yukarı Harbiye-Antakya	8.094	151	53
Aşağı Harbiye- Antakya	1.092	30	36
Döver- Antakya	557	19	29
Sinanlı- Antakya	456	25	18
Balıklıdere-Antakya	437	9	49
Gümüşgöze- Antakya	5.538	88	63
Bahçeköy- Antakya	438	15	29
Dursunlu- Antakya	538	12	45
Değirmenyolu- Antakya	618	23	27
Toplam/Ortalama	**17.768**	**372**	**39**

Tablo17Güzergahlarda Yapılan Günlük Tur Sayıları ve Araç Başı Km Değerleri

Hattın Adı	Hattın Uzunluğu km	Tur Sayısı	Hatta Gün İçinde Yapılan Toplam Km	Araç Başına Yapılan Toplam Km
Yukarı Harbiye-Antakya	28	268	7.453	49,35
Aşağı Harbiye-Antakya	29	40	1.160	38,68
Döver- Antakya	32,09	23	738,07	38,84
Sinanlı- Antakya	39,83	24	955,92	38,23
Balıklıdere-Antakya	38,65	23	888,95	98,77

Gümüşgöze- Antakya	31	195	5.953	67,65
Bahçeköy- Antakya	28,39	27	766,53	51,1
Dursunlu- Antakya	18,71	28	523,88	43,65
Değirmenyolu-Antakya	28,67	34	974,78	42,38
Toplam/Ortalama		**662**	**27.376**	**52,07**

Tablo 18 Kilometre Başına Taşınan Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Hatta gün içinde yapılan Toplam Km	Km Başına Taşınan Yolcu Sayısı
Yukarı Harbiye-Antakya	8.094	7453,08	1,09
Aşağı Harbiye- Antakya	1.092	1160,4	0,94
Döver- Antakya	557	738,07	0,75
Sinanlı- Antakya	456	955,92	0,48
Balıklıdere-Antakya	437	888,95	0,49
Gümüşgöze- Antakya	5.538	5953,35	0,93
Bahçeköy- Antakya	438	766,53	0,57
Dursunlu- Antakya	538	523,88	1,03
Değirmenyolu- Antakya	618	974,78	0,63
Toplam/Ortalama	**17.768**	**19416**	**0,92**

Tablo 19 Araç Başına Tur Sayıları

Hattın Adı	Araç Sayısı	Tur Sayısı	Araç Başına Tur sayısı
Yukarı Harbiye-Antakya	151	268	1,77
Aşağı Harbiye- Antakya	30	40	1,33
Döver- Antakya	19	23	1,21
Sinanlı- Antakya	25	24	0,96
Balıklıdere-Antakya	9	23	2,56
Gümüşgöze- Antakya	88	195	2,22
Bahçeköy- Antakya	15	27	1,80

Dursunlu- Antakya	12	28	2,33
Değirmenyolu- Antakya	23	34	1,48
Toplam/Ortalama	**372**	**662**	**1,78**

Tablo 20Sefer Başına Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Sefer Sayısı	Sefer Başına Yolcu Sayısı
Yukarı Harbiye-Antakya	8094	536	15,10
Aşağı Harbiye- Antakya	1092	80	13,65
Döver- Antakya	557	46	12,10
Sinanlı- Antakya	456	48	9,50
Balıklıdere-Antakya	437	46	9,50
Gümüşgöze- Antakya	5538	390	14,20
Bahçeköy- Antakya	438	54	8,11
Dursunlu- Antakya	538	56	9,60
Değirmen Yolu- Antakya	618	68	9,08
Ortalama	**17.768**	**1324**	**13,41**

Tablo 21 Hatlardaki İşletme Verimlilik Değerleri

Hattın Adı	Araç Başına Kilometre	Hatlarda Kapasite Kullanım oranı
Yukarı Harbiye-Antakya	49,35	19,74
Aşağı Harbiye- Antakya	38,68	15,47
Döver- Antakya	38,84	15,53
Sinanlı- Antakya	38,23	15,29
Balıklıdere-Antakya	98,77	39,5
Gümüşgöze- Antakya	67,65	27,06
Bahçeköy- Antakya	51,1	20,44
Dursunlu- Antakya	43,65	17,46
Değirmenyolu- Antakya	42,38	16,95
Ortalama	**52**	**20,87**

2.5. Samandağ Bölgesi Mevcut Durum Analizi

Samandağ Bölgesi iki farklı aşamada değerlendirilmiş olup, toplu taşım rehabilitasyon çalışmasının uygulandığı kooperatifler, Samandağ-Antakya ilçeleri arasında toplu taşıma faaliyeti gösteren kooperatiflerdir. Mevcut durumda toplu taşım hizmeti 10 kooperatife ait 336 işletmeci tarafından verilmektedir. Kooperatiflerin mevcut durumdaki toplu taşım verileri Hatay Ulaşım Ana Planı verileri olup ve veriler; Tablo 22, Tablo 23, Tablo 24, Tablo 25, Tablo 26 Tablo 27 ve Tablo 28'de gösterilmektedir.

Tablo 22 Samandağ Bölgesinde Toplu Taşım Faaliyeti Gösterilen Güzergahlarda Yolcu Sayıları

Hattın adı	Yolcu sayısı
Samandağ – Antakya	5.966
Samandağ – Antakya	4.071
Samandağ – Antakya	4.294
Yeniçağ – Antakya	582
Büyükçat – Antakya	328
Değirmenbaşı – Antakya	580
Aknehir – Antakya	515
Tavla – Antakya	484
Çanakoluk – Antakya	451
Yaylıca – Antakya	1.422
Tomruksuyu – Antakya	772
Fidanlı – Antakya	264
Toplam	**19.729**

Tablo 23 Samandağ Bölgesindeki Güzergâhlarda Taşınan Araç Başına Yolcu Sayıları

Hattın adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Hatta Çalışan Araç Sayısı	Araç Başına Taşınan Günlük Yolcu Sayısı
Samandağ – Antakya	5.966	116	51
Samandağ – Antakya	4.071	43	95
Samandağ – Antakya	4.294	40	107
Yeniçağ – Antakya	582	12	48,5
Büyükçat – Antakya	328	16	20,5
Değirmenbaşı – Antakya	580	21	27,6
Aknehir – Antakya	515	26	19,8
Tavla – Antakya	484	15	32,2
Çanakoluk – Antakya	451	27	16,7
Yaylıca – Antakya	1.422	9	158
Tomruksuyu – Antakya	772	9	85,7
Fidanlı – Antakya	264	8	33
Toplam/Ortalama	**19.729**	**348**	**58**

Tablo 24Güzergahlarda Yapılan Günlük Tur Sayıları ve Araç Başı Km Değerleri

Hattın Adı	Hattın Uzunluğu	Tur Sayısı	Hatta Gün İçinde Yapılan Toplam Km	Araç Başına Yapılan Toplam Km
Samandağ – Antakya	62	163	10.162	87,6
Samandağ – Antakya	62	115	7.130	165,81
Samandağ – Antakya	62	113	7.006	175,15
Yeniçağ – Antakya	46,36	28	1298,08	108,17
Büyükçat – Antakya	47,9	18	862,2	53,88
Değirmenbaşı – Antakya	45,72	26	1188,72	56,6
Aknehir – Antakya	55,2	22	1214,4	46,7
Tavla – Antakya	28,2	40	1128	75,2
Çanakoluk – Antakya	39	23	897	33,22
Yaylıca – Antakya	46	45	2.059	228,8
Tomruksuyu – Antakya	49,38	20	987,6	109,73
Fidanlı – Antakya	48,04	12	576,48	72,06
Toplam/Ortalama		**625**	**34509,68**	**101,08**

Tablo 25 Kilometre Başına Taşınan Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Hatta Gün İçinde Yapılan Toplam Km	Km Başına Taşınan Yolcu Sayısı
Samandağ – Antakya	5.966	10162	0,59
Samandağ – Antakya	4.071	7130	0,57
Samandağ – Antakya	4.294	7006	0,61
Yeniçağ – Antakya	582	1298,08	0,45
Büyükçat – Antakya	328	862,2	0,38
Değirmenbaşı – Antakya	580	1188,72	0,49
Aknehir – Antakya	515	1214,4	0,42
Tavla – Antakya	484	1128	0,43
Çanakoluk – Antakya	451	897	0,50
Yaylıca – Antakya	1.422	2059,2	0,69
Tomruksuyu – Antakya	772	987,6	0,78
Fidanlı – Antakya	264	576,48	0,46
Toplam/Ortalama	**19.729**	**34509,68**	**0,57**

Tablo 26 Araç Başına Tur Sayıları

Hattın Adı	Araç Sayısı	Tur Sayısı	Araç Başına Tur Sayısı
Samandağ – Antakya	116	163	1,40
Samandağ – Antakya	43	115	2,67
Samandağ – Antakya	40	113	2,82
Yeniçağ – Antakya	12	28	2,33

Büyükçat – Antakya	16	18	1,12
Değirmenbaşı – Antakya	21	26	1,23
Aknehir – Antakya	26	22	0,84
Tavla – Antakya	15	40	2,66
Çanakoluk – Antakya	27	23	0,85
Yaylıca – Antakya	9	45	5,00
Tomruksuyu – Antakya	9	20	2,22
Fidanlı – Antakya	8	12	1,50
Toplam/Ortalama	**336**	**625**	**2,05**

Tablo 27Sefer Başına Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Sefer Sayısı	Sefer Başına Yolcu Sayısı
Samandağ – Antakya	5.966	326	18,30
Samandağ – Antakya	4.071	230	17,70
Samandağ – Antakya	4.294	226	19,00
Yeniçağ – Antakya	582	56	10,30
Büyükçat – Antakya	328	36	9,10
Değirmenbaşı – Antakya	580	52	11,10
Aknehir – Antakya	515	44	11,70
Tavla – Antakya	484	80	6,00
Çanakoluk – Antakya	451	46	9,80
Yaylıca – Antakya	1.422	90	15,80
Tomruksuyu – Antakya	772	40	19,30
Fidanlı – Antakya	264	24	11,00
Toplam/Ortalama	**19.729**	**1250**	**15,70**

Tablo 28 Hatlardaki İşletme Verimlilik Değerleri

Hattın Adı	Araç Başına Yapılan Km Değeri	Hatlarda İşletme Verimliliği
Samandağ – Antakya	92	35,95
Samandağ – Antakya	166	66,32
Samandağ – Antakya	152	60,92
Yeniçağ – Antakya	108,17	43,27
Büyükçat – Antakya	53,88	21,55
Değirmenbaşı – Antakya	59,43	23,77
Aknehir – Antakya	57,82	23,12
Tavla – Antakya	75,2	30,08
Çanakoluk – Antakya	33,22	13,28
Yaylıca – Antakya	229	91,52
Tomruksuyu – Antakya	109,73	43,89

Fidanlı – Antakya	72,06	28,82
Ortalama	**101**	**40,2**

2.6. Antakya Defne Merkez Bölgesi Mevcut Durum Analizi

Antakya ve Defne İlçelerinin merkez bölgesinde toplu taşım faaliyeti gösteren kooperatifler rehabilitasyon çalışmalarına tabi tutulmuştur. Mevcut durumda toplu taşım hizmeti 9 kooperatife ait 404 işletmeci tarafından verilmektedir. Kooperatiflerin mevcut durumdaki toplu taşım verileri Hatay Ulaşım Ana Planı verileri olup ve veriler; Tablo 29, Tablo 30, Tablo 31, Tablo 32, Tablo 33 Tablo 34 ve Tablo 35'de gösterilmektedir.

Tablo 29 Antakya Defne Merkez Bölgesinde Toplu Taşım Faaliyeti Gösteren Kooperatiflerin Yolcu Sayıları

Kooperatifler	Günlük Yolcu Sayıları
Karaksı Kooperatifi	2064
Ekinci Kooperatifi	1624
Narlıca Kooperatifi	4077
Yeni Sanayi Kooperatifi	2682
SSK Hastanesi Kooperatifi	3184
Maşuklu Kooperatifi	996
Çekmece Kooperatifi	3898
Baltacık Kooperatifi	4043
Halk Otobüsleri Kooperatifi	53862
Toplam	**76430**

Tablo 30 Antakya Defne Merkez Bölgesindeki Güzergahlarda Faaliyet Gösteren Kooperatiflerin Araç Başına Yolcu Sayıları

Kooperatifler	Toplu Taşım Hizmeti Veren Araç Sayısı	Günlük Yolcu Sayıları	Araç Başına Taşınan Yolcu Sayısı
Karaksı Kooperatifi	23	2064	90
Ekinci Kooperatifi	34	1624	48
Narlıca Kooperatifi	42	4077	97
Yeni Sanayi Kooperatifi	47	2682	57
SSK Hastanesi Kooperatifi	55	3184	58
Maşuklu Kooperatifi	29	996	34
Çekmece Kooperatifi	50	3898	78
Baltacık Kooperatifi	20	4043	202
Halk Otobüsleri Kooperatifi	104	53862	518
Toplam/Ortalama	**404**	**76430**	**189,18**

Tablo 31Güzergahlarda Yapılan Günlük Tur Sayıları ve Araç Başı Km Değerleri

Hattın Adı	Hattın Uzunluğu	Tur Sayısı	Hatta Gün İçinde Yapılan Toplam Km	Araç Başına Yapılan Toplam Km
Karaksı Antakya	29,32	60	1759,2	76,48
Ekinci Antakya	14,9	80	1192	35,05
Narlıca Antakya	25,49	102	2599,98	123,76
Narlıca Antakya (Reyhanlı Yolu)	17,8	104	1851,2	88,15
Yeni Sanayi Antakya	11,04	180	1987,2	42,28
Ssk Hastanesi Antakya	19,78	160	3164,8	57,54
Maşuklu Antakya	24,7	76	1877,2	64,73
Çekmece Hat 1-Antakya	25,71	118	3304	132,16
Çekmece Hat 2-Antakya	26,56	30	796,8	31,87
Baltacık- Antakya	21,67	133	2882,11	144,1
Halk Otobüsleri (25 Güzergahın Ortalama Değerleri)	27	935	25245	237,2
Toplam/Ortalama		**1978**	**46659,49**	**115,49**

Tablo 32 Kilometre Başına Taşınan Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Hatta gün içinde yapılan Toplam Km	Km Başına Taşınan Yolcu Sayısı
Karaksı Antakya	2064	1759,2	1,17
Ekinci Antakya	1624	1192	1,36
Narlıca Antakya	2475	2599,98	0,95
Narlıca Antakya (Reyhanlı Yolu)	1602	1851,2	0,87
Yeni Sanayi Antakya	2682	1987,2	1,35
Ssk Hastanesi Antakya	3184	3164,8	1,01
Maşuklu Antakya	996	1877,2	0,53
Çekmece Hat 1-Antakya Merkez	3304	3033,78	1,09
Çekmece Hat 2-Antakya Merkez	594	796,8	0,75
Baltacık- Antakya Merkez	4043	2882,11	1,40
Halk Otobüsleri (25 Güzergahın Ortalama Değerleri)	53862	25245	2,13
Toplam/Ortalama		**46389,27**	**12,61**

Tablo 33 Araç Başına Tur Sayıları

Hattın Adı	Toplu Taşım Hizmeti Veren Araç Sayısı	Tur Sayısı	Araç Başına Tur Sayısı
Karaksı Antakya	23	60	2,61
Ekinci Antakya	34	80	2,35
Narlıca Antakya	21	102	4,86
Narlıca Antakya (Reyhanlı Yolu)	21	104	4,95
Yeni Sanayi Antakya	47	180	3,83
Ssk Hastanesi Antakya	55	160	2,91
Maşuklu Antakya	29	76	2,62
Çekmece Hat 1- Antakya	40	118	2,95
Çekmece Hat 2- Antakya	10	30	3,00
Baltacık- Antakya	20	133	6,65
Halk Otobüsleri (25 Güzergahın Ortalama Değerleri)	104	935	8,99
Toplam/Ortalama	**404**	**1978**	**4,90**

Tablo 34Sefer Başına Yolcu Sayısı Değerleri

Hattın Adı	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Tur Sayısı	Sefer Sayısı	Sefer Başına Yolcu Sayısı
Karaksı Antakya	2064	60	120	17,20
Ekinci Antakya	1624	80	160	10,15
Narlıca Antakya	2475	102	204	12,13
Narlıca Antakya (Reyhanlı Yolu)	1602	104	208	7,70
Yeni Sanayi Antakya	2682	180	360	7,45
Ssk Hastanesi Antakya	3184	160	320	9,95
Maşuklu Antakya	996	76	152	6,55
Çekmece Hat 1- Antakya Merkez	3304	118	236	14,00
Çekmece Hat 2- Antakya Merkez	594	30	60	9,90
Baltacık- Antakya Merkez	4043	133	266	15,20
Halk Otobüsleri (25 Güzergahın Ortalama Değerleri)	53862	935	1870	28,80
Toplam/Ortalama	**76430**	**1978**	**3956**	19,32

Tablo 35 Hatlardaki İşletme Verimlilik Değerleri

Hattın Adı	Araç Başına Yapılan Toplam Km	Hatlarda İşletme Verimliliği
Karaksı Antakya	76,48	30,592
Ekinci Antakya	35,05	14,02
Narlıca Antakya	123,76	49,504
Narlıca Antakya (Reyhanlı Yolu)	88,15	35,26
Yeni Sanayi Antakya	42,28	16,912
Ssk Hastanesi Antakya	57,54	23,016
Maşuklu Antakya	64,73	25,892
Çekmece Hat 1- Antakya	132,16	52,864
Çekmece Hat 2- Antakya	31,87	12,748
Baltacık- Antakya	144,1	57,64
Halk Otobüsleri (25 Güzergahın Ortalama Değerleri)	237,2	94,88
Ortalama	**93,94**	**37,58**

2.7. Toplu Taşıma Rehabilitasyon Çalışmalarında Bölgesel Öneriler

Toplu taşım rehabilitasyon çalışmaları 5 aşamada gerçekleştirilmiş olup bu aşamalar sırasıyla şu şekilde sıralanmaktadır.

- İşleticilerin mevcut durumdaki araç sayıları optimum seviyeye getirilerek; amortisman, bakım onarım, ilk yatırım, personel, sigorta, akaryakıt vb. giderlerinin minimum seviyede tutulması hedeflenmiştir.
- Optimum seviyeye çekilen araç sayıları sayesinde güzergâhların yeniden düzenlenerek şehrin merkezi noktalarına temas etmesi sağlanmıştır.
- İşleticilerin aynı havuz yapısı altında toplanması sağlanarak rekabetin önüne geçilmiş ve yolcu kavgaları ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Bu sayede birbirine entegre olan, aktarma indirimlerinin tanımlı olduğu ve ücretsiz binişlerin yer aldığı bir sistem kurulması planlanmaktadır.
- İşleticilerin bireysel çalışmasının önü kesilerek kurumsal kimlik kazandırılması amaçlanmıştır.(Akaryakıtlarının, yedek parçalarının, bakım onarımlarının vb. giderlerinin tek yerden yapılarak işletme giderleri minimize edilmesi planlanmaktadır)
- Şoförlerin sosyal hakları yeniden düzenlenerek daha iyi çalışma ortamında toplu taşıma faaliyeti göstermesi planlanmaktadır. (Eğitim, tatil, izin, maaş vb. haklar)

Mevcut durum analizlerinden elde edilen veriler sayesinde güzergâhlarda olması gereken;

- Araç sayısı,
- Araç ebatları,
- Sefer sıklığı,
- Sefere başlama ve bitiş süresi, vb. gibi toplu taşıma yapısının önemli dinamiklerine çözüm önerileri getirilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda 1392 adet toplu taşım aracı rehabilitasyon çalışmaları sonrası 486 adet araca indirgenerek yaklaşık olarak % 65 oranında araç sayıları azaltılmıştır.

Tablo 36Toplu Taşıma Rehabilitasyon Sonrası Araç Sayıları

DÖNÜŞÜM BÖLGESİ	MEVCUT ARAÇ SAYISI	DÖNÜŞÜM SONRASI ARAÇ SAYISI
Harbiye	372	68
Üniversite-Serinyol	227	79
Belen	53	53
Antakya-Defne Merkez	404	173
Samandağ-Defne-Antakya İlçeler Arası	336	113
TOPLAM	**1392**	**486**

Toplu taşım rehabilitasyon çalışmalarının Hatay genelinde tamamlanmasıyla birlikte;

- Şehir merkezindeki trafik yoğunluğunun azalması,
- Araç sayısının azalmasına bağlı olarak çevre kirliliğinin azalması,
- Gürültü ve görüntü kirliliğinin azalması,
- 65 yaş ve üstü, %40 ve üstü engelli vatandaşların, toplu taşım faaliyetlerinden ücretsiz faydalanması,
- Toplu taşım hizmetlerine belirli standartların getirilmesi,
- Yeni güzergâh planlamalarının daha kolay yapılması,
- Vatandaşların bireysel olarak araç kullanımının önüne geçilmesi,
- Toplu taşım sistemini daha verimli ve sürdürebilir bir hale getirilmesi,
- Elektronik bilet sistemine geçilmesi,
- Toplu taşım sisteminin bir bütün halinde bir birine entegre olması,
- Hatlarda aktarma indirimlerinin tanımlanması, gibi birçok olumlu durum söz konusudur.

References

1. Polat, M.İ. (2019). Hatay İli Antakya ve Defne Merkez İlçeleri Toplu Taşıma Sistemlerinin Analizi ve Rehabilitasyonu. Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Ağın, C. (2015). Türkiye'de Şehirlerdeki Toplu Ulaşım Sistemleri Sorunlarının Çözümlenmesinde Toplumsal Davranışların Etkilerinin Planlama Süreci Kapsamında İncelenmesi. İzmir-Karşıyaka Örneği. İzmir Karşıyaka Örneği. Yüksek Lisans Tezi. DokuzEylülÜniversitesi, Fen.
3. Baştürk, G. (2014). Kent içi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması. Ulaştırma Haberleşme Uzmanlığı Tezi.
4. Cansız, O. F.,& Polat, M. I. (2018). Analysis of Public Transport System, Hatay Example: Detection of ExistingSystem. International Journal of Advanced EngineeringResearchandScience, 5(5).
5. Öztürk, A., Uzuner, A., Akman, M., & Tüzün, S. (2015). Toplu taşıma araçlarını kullanan sürücülerde tükenmişlik durumu: Kesitsel bir çalışma. Türkiye Aile Hekimliği Dergisi, 19(1), 22-30.
6. Hatay Ulaşım Ana Planı verileri (2016).

Bina Üretim Sürecinde Kullanılan Yalın Tekniklerine Yönelik Literatür Araştırması

Gizem Can[1], Elçin Taş[2]

[1,2] Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
e-posta: gizemmcan@gmail.com, tase@itu.edu.tr

Özet

İnşaat projelerinin nasıl ve hangi yöntemle yapılacağı ile birlikte nasıl yönetileceğine de doğru karar verilmesi gerekmektedir. Müşteri memnuniyetini göz önünde bulunduracak şekilde; projenin süre, maliyet, kalite, kapsam dengesini sağlamak ve israfları azaltmak bir inşaat projesi için oldukça önemlidir.

Yalın düşünce, israflardan kurtularak maliyetleri düşürmek ve aynı zamanda müşteriye sunulan değeri artırmayı hedefleyerek sürekli ilerlemeyi esas almaktadır. İnşaat sektöründe de süre, maliyet, kalite, kapsam yönetimini doğru yapabilmek için kaynakları doğru kullanmak ve aynı zamanda israfları azaltmak oldukça önemli bir hale gelmiştir. Bu nedenle de yalın düşünce, yalın inşaat yönetimi kapsamında değerlendirilmeye başlanmıştır. Yalın düşüncenin, üretim sektöründe doğru bir şekilde uygulanabilmesi için ise bazı yalın teknikleri geliştirilmiştir. Bu noktada, yapılacak bu çalışma ile amaçlanan, bina üretim süreci boyunca kullanılabilecek olan mevcut yalın tekniklerini literatür araştırması yaparak tespit etmektir. Bu şekilde, yalın düşünceye ait hangi tekniklerin bina üretim sürecinde kullanılabileceğine yönelik bir farkındalık yaratılacak ve inşaat projelerinin yalın düşünce kapsamında yönetilmesine katkı sağlanacak bir çalışma ortaya konacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yalın Düşünce, Yalın İnşaat, Yalın Teknikler, İsraf, Bina Üretim Süreci

1. Giriş

Günümüzde, inşaat sektöründeki birçok firma, projeleri daha düşük maliyetlerde bitirebilmek ve projede gecikme yaşamamak için kaliteden ödün vermektedir. Bu firmalar, proje yönetimini doğru yapamadıkları için; maliyet, süre ve kalite dengesinde sorunlar yaşamaktadırlar. Maliyet ve süre kontrolünü yaparken, kalite standartlarından ödün vermek veya projenin değerini düşürecek adımlar atmak hatalı bir yaklaşım biçimidir.

İnşaat sektörünün hem yüksek rekabet ortamı içermesi hem de ekonomik krizlerden kolayca etkilenmeye açık bir yapısının olması, proje yönetiminin sağlıklı yürütülmesini zorunlu hale getirmektedir. Müşteri taleplerini doğru anlamak ve bu talepleri ilk seferde doğru bir şekilde tamamlayabilmek oldukça önemlidir. Talepleri de, planlanan süre ve bütçede, müşteri memnuniyetini sağlayacak kalitede karşılamak bir inşaat firmasının ana hedefidir. Maliyetlere ve müşteriye yansıyan hataların ve israfların minimize edilmesi ve gecikmelerin önlenmesi inşaat firmasının sektör içerisindeki kalıcılığını artıracaktır. Barış Lostuvalı (2011), bu durumu yalın düşüncenin en temel anahtarı olarak yorumlamaktadır.

İnşaat sektörünün, israflara oldukça açık bir sektör olduğu görülmektedir. Bina üretim süreci boyunca, fiziksel ve fiziksel olmayan çok fazla israf ortaya çıkmaktadır. Ekipman, malzeme, işgücü, sermaye gibi bina üretim sürecini etkileyen birçok israf faktörünün doğru analiz edilememesi ve yönetilememesi sonucunda süre ve maliyet israfları oluşmaktadır. Bu nedenle, bina üretim süreci boyunca tüm israfların analiz edilerek, doğru tekniklerle bu israfların minimize edilmesi önemlidir. Bu çalışma kapsamında bina üretim süreci, inşaat yapım öncesi, yapım sırası ve yapım sonrası olarak ele alınacak ve yalın teknikleri bu süreçlere göre irdelenecektir.

2. Yalın Düşünce ve Yalın İnşaat

Yalın düşünce, üretim süresi boyunca israfları analiz edip yöneterek verimlilikleri artırmayı hedefler. Bununla beraber yalın düşünce, maliyetleri azaltarak, müşteriye sunulan değeri artırmayı ve sürekli olarak ilerlemeyi esas alır. Japonya'da üretim sektöründe ortaya çıkan yalın üretim felsefesine göre yalın anlayış, temel olarak doğru şeyleri, doğru zamanda, doğru yerde, doğru miktarda, israfları minimize ederek, değeri koruyarak ve değişime açık olacak şekilde gerçekleştirmek olarak tanımlanmaktadır. (Kempton, 2006).

Yalın düşünce, ilk olarak 1980'lerin sonunda otomotiv sektöründe yer alan Toyota tarafından ortaya atılmıştır. Toyota, tarihinde 3 önemli kriz atlatmıştır. Bu krizleri, mevcut durumlarını koruyacak şekilde, yalın düşünceyle birlikte atlatmış ve her defasında daha da ileri gidebilmiştir. Japonya'dan sonra üretim sektörü başta olmak üzere Amerika, İngiltere, Avustralya, Danimarka gibi ülkelerde yalın üretim anlayışı ele alınmıştır. Günümüze gelene kadar, üretim sektörünün giderek kendini geliştirmesine rağmen, inşaat sektörü yenilikçi yaklaşımlara direnmiş, durağan kalmış, üretkenlik, bütçe ve süre konusunda problemler yaşamaya devam etmiştir.

Üretim sektöründe yenilikçi bir yaklaşım olarak kabul edilen yalın düşünce 1990'larda gelişmiş ülkelerin inşaat sektöründe irdelenmeye başlanmıştır. Bu şekilde yalın inşaat anlayışı ortaya çıkmıştır. Yalın inşaat kavramının 1990'larda irdelenmeye başlanması, 2000lere doğru araştırmaların bu yönde ilerlemesini ve 2000'den sonra da odak alınmaya başlamasına yol açmıştır. Günümüzde üretim sektöründe çokça konu alınan yalın düşünce, inşaat sektörünün gündeminde de önemli bir noktaya taşınmıştır.

Yalın inşaat, yalın düşünceyi ve prensiplerini benimseyerek, bina üretim süreci boyunca inşaatın doğasına uygun yalın yönetim teknikleriyle bu düşünceyi etkin kılmayı hedefleyen bir anlayıştır. Yalın inşaata yönelik literatürde birçok tanımlama bulunmaktadır. Koskela (1992) yalın inşaatı; üretkenlik, kalite gibi göstergelerin hızlı ve yeni prensiplerle gelişip yayılmasını amaçlayan ve birçok avantajı olan yeni bir üretim felsefesi olarak tanımlamıştır. Howell (1999)'e göre yalın inşaat; mevcut yöntemlerle; her şeyi en az şekilde kullanarak müşteri memnuniyetini sağlama olarak ifade etmiştir. Yalın inşaatı, Lukowski (2010); yalın üretim prensiplerini ve yalın düşünceyi esas alarak çevreyi yeniden yapılandırma olarak tanımlarken; Yahya ve Mohamad (2011), müşterinin ihtiyaçlarını; israfları uzaklaştırarak, doğru prensiple, doğru kaynakla ve doğru zamanda ilk seferinde karşılayacak şekilde bina üretim sürecini yönetmeyi ve süreci geliştirme olarak tanımlamaktadır. Malezyalı araştırmacılar olan Yahya ve Mohamad (2011), yalın inşaatın tüm bina üretim sürecini ilgilendiren bir anlayış olduğunu ifade etmiş; yalın düşüncenin, müşteri ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılanmayı ve bunu yaparken de süreçteki tüm israfları uzaklaştırmayı esas aldığını belirtmiştir.

Günümüzde, inşaat sektörünün gelişmesi, farklı ölçeklerde birçok projenin üretilmesi; doğru ve verimli yönetim anlayışının benimsenmesini önemli hale getirmektedir. İnşaat sektöründe de müşteri memnuniyetini sağlamak, bunu devam ettirmek; bina üretim sürecini doğru bir şekilde analiz etmek ve süreç boyunca ortaya çıkan israfları yönetebilmek gereklidir. Bina üretim süreci boyunca ortaya çıkan israfları kontrol altında tutarak süreç boyunca proje başarısının ve verimliliğinin artırılacağı düşünülmektedir. Ballard ve Howell (2004), yalın inşaatın ortaya çıkmasındaki en temel sebeplerini 4 ana grupta toplamıştır:

1. Toyota üretim sistemindeki başarı
2. İnşaat projelerindeki performans kaynaklı memnuniyetsizlikler
3. Proje yönetimini teorik ve sağlam temellere oturtma çabalarının devam etmesi
4. Projelerdeki geleneksel yönetim anlayışı ve uygulamalarındaki çelişkilerin ortaya çıkması

Sektördeki bu ihtiyaçlar ve yalın düşüncenin başarısı irdelendiğinde, sektörün yalın düşünceyi esas alacak şekilde ilerlemesi önemli hale gelmektedir.

Yalın inşaat konusu tüm dünyada hızla gelişmeye başlamıştır. Amerika'da faaliyet gösteren Amerika Yalın Enstitü Derneği, Amerika içinde sayıları hızla artan sayıda şubeler açmaktadır. İngiltere, Almanya ve Fransa'da kurulan Yalın İnşaat Derneklerine İspanyol Derneği de katılmıştır. Halen Amerika ve İngiltere dışında Almanya, Danimarka, Avustralya, Brezilya, Çin, Polonya, Hindistan, Macaristan, İtalya'da da Yalın İnşaat Enstitüleri faaliyet göstermektedir. Türkiye'de ise 2002 yılında, yalın felsefeyi ve düşünceyi ülke genelinde benimsetmek ve yalın uygulamaları yaygınlaştırabilmek adına kurulan ve ağırlıklı olarak sanayi sektöründe faaliyet gösteren Yalın Enstitü Derneği, 2016 yılı itibari ile inşaat sektöründe yalın düşüncenin anlaşılması ve uygulanmasına yönelik hizmet vermeye başlamıştır. Görüldüğü gibi, yalın düşüncenin ülkemizdeki inşaat sektörüne girişi çok uzak bir zaman değildir.

Yalın düşüncenin inşaat sektöründe uygulanmasının birçok faydası bulunmaktadır. Daha güçlü müşteri ilişkileri ve yönetilebilen israflar bu faydaların en önemlileridir. Bunlara bağlı olarak; maliyet ve sürelerin kontrol edilmesi ve azaltılması, tekrar eden daha az işler, güçlü ekip çalışmaları, kalitenin artması, projeye yönelik memnuniyetin artması, proje risk yönetiminin gelişmesi gibi önemli avantajlar da bulunmaktadır. İnşaat firmalarının özellikle, proje maliyetinden ve sürecinden kazanç sağlaması, yalın inşaatı daha da cazip hale getirmektedir. Colorado'da aktif olarak inşaat projeleri üreten bir yapım firması (Neenan Company), yalın düşünceye ait bazı prensipleri firma bünyesinde uygulayarak, projelerinde süre ve maliyet açısından %30 kazanç sağladıklarını açıklamıştır. Benzer bir şekilde, Barış Lostuvalı (2012), inşaat sektöründe yalın düşünce ile daha etkin, daha verimli ve daha düşük maliyetlerle proje üretmenin mümkün olduğunu ve hatta yalın inşaat ile maliyetlerde %30 azalmanın söz konusu olduğunu belirtmektedir. Tüm bu avantajlar ve inşaat sektöründeki güncel eksiklikler düşünüldüğünde, özellikle ülkemizde yalın inşaatın daha çok irdelenmesi ve uygulanabilir hale getirilmesi önemlidir.

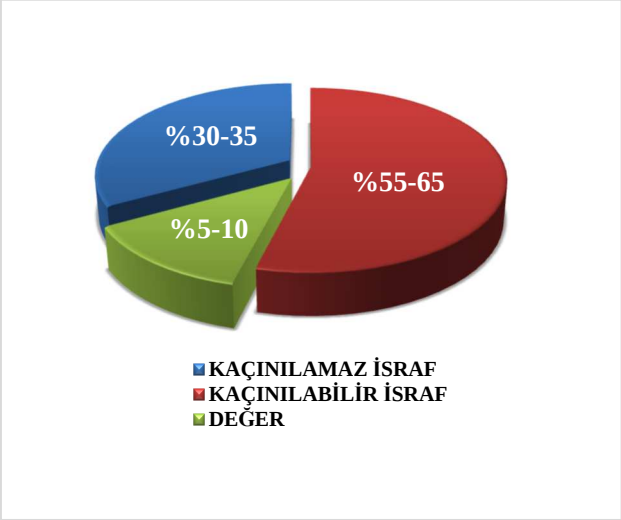
3. Yalın İnşaat Prensipleri

Yalın düşünceyi benimsemek ve yalınlaşmak için, yalın düşünceye ait ana prensipleri bilmek ve bunlar doğrultusunda inşaat sektörüne uygun uyarlamalar yapmak gerekmektedir. (Womack ve

diğerleri, 1996; Bashir ve diğerleri, 2011) yalın anlayışın 5 ana prensibini aşağıda açıklandığı gibi ortaya koymuştur. Bu prensipler aynı zamanda yalın inşaat prensipleri olarak da kabul edilmektedir.

1. **Değer:** Yalın düşüncenin en temel noktası değer anlayışıdır. Değer, müşteri tarafından ortaya konan bir beklentidir. Müşterinin ihtiyaçlarını doğru ve tam bir şekilde tanımlamak önemlidir. Değeri karşılamak ve artırabilmek için, ortaya konacak olan her türlü hizmet ve ürüne müşteri açısından bakabilmek gerekir. Bu hizmet ya da ürün (inşaat sektöründe yapı) bu araştırma kapsamında "bina" olarak ifade edilecektir. Binanın planlanan sürede, olması gereken maliyette ve kalitede müşteri beklentisine göre tam olarak sunabilmek "değer" anlayışını anlamlı hale getirmektedir.

2. **Değer Akışı:** Değer akışı, müşteriye istediği binayı teslim edene kadar yapılan tüm faaliyetler ve bu faaliyetleri gerçekleştirmek için yaşanan iyileştirme sürecinin tamamıdır. Bu süreç boyunca gerçekte 3 ana faaliyet söz konusudur.



Şekil 1: Üretim sürecindeki değer ve israf oranları
(https://yalindanisman.com/yalin-nedir/temel-prensipler/deger-akis/)

Bunlardan ilki Şekil-1'deki %5-10'luk oranı oluşturan yani doğrudan müşterinin taleplerini yerine getiren hizmet faaliyetleridir. Bu faaliyetler değer ifade ederler. İkincisi %30-35'lik orana sahip olan, binanın üretilebilmesi için gerekli olan ama müşterinin doğrudan bilmediği, görmediği faaliyetlerdir. Bunlar, değer ifade etmeyen ama yapılması zorunlu faaliyetlerdir, dolayısı ile zorunlu, kaçınılamaz israflardır. Bu faaliyetler değer kapsamında tutulmayan bu nedenle de israf olarak değerlendirilen ancak; değerin ortaya çıkması için yapılması gereken zorunlu faaliyetlerdir. Vergiler, lojistik, maliyet analizleri, yönetim, muhasebe gibi adımlar bu israf grubundadır. Üçüncü ve %55-65'lik oran ise, yine müşterinin görmediği, değer ifade etmeyen ama kaçınılabilir faaliyetlerdir. Bunlar genellikle, işin yapılış sırasındaki gereksiz beklemeler, kazalar, gecikmeler, hasarlı malzemeler, tekrarlanan işler, yapılan hatalar vb.dir. Bu faaliyetler ise kaçınılabilir israf olarak tanımlanır. İsrafları doğru analiz etmek ve kaçınılabilir israfları minimize etmek hem sürecin iyileştirilmesini hem de süre, maliyet ve kalite açısından kazanç elde edilmesini sağlayacaktır.

3. **Sürekli Akış:** Müşteriye sunulacak binanın oluşturulması sırasında, adımları bekletmeden binanın ortaya çıkartılmasını hedeflemek sürekli akış anlayışını oluşturmaktadır. Sürekli akış sağlanması, bina üretim sürecindeki tüm aşamalarda ilk seferde doğru üretiminin gerçekleştirilmesi demektir ki, bu da üretim süreci boyunca elde edilecek değerin seviyesini maksimum düzeye getirir.

4. **Çekme:** Müşterinin ürünü/binayı talep etmesi, sonrasında buna göre üretim yapılması, yani önce talebin olması çekme prensibinin temelidir. Çekme, müşterinin talebi ile başlar ve buna göre bir üretim planlaması oluşturulur. Üretim sürecindeki tüm adımların bu çekme prensibine göre, yani bir sonraki adımın bir önceki adımdan gerekenleri talep ederek ilerlemesi, talep olmadan ortaya çıkan gereksiz depolama ve fire oluşumunu minimize eder.

5. **Mükemmellik:** Yalın düşünce prensiplerine göre üretilen ürün/binaya ait tüm üretim süreçlerindeki hatalar, arızalar, beklemeler, tekrarlanan imalatlar olağan karşılanmamalı ve devamlı olarak bunların altındaki ana/kök nedenler araştırılmalıdır. Böylelikle süreç, adımları boyunca sürekli olarak denetlenecek, tespit, kontrol sistemi aktif olacak ve risklere karşı önlemler alınabilecektir. Bu da mükemmelliği ortaya çıkaran bir bakış açısıdır.

Yalın düşünceye ait bu 5 temel prensip, yalın inşaat prensipleri olarak da kabul edilmektedir. Lean Enterprise Institute (2009), (Womack ve diğerleri, 1996; Bashir ve diğerleri, 2011)'nın açıkladığı yalın inşaat prensiplerini; değerin tanımlanması, değer akışının haritalanması, akışın sağlanması, çekme sisteminin kurulması ve mükemmelin peşinden koşulması olarak yine aynı 5 prensip olarak belirtmiştir. Koskela (1992), yalın inşaat prensiplerini 11 madde olarak belirtmiştir. Bunlar; değer katmayan adımların azaltılması, ortaya konacak olan değerin artırılması, çeşitliliğin azaltılması, proje yaşam döngüsü süresinin azaltılması, farklı adımların ve bölümlerin sayısının azaltılması, esnekliğin artırılması, üretim sürecindeki şeffaflığın artırılması, tüm sürece odaklanılması, süreç boyunca sürekliliğin sağlanması, akış ile dönüştürülen adımlar arasındaki dengenin sağlanması, kıyas yapılmasıdır. Cain (2004) ise, doğrudan inşaat sektöründe uygulanan yalın inşaat prensiplerini 6 madde olarak ifade etmiştir. Bu prensipler; hoşnut edilen müşteriler ve son kullanıcılar, düşük optimum seviyede sağlanmış maliyetlerle son kullanıcının memnun edilebilmesi, verimsizlik ve israfın uzaklaştırılması, süreç boyunca hizmet sağlayan tüm taraflarla bütünleşmenin sağlanabilmesi, en verimli koordinasyonu sağlamak ve sorumluluk tanımlarını doğru yapmak ve mevcut performansı ve tüm ilerlemeleri ölçmek ve takip edebilmektir. Salem ve Zimmer (2005), Cain (2004)'e benzer bir şekilde doğrudan inşaat sektörünü odak alacak şekilde yalın inşaat prensiplerine değinmiş ve 5 madde ortaya koymuştur. Buna göre, yalın inşaat prensipleri müşteri odaklı olmalı, kültür ve insan faktörleri değerlendirilmeli, işler standartlaştırılmalı, israf uzaklaştırılmalı ve devamlı iyileşme ile kalite artırılmalıdır.

Yalın düşüncenin 5 temel prensibi ve inşaat sektörünün yalınlaşma yolundaki prensipleri bütünüyle değerlendirildiğinde, bina üretim süreci boyunca; verimsizlik ve israfın uzaklaştırılması, süreçteki tüm paydaşların birlikte ve şeffaf bir şekilde çalışması müşteri memnuniyetini sağlamak kadar önem taşımaktadır. Bu nedenle özellikle inşaat sektöründe, bina üretim süreçlerini ve bu süreçlerdeki israfları tespit etmek, paydaşların görev ve sorumluluklarını doğru tanımlamak inşaat sektörünün yalınlaşması yönünde atılacak en temel adımlardandır.

4. Bina Üretim Sürecinde Kullanılan Yalın Teknikleri

Yalın üretimde, süreç boyunca süreci iyileştirmek ve müşterinin ortaya koyduğu değer beklentisini en iyi şekilde karşılamak için birçok teknik kullanılmaktadır. Yalın üretim yaparken, bu tekniklerin tamamı ya da bir bölümü kullanılabilir. İnşaat sektöründe de israfları azaltmak, müşteri memnuniyetini sağlayabilmek için yalın üretim tekniklerinden bazıları kullanılmakta ve kullanılması uygun görülmektedir (Sertyeşilışık B. 2016).

- **Toplam Kalite Yönetimi** [Salem ve diğerleri (2011); George ve Jones (2008); Summers (2005)]: Toplam Kalite Yönetimi, üretkenliğin artmasını ve maliyetlerin azaltılmasını hedefleyen bir yöntemdir. Bu yöntemde amaç, bir organizasyondaki tüm çalışanların katılımı ile kalitenin geliştirilmesidir. Kaliteyi artırmaya yönelik çalışmalar hataları azaltırken fire, stok, süre kayıpları, teslimatta gecikmeler gibi yaşanabilecek tüm olumsuzlukların önüne geçilmesine de yardımcı olur. Bu şekilde ortaya çıkabilecek maliyet ve süre israflarının ortadan kaldırmasını da sağlar. (İTÜ, 1994)

- **İş Süreci Değişim Mühendisliği** [Salem ve diğerleri (2011); George ve Jones (2008)]: Değişim mühendisliği, süreçlerin temelden itibaren yeniden düşünülmesi ve radikal olarak yeniden tasarlanması demektir. Bu süreç, her türlü üretim süreci ve bina üretim sürecini içeren yönetim süreçleri, temel süreçler (satın alma, geliştirme, uygulama gibi), destekleyici süreçler (organizasyon içi iletişimi sağlayan her birim) ve işlem süreçlerini (malzeme, ekipman yönetimi) kapsamaktadır. Sürecin yeniden değerlendirilmesi tüm maliyet, hizmet ve süre gibi performans değerlendirme kriterlerinin iyileştirilmesi anlamını taşımaktadır. (Koyun S. 2019)

- **Katılımcı (Eşzamanlı) Mühendislik** [Koskela (1992)]: "Eşzamanlı mühendislik, ürünlerin ve imalat ve destek hizmetleri de dâhil olmak üzere, ilgili bütün süreçlerin bütünleşmiş ve eşzamanlı olarak tasarlanmasına yönelik sistematik bir yaklaşımdır. Bu yaklaşımın amacı, tasarımı geliştirenlerin, ürünün konsept oluşturulmasından ortadan kalkmasına kadar meydana gelecek bütün yaşam döngüsü aşamalarını başlangıçtan itibaren, kalite, maliyet, süre ve kullanıcı istekleri dâhil bütün yönleriyle ele almalarını sağlamaktır" (Winner ve ark.1988 : Cleetus, 1992; Anumba ve ark.,1997 ve 1998 ; Brookes ve Backhouse, 1998; Love ve ark.1998; Kamara ve ark.2000; Khalfan ve ark.2001'den).

- **Altı Sigma** [Pepper ve Spedding (2010); Abdelhamid (2003)]: Bu yöntem, mükemmeliğe ulaşmak için kullanılan bir yönetim stratejisidir. Altı sigma yönteminde 6 adım bulunmaktadır. Bunlar; tanımlama (proje özeti, kritik yörünge analizleri, süreçlerin girdi ve çıktıları, müşterinin talepleri, kano modeli), ölçme (veri toplama tablosu, pareto grafiği, değer akış haritası, detaylı süreç akış şeması, ölçüm sistemlerinin doğrulanması, 5S denetiminin yapılması ve iş güvenliği risklerinin belirlenmesi), analiz etme (beyin fırtınası, 5 neden yöntemi, balık kılçığı yöntemi, hata türleri etkileri analizi, istatistiksel süreç kontrolü, hipotez testleri, korelasyon analizleri), iyileştirme (kaizen, 5S, Çekme sistemleri, Standardizasyon, Poka Yoke), kontrol (kontrol planı, iş talimatları, denetlemeler, iletişim ve takip panoları, rutin toplantılar) ve öğrenme (çıkarılan dersler, yayınım planları, uygulamaların paylaşımı, çalışanların takdir edilmesi) adımlarıdır.

- **Değer Akış Haritalama** [Maskell ve Bagaley (2004), Adalı M.R., Kiraz A., Akyüz U., Halk B. (2016)]: Değer akışı haritalama, bir değer akışındaki değeri, israfı ve israfların kaynaklarını

görmek için görsel bir haritanın ortaya çıkartılmasıdır. Değer akışı haritalama yöntemi, tüm sürecin bir arada değerlendirilerek bütünün görülmesini ve değerlendirilmesini sağlar. Aynı zamanda, süreç içerisindeki akışla beraber israfların tespitinin sağlanmasını ve bunların nedenlerinin ortaya konmasını kolaylaştırır.

- **Kaizen** [Marhani ve diğ. (2012)]: Her alanda, herkes tarafından, her gün, küçük ama iyiye doğru olan sürekli iyileştirmedir. Kaizen, Japonca'da değişim (kai) ve iyi (zen) kelimelerinden oluşmaktadır ve sürekli gelişme anlamında kullanılmaktadır. Kaizen'i gerçekleştirmek için 3 temel koşulu sağlamak gereklidir. Bunlar; mevcut durumu yetersiz bulmak, insan faktörünü geliştirmek ve problem çözme tekniklerini yaygın biçimde kullanmaktır. Kaizen'de, önce problemler tespit edilir, kök nedene ulaşılır, iyileştirmeler analiz edilip, planlanıp uygulanır ve standartlaşmaya gidilir. Bu şekilde maliyetler de kontrol altına alınabilir.

- **5S** [Sawacha ve diğ., (1999)]: Organizasyon (Seiri), Düzenlilik (Seiton), Temizlik (Seiso), Standardizasyon (Seiketsu), Özen ve Disiplin (Shitsuke) olmak üzere toplam beş ilke ile düzen üzerine yoğunlaşma tekniğidir. Bir Japon felsefesi olan "Her şey için bir yer ve her şey yerli yerinde" sözü 5S ilkesini özetlemektedir.

- **Toplam Üretken Bakım** [King (2009)]: Bir firmanın tüm çalışanları ile birlikte arızanın giderilmesi değil önlenmesi yaklaşımını benimseyen, makine ve ekipman etkinliğini en üst düzeye getiren bir bakım yönetimi yaklaşımıdır. Toplam üretken bakım ile birlikte, ekipman verimliliğinin artırılması, süreçteki hurda oranlarının düşürülmesi ve iş kazalarının azaltılması hedeflenmektedir.

- **5 Neden** [King (2009)]: Sebep-sonuç ilişkilerini ortaya çıkarmak için kullanılan basit ve etkili bir yöntemdir. 5 kez neden sorusu sorularak, kök neden bulmaya çalışılır. Kök-neden analizi olarak da bilinen bu yöntemde, önce problemin ne olduğu sorulur ve her cevap alındığında, verilen bu cevaba neden olan sorunu bulmak için yeniden neden sorusu sorulur. Bu şekilde ana problemin sebebi tespit edilir.

- **3R** [Bicheno (2004)]: Azaltma (Reducing), yeniden kullanım (reusing) ve geri dönüşüm (recycling) olarak bilinen bu yöntem, israfların azaltılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemle, yalın ve sürdürülebilir sonuçlar elde edilebilir.

- **Kıyaslama** [Koskela., (1992); Başar O., (2001)]: Performansı geliştirebilmek için, sektör içi ya da sektör haricindeki rakip olan ya da rakip olmayan firmaların analiz edilmesi ve firma bünyesi ile kıyas yapılmasıdır. Bu dinamik yöntemle en iyi uygulamayı, en etkin performansı ortaya koyan firmalar tespit edilerek firma içi faaliyetlerin ve süreçlerin yeniden yorumlanması sağlanacaktır.

- **Takım Çalışması** [Excellence (2004)]: Tamamlayıcı becerilere sahip insanların, ortak amaçlar, performans hedefleri doğrultusunda bir araya gelerek örgütsel çalışmalarda bulunmasıdır. Takımı oluşturan ve ortak hedefler doğrultusunda bir araya gelen insanlar, kaliteyi geliştirmeyi, süreçleri birlikte kolaylaştırmayı amaçlarlar. Takım çalışması, firmalarda farklı disiplinlerin bilgi, yetenek ve deneyimlerinin bir araya gelmesi açısından önemlidir.

(Barutçugil, 2004)**.** Bu şekilde firmalar, daha etkin ve verimli çalışmalar ortaya koyabilmektedirler.

- **Tam Zamanında Stratejisi** [Salem ve diğerleri (2011); Koskela (1992)]: Tam zamanında stratejisi, istenilen özelliklerdeki bir ürünü istenilen sürede istenilen miktarda üretebilmeyi öngörür. Tam zamanında stratejisinde, çekme sistemi uygulanır. Yani bir süreç boyunca, bir sonraki adım bir önceki adımdan gerekenleri talep eder. Böylece gereksiz stoklamalar ve maliyet kayıpları önlenmiş olur. Bu strateji ile birlikte, hurdalar, fazla üretim, gereksiz malzeme taşımaları, ürün stokları, gereksiz yani değer katmayan operasyonlar, işçi ve ekipman beklemeleri, gereksiz işçi hareketleri gibi israfların azaltılması hedeflenmektedir. (Bay M., Çiçek E., 2007).

- **Son Planlayıcı Sistem** [Seppanen ve diğerleri (2010); Salem ve diğerleri (2006)]: Son planlayıcı sistem; tam zamanında stratejisi, değer akış haritalaması ve çekme tipi planlama, izleme ve kontrol etme olan bir planlama sistemlerini içeren bir sistemdir. Bir projeye ait tüm paydaşlar arasındaki iletişimin kuvvetli olmasını esas alır. Bu şekilde tüm paydaşlarla birlikte, projeye ait kilometre taşlarının ve sürecin şeffaf bir şekilde planlanması, iş akış programlarının oluşturulması ve uygulanması sağlanır. Günlük, haftalık ve aylık gibi belirli periyodlarda toplantılar ve değerlendirmelerle de genel takip yapılır.

- **Değer Odaklı Yönetim** [Bertelsen (2004); Koskela (1992)]: Müşterinin tanımladığı değeri elde edebilmek için geçen süreç boyunca etik değerleri de koruyabilme tekniğidir. Fink (2002) ve BEC (2003)'e göre değer iki çeşittir. Bunlardan ilki, yalın düşüncenin temelini oluşturan ürün/binadır. İkincisi ise etik değer yani süreç içerisindeki değerlerdir. Bu durum, insan odaklı olmayı, onların ihtiyaçlarını gözetmeyi ve şartlarını iyileştirmeyi hedefler.

- **İş Sağlığı ve Güvenliği Değerlendirme Sistemi (OHSAS) 18001** [Mohd Yunus (2006)]: OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series), Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından Türkçe'ye çevrilerek (TS18001) olarak yayımlanan iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemidir. OHSAS 1800, iş kazalarını ortadan kaldırmayı, ve meslek hastalıklarını en aza indirmeyi hedefleyen bir sistemdir. Bu yönetim sistemi, zararla sonuçlanabilecek olası tehlikelerin önceden tespit edilerek bu riskleri minimize etmeyi amaçlar.

- **Çevre Yönetim Sistemi** [Puvanasvara ve diğerleri (2011)]: Bir firmanın, çevreye verdikleri ya da verebilecekleri çevresel zararların azaltılması hatta mümkünse yok edilmesini hedefleyen bir yönetim sistemidir. Özellikle de inşaat sektöründe, yapım aşamasında ortaya çıkan birçok malzeme israfının çevresel açıdan değerlendirilmesi ve bunların çevresel etkilerinin irdelenmesi için önemli bir yaklaşımdır. Bu yönetim sisteminin standartlarını ortaya koyan ISO 14001; çevrenin koruması, kirliliğin önlenmesi, atıkların en aza indirilmesini ve enerji ve malzeme tüketiminin azaltılmasını hedeflemektedir.

- **Sıfır Hata Tekniği (Poka-Yoke) [**Hughes and Ferret, (2008)]: Japonca'da hata yalıtımı anlamına gelen Poka-Yoke, sıfır hata tekniği olarak bilinmektedir. Poka (beklenmedik hata)-Yoke (önleme) tekniği, hatalar olmadan önce onları önleme ya da hata oluşumuna zemin hazırlayan her şeyi baştan kontrol edebilmektir. Bu teknik, çalışanların dikkatsizliklerini önlemeye yöneliktir. Bodek (1988)'e göre iki çeşit Poka-Yoke tekniği bulunmaktadır.

Bunlardan ilki; önlemeye yönelik Poka-Yoke'dir. Bu teknik, hata olmadan önce, olabilecek hataları öngörüp bu hatalar olmadan onları önleyebilmektir. İkinci teknik ise, bulmaya yönelik Poke-Yoke'dir. Bu teknikte ise amaç, hata olduktan sonra hatayı bulup, devamını önlemek ve minimum hata ile sorunun tamamının önüne geçebilmektir.

Yalın inşaat kapsamında israflarının belirlenmesi ve değer anlayışının daha fazla benimsenebilmesi, firmalara hem maliyet, süre ve kalite hem de prestij açısından büyük katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, yalın düşünceye ait tekniklerin, süreç boyunca uygulanması, firma çalışanlarını da olumlu yönde etkileyecek ve farkındalıklarını artıracaktır. Motivasyon, takım çalışması, değer odaklı yönetim gibi tekniklerle çalışanların memnuniyeti sağlanmış ve sürece olumlu katkı sağlamış olacaktır. Toplam kalite yönetimi, kaizen, altı sigma gibi yöntemlerle mükemmellik yönünde doğru adımlar atılarak, değerin maksimize edilmesi sağlanacaktır. Ayrıca, çevre yönetim sistemi, 3R gibi tekniklerle çevreye verilen zararlar azaltılarak; son planlayıcı sistem, tam zamanında sistem gibi tekniklerle de teknik nedenlerden dolayı ortaya çıkan israflardan kaçınılmış olacaktır.

5. Sonuç

Bina üretim süreci boyunca çok fazla israfın oluşması, hem müşterinin belirlediği değer algısını düşürmekte, hem de süreç içerisinde maliyet, süre, kalite kayıplarına sebep olmaktadır. Üretim sektöründeki, müşteri memnuniyeti ve israf minimizasyonunu esas alan yalın düşünce anlayışı, tam olarak da inşaat sektörünün sorunlarına çözüm olabilecek bir yaklaşımdır. Bu nedenle, yalın düşünceyi doğru anlamak, bu düşüncenin prensiplerini irdelemek ve tekniklerini analiz edebilmek, inşaat sektörüne uyarlayabilmek açısından önem taşımaktadır.

Yalın düşünceyi, inşaat sektöründe uygulamak, özellikle de ülkemizde bazı zorluklar taşımaktadır. Bina üretim sürecinin alt yüklenicilerle ilerlemesi, sözleşme yetkilerinin çoğunlukla belirli bir kişide toplanması, finansal faktörler, geleneksel anlayışı benimsemiş olma durumu, tasarım ve uygulamanın birbirinden ayrı yürütülmesi, eğitim eksikliği, müşteri odaklılığı ve performans değerlendirme sisteminin eksikliği yalın inşaata geçişi zorlaştıran faktörlerdir. Firma içindeki çalışanların ya da her firmanın birbirinden farklı kültür yapısının olması, yalın düşüncenin sektöre uyarlanmasında büyük bir bariyerdir. Bununla birlikte yalın inşaat konusundaki temel bilgi ve prensiplerin sektörde yeteri kadar bilinmemesi de, yalın inşaata doğru geçişte büyük bir direnç oluşturmaktadır. Bu nedenle, yalın düşünceyi sektörde uygulayabilmek için bu zorlukların da farkında olmak ve buna göre bir yönetim sistemi geliştirmek gereklidir.

1998 yılından sonra, yalın prensiplerin inşaat sektöründe kullanımını cesaretlendirmek adına İngiltere'nin birçok bölgesinde yürütülen çalışmaların sayısında bir artış gözlenmiştir. İnşaat Endüstrisi Araştırma ve Bilişim Derneği (CIRIA) ve Construction Productivity Network (CPN) tarafından düzenlenen seminerler buna öncülük etmiştir. Özellikle İngiltere'de başlayan ve zaman içerisinde Malezya, Almanya, Danimarka, Avustralya, Brezilya, Çin, gibi ülkelerde de yalın temelli bir inşaat süreci benimsenmeye başlanmıştır. Ülkemizde de inşaat sektörünün yalınlaşması, israfların azaltılması ekonomik açıdan firmalara büyük katkı sağlayacaktır. Bu sebeple, yalın inşaat üzerine araştırmaların yapılması, ilgili kurum ve kuruluşların bu çalışmalara destek vermesi, öncülük yapması, uygulanması yönünde teşvik edici yaklaşımlar sergilemesi, firmaların bu konularda bilinçlenmesinin sağlanması ve yalın inşaat uygulamalarına geçişlerine destek verilmesi önemlidir.

6. Referanslar

Abdelhamid, T.S. (2003). Six-Sigma in Lean Construction Systems Opportunities and Challenges. Accessed from: http://www.leanconstruction.dk

Adalı M.R., Kiraz A., Akyüz U., Halk B. (2016) Yalın Üretime Geçiş Sürecinde Değer Akış Haritalama Tekniğinin Kullanılması: Büyük Ölçekli Bir Traktör İşletmesinde Uygulama, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*

Albayrak H.M., (2011) Toplam Kalite Yönetimi Tekniklerinden Kaizen ve Altı Sigma Uygulamalarının Kıyaslanması Üzerine Örnek Bir Uygulama, *Kırklareli Üniversitesi, Kirklareli*

Bashir A.M., Suresh S., Proverbs D., Gameson R. (2011) A critical, theoretical, review of the impacts of lean construction tools in reducing accidents on construction sites, *Association of Researchers in Construction Management, 249-258*

Başar O., (2001) İnşaat sektöründe Benchmarking Yaklaşımının Uygulanabilirliği, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*

Ballard G., Polat G. (2011). Waste in Turkish Construction: Need For Lean Construction Techniques

Ballard, G. & Howell, G. A. (2003) "Lean project management." Building Research & Information *31(2): 119-133.*

Ballard, G., Howell, G., A. (2004). Competing Construction Management Paradigms. Lean Construction Journal, 1(1), pp. 38-45.

Bicheno, J. (2004). The new lean toolbox: Towards fast, flexible flow (3rd ed.). Buckingham: PICSIE Books.

Barutçugil İsmet (2004), Stratejik İnsan Kaynakları Yönetimi, İstanbul: Kariyer Yayınları

Bay M., Çiçek E., (2007) Tam Zamanında Üretim Sistemlerinde Hata Önleyiciler: Poka-Yokeler, *Selçuk Üniversitesi Karaman İ.İ.B.F Dergisi Yerel Ekonomiler Özel Sayısı*

Bertelsen, S. (2004). Lean construction: where are we and how to proceed. Accessed from: http://www.kth.se

Birgün S. (2012) Değer Akış Haritalama, *Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Yönetimi Doktora Programı, Ders Notları, İstanbul*

Bodek, N., 1988, Improving Quality by Preventing Defect, Edited by Shimbun ,N.K, Ltd./ Factory Magazine, Productivity Press, Portland, Oregon,syf.1-28

Cain, C. T. 2004b. Profitable Partnering for Lean Construction *Oxford: Wiley-Blackwell*

Construction Excellence (2004), Lean Construction, UK

Excellence, C. (2004). Effective teamwork: a best practice guide for the construction industry Constructing Excellence , 1-20.

George, J.M. and Jones, G.R. (2008). Understanding and managing organizational behavior. Pearson International Edition.

Güner A.F. (2003) İnşaat Sektöründe Toplam Kalite Yönetimi ve Türkiye'deki Uygulamaların Değerlendirilmesi, *Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul*

Howell G.A (1999) What is lean construction, *University of California, Berkeley, CA, USA*

Hughes, P. &. Ferrelt, E. (2008). Introduction To Health And Safety In Construction Industry. Third Edition, ,USA, Butterworth-Heinemann, Imprint Of Elsevier , 2-14

İlhan A., İnce E. (2015) Takım Çalışması ve Takım *Etkinliğini Belirleyen* Faktörlerin Ölçülmesi:Gaziantep Üniversitesinde Bir Uygulama ,*(https://www.researchgate.net/publication/312496443), Gaziantep*

İTÜ İşletme Mühendisleri Toplam Kalite Yönetimi Araştırma Komitesi (1994) Toplam Kalite Yönetiminde Türkiye Perspektifi: Uygulamakar, Sorunlar, Fırsatlar, Öneriler, *İTÜ İşletme Fakültesi, İstanbul*

Kempton, J., 2006, Can lean thinking apply to the repair and refurbishment of properties in the registered social landlord sector? Structural Survey, 24(3), 201-211.

King, P.L. (2009): Lean for the Processs Industries Dealing with Complexity, CRC Press., Taylor & Francis Group, New York

Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction: Stanford University (Technical Report No. 72, Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering). Stanford, CA.

Koyun S. (2019) Değişim Mühendisliği Nedir? Tanimi, Amacı, Aşamaları

Lostuvalı B. (2011) İnşaat Sektöründe Yalın Uygulamalar, Accessed from: https://lean.org.tr/insaat-sektorunde-yalin-uygulamalar/

Lostuvalı B. (2011) İnşaat Sektörü Yalınlaşıyor, Accessed from: https://lean.org.tr/insaat-sektoru-yalinlasiyor-2/

Lukowski, J. (2010). Lean construction principles eliminate waste. Accessed from: http://www.powermag.com

Marhani M.A., Jaapar A., Bari N.A.A. (2012) Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction In Malaysia, SciVerse ScienceDirect, *ISSN: 1877-0428*

Marhani M.A., Jaapar A., Bari N.A.A. (2013) Lean Construction:Sustainability Through Lean Construction Approach: A Literature Review , SciVerse ScienceDirect, *ISSN: 1877-0428*

Maskell, Brian H.- Baggaley, Bruce (2004). Practical lean accounting: A proven system for measuring and managing the lean enterprise. Productivity Press, New York.

Mohd Yunus, N.M. (2006). Implementation of OHSAS 18001:1999: The experienced of construction companies in Malaysia. Universiti Teknologi MARA Shah Alam, Malaysia.

Pepper, M.P.J and Spedding, T.A. (2010). The evolution of Lean Six Sigma . International Journal of Quality & Reliability Management, 27 (2), 138-155.

Puvanasvaran, A.P., Kerk, R.S.T. and Muhamad, M.R. (2011). Principles and Business Improvement Initiatives of Lean Relates to Environmental Management System. Accessed from http://ieeexplore.ieee.org.

Salem, O., & Zimmer, E. (2005). Application of lean manufacturing principles to construction. *Lean Construction Journal*, *2*(2), 51-54.

Sawacha, E., Naoum, S. and Fong, D. (1999) Factors Affecting Safety Performance On Construction Sites UInternational Journal Of Project ManagementU, Vol. 17, No. 5, 309- 315.

Seppanen, O., Ballard, G. and Pesonen, S. (2010). The combination of last planner system and location based management system. Accessed from http://www.lean.org

Sertyeşilışık B., (2016). Leagility in Construction project Management, Istanbul Technical University

Small, H.M., and Yasin, M.M. (2011). Assessing the implementation and effectiveness of process management initiatives at technologically consistent firms Business Process Management, 6-20.

Şekerci B. (2008) Eşzamanlı Mühendislik Kavramının Türk İnşaat Sektöründe Uygulanabilirlik Düzeyinin İrdelenmesi, *Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana*

Summers, D.C. (2005). Quality Management, Creating and Sustaining Organizational Effectiveness Upper Saddle River, New Jersey: PEARSON Prentice Hall.

J.P. Womack, D.T. Jones, (1998) Lean Thinking in Business—Eliminate Waste and Create Wealth, Rio de Janeiro, Campus

J.P. Womack, D.T. Jones, (1996) Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Free Press, Simon & Schuster, INC., NewYork, NY

URL 1: http://www.maintenancetechnology.com/2004/10/what-is-lean-maintenance/

URL 2: http://www.lean.org.tr
URL 3: https://lean.org.tr/insaat-sektoru-yalinlasiyor/
URL 4: https://lean.org.tr/yalin-dusuncenin-ilkeleri/
URL 5: https://leanconstructionblog.com/The-Concept-of-Waste-as-Understood-in-Lean Construction.html
URL 6: https://lean.org.tr/insaat-projelerinde-yalin-dusunce-yaklasimi/
URL 7: https://www.sezginkoyun.com/degisim-muhendisligi-nedir/
URL 8 : https://kanbanize.com/lean-management/improvement/5-whys-analysis-tool/
URL 9: http://www.yalinaltisigma.com/yalin-alti-sigma-nedir/
URL 10: https://www.sigmacenter.com.tr/tpm-nedir-toplam-verimli-bakim-nedir.html
URL 11: https://yalindanisman.com/just-in-time-2/
URL 12: https://lean.org.tr/insaat-projelerinde-yalin-dusunce-yaklasimi/
URL 13: http://www.yalininsaat.com/yalin-insaatin-ingiltere-perspektifinden-tarihsel-gelisimi/
URL 14: http://www.yalininsaat.com/yalin-dusuncenin-insaat-sektorune-uygulanmasi-sirasinda-karsilasilan-bariyerler/

WRAP (….). Achieving good practice waste minimisation and management, *Guidance for construction clients, design teams and contractors*

WRAP (….). Setting a requirement for Waste Minimisation and Management, *Procurement guidance for construction*

Yahya, M. A., & Mohamad, M. I. (2011). Review On Lean Principles For Rapid Construction. Jurnal Teknologi, 54

Nokta Bulutu Verileri ve Yüksek Çözünürlüklü Ortofoto Kullanılarak Otomatik Bina Kat Yüksekliğinin Çıkarılması

Efdal Kaya[1], Fatih Adiguzel[2], Şenay Güngor[3], Mehmet Çetin[4]

[1]Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
[2] Seyahat, Turizm ve Eğlence Hizmetleri Bölümü,
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Türkiye
[3]Coğrafya Bölümü, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Türkiye
[4] Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye
Email: kayaefdal@gmail.com, fadiguzel007@gmail.com, senaygungor01@gmail.com, mcetin@kastamonu.edu.tr

Özet

Küresel ısınmaya bağlı olarak dünyada iklimler değişmekte ve bu durum yüzey sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca şehirleşme oranlarının artması, düşey mimarı kullanılarak oluşturulan yüksek katlı binalar ve bu binaların yoğunluğu, kentsel ısı adalarını oluşturmaktadır. Bu yüzden bina kat yüksekliklerine bağlı olarak bina yoğunluklarının belirlenmesi, şehir merkezleri için önem arz etmektedir. Hızla büyüyen şehir merkezlerinde insanların sağlıklı bir şekilde yaşayabilmesi, kentsel ısı adalarının belirlenmesine bağlıdır. Kent merkezlerinde insan yaşamını düzenleyen imar planlarının hazırlanması ve revizyonu gibi durumlarda, artık bina yoğunluklarına bağlı olarak kentsel ısı adalarının da dikkate alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda bina kat yüksekliklerinin pilot bir bölgede otomatik olarak çıkarılması ve bu bağlamda kentsel ısı adasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada hızla gelişen büyük şehirlerden Adana iline bağlı, merkez Çukurova ilçesinde, pilot bir bölgede, bina kat yükseklikleri sayısal arazi modeli (SAM) ve sayısal yükseklik modeli (SYM) yardımıyla belirlenmiştir. SAM ve SYM, tüm Türkiye'de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen gerçek ortofoto üretim projesi kapsamında temin edilmiştir. Temin edilen bu üç boyutlu sayısal bilgiler yardımıyla bina kat yükseklikleri otomatik olarak çıkarılmıştır. Bina izleri haritası ortofotolar üzerinden sayısallaştırılarak elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen bu bina izi haritası ile bina kat yüksekliği haritası açık kaynak kodlu coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı olan QGIS 2.18 içerisinde kesiştirilmiştir. Bina izi haritaları üzerinde bina kat yüksekliği değerlerine göre yoğunluk haritası oluşturulmuştur. Aynı zamanda binalar gerçek ortofoto üzerinden poligon veri şeklinde çıkarılmıştır. Çıkarılan bu poligon verinin ortasına nokta atılmıştır. Nokta verisi kullanılarak bina yoğunluk haritası QGIS 2.18 yazılımında oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişiklikleri, Kentsel Isı Adası, Nokta Bulutu, Sayısal Yükseklik Modeli, Bina Kat Yüksekliği.

Point Cloud Data and Using High-Resolution Orthophotos to Remove Auto Building Floor Heights: A Case Study: Adana-Çukurova District (Presentation)

Abstract

Climates all over the world are changing due to global warming. This, in turn, is causing surface temperatures to increase gradually. In addition, the soarıng urbanization rates caused by vertical architecture (the construction of dense high-rise buildings) are a major contributor to the formation of urban heat islands. Therefore, determining the building density to the floor heights holds great importance for city centers. The livability in a rapidly growing city center depends on the determination of urban heat islands. During the zoning and development planning process in urban centers, the potential heat islands that could form as a result of the building density should be taken into account. To achieve this, the removal of floor heights from a sample area was carried out with the purpose of figuring out the urban heat islands. The sample area was chosen in Çukurova, one of the fastest developing districts in the city of Adana. The floor heights were determined using the digital terrain model (DTM) and digital elevation model (DEM). DTM and DEM were provided by the Ministry of Environment and Urban Planning as part of their project to produce true orthophotos for the whole map of Turkey. The building floor heights were automatically removed with the help of three-dimensional digital information. The building marks on the map were obtained by digitizing the orthophotos. The building marks map was intersected with the floor height map using the open source geographic information system software QGIS 2.18. The building density map was then produced according to the building floor height values on the building marks map. The buildings were also extracted as polygonal data over the actual true orthophoto. The center of the polygon was marked with a point. The building density map was then created in QGIS 2.18 software by using the point data.

Keyword(s): Climate Change, Urban Heat Island, Point Cloud, Digital Elevation Model, Building Floor Height.

1. Giriş

Uydu teknolojilerindeki gelişimin son yıllarda hızlanması ile birlikte uzaktan algılama teknolojilerinde önemli bir gelişim olmuştur. Özellikle son yıllarda yüksek çözünürlükte mekânsal ve spektral bilgi üreten ve bu bilgiyi topluma sunan yüksek çözünürlüklü uyduların gelişmesi mekânsal bilgi üretiminde çok büyük kolaylık sağlamaktadır. Uydu görüntülerinin fiyatlarının düşmesi ve topluma sunulması da birçok uygulamanın yapılmasını kolaylaştırmıştır.

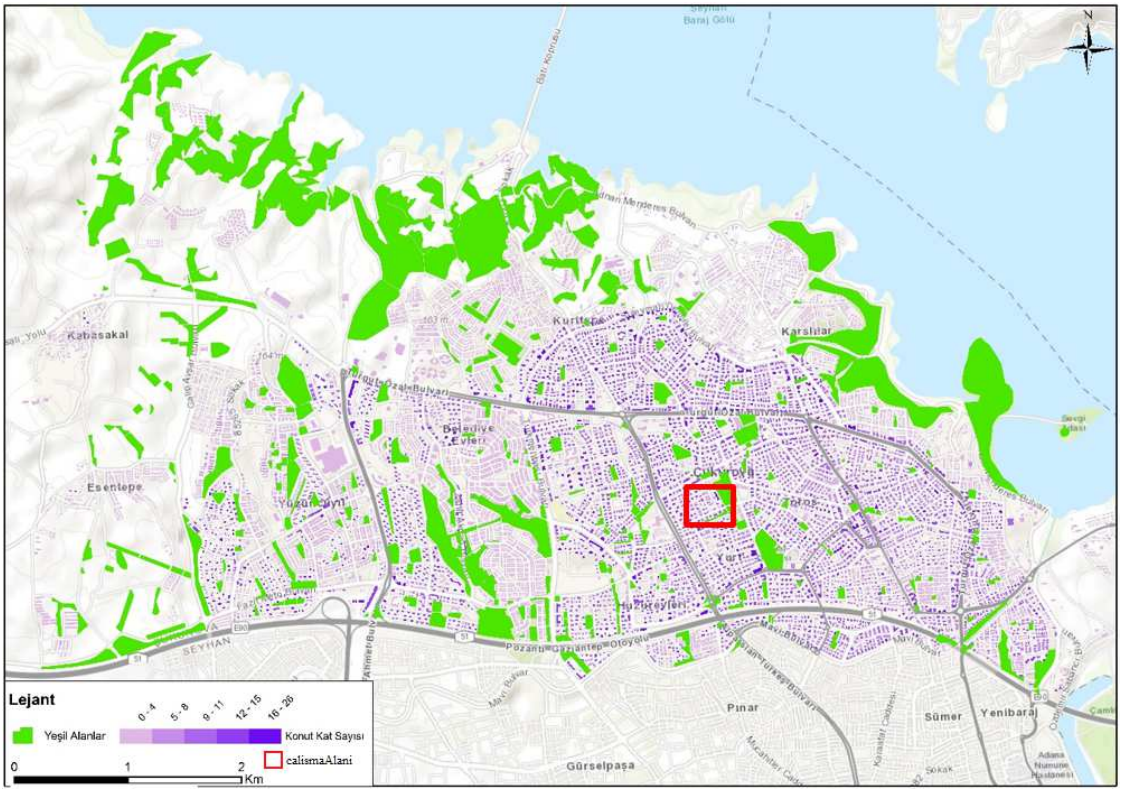
Uydu görüntüleri ormancılıktan jeodeziye, meteorolojiden askeri uygulamalara kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Uydu görüntülerinin insan gözünün algılayamadığı bitki hastalıkları, klorofil miktarı, su kalitesi ve su kirliliği gibi özellikleri ayırt edebilmesi birçok kolaylığı ve analiz kolaylığını da beraberinde getirmiştir. Sınıflandırma görüntü yorumlama

teknikleri kullanılarak görüntüdeki homojen piksel gruplarının ilgilenilen yeryüzü özelliklerine ve yeryüzü kullanım özelliklerine ayrılması şeklinde tanımlanabilir (Chandra ve Ghosh, 2007). Dijital görüntü sınıflandırmada ise, kullanıcı görüntüdeki dijital sayılarla gösterilen spektral bilgiyi kullanarak çeşitli bantlar üzerinde spektral özelliklere göre pikselleri sınıflandırır. Bu tip sınıflandırmaya spektral doku tanımlama da denebilir. Burada amaç görüntüdeki tüm pikselleri çeşitli sınıflara ya da temalara atamaktır. Sınıflandırma sonucunda oluşan haritada her piksel kendine mahsus bir özelliğe atanmış bir şekilde orijinal görüntünün tematik haritası elde edilmiş olur (Kalkan ve Maktav, 2010).

Bu çalışma ile yüksek çözünürlüklü ortofoto kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Sınıflandırılan bu ortofoto üzerinden bina verileri çıkarılmıştır. Çıkarılan bu binalar ile SAM ve SYM kullanılarak kat yükseklikleri otomatik olarak çıkarılmıştır.

2. Çalışma Alanı

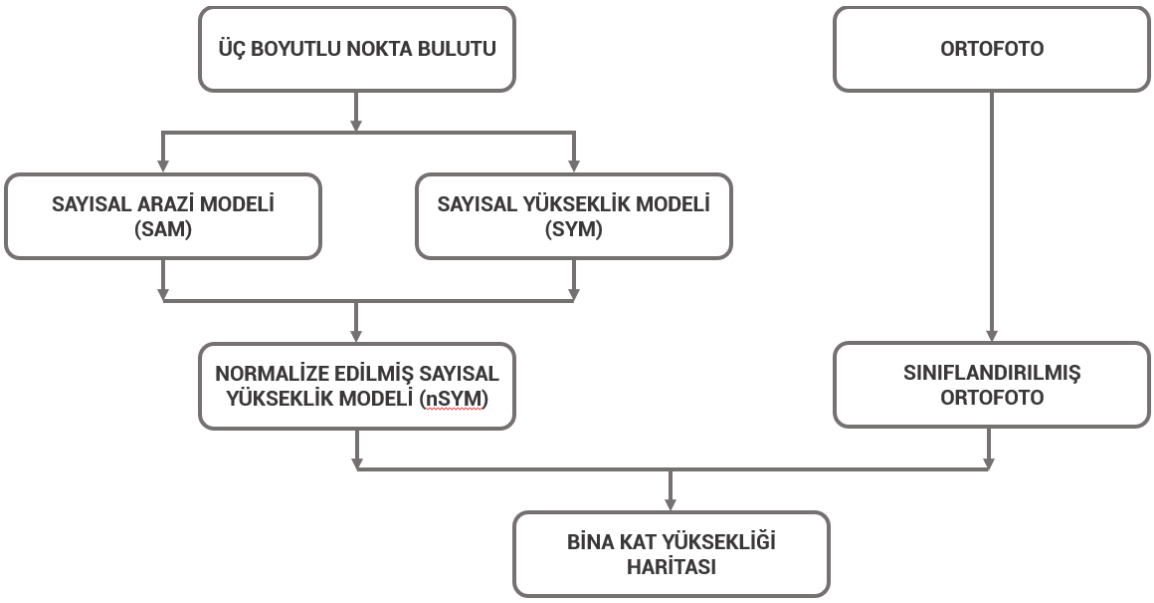
Çalışma alanı Adana İli, Çukurova İlçesinde pilot bir bölge olarak seçilmiştir. Bu alan yoğun ve düşey yönde büyüyen binaların yoğun olduğu bir yerdir (Şekil 1).



Şekil 1 - Çalışma alanı

3. Uygulama

Çalışmaya ait iş akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2 - İş akış şeması

3.1 Sayısal Verilerin Üretilmesi

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından üretilen true ortofotolar Adana İli Çukurova ilçesinde pilot alan için temin edilmiştir. Bu ortofotoların yanında üç boyutlu koordinat bilgisi içeren nokta bulutu verileri de temin edilmiştir. Temin edilen bu nokta bulutu verisinden öncelikle ENVI 5.3 yazılımı ile sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulmuştur. Aynı yazılım kullanılarak sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşturulmuştur. QGIS yazılımı kullanılarak sayısal yükseklik modelinden sayısal arazi modeli çıkarılarak normalize edilmiş sayısal yükseklik modeli üretilmiştir.

nSYM = SYM – SAM
nSYM = Normalize edilmiş sayısal yükseklik modeli (Eşitlik 3.1)
SAM = Sayısal arazi modeli
SYM = Sayısal yükseklik modeli

Sayısal veriler oluşturulduktan sonra ortofoto sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi için oluşturulan sınıflar;

- bina
- yol
- yesilAlan
- bosAlan

Elde edilmek istenen sonuçlar doğrudan bina verisi ile ilişkili olduğu için sınıflandırma sonrasında elde edilen bina verisi vektör formatta kaydedilmiştir. Vektör formatta kaydedilen

veri QGIS yazılımı içerisine aktarılmıştır. Aktarılan bu verinin ortasına nokta atılmıştır. Bu nokta verileri kullanılarak bina yoğunluk haritası oluşturulmuştur.

Vektör formatta kaydedilen bina verisi ile normalize edilmiş sayısal yükseklik modeli kesiştirilerek her bir bina verisine ait normalize edilmiş sayısal yükseklik modeli haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan bu harita sayısal bir yükseklik modeli haritasıdır. Bu harita ortalama 3 metre bir kat yüksekliği şeklinde sınıflara bölünerek kat yüksekliği haritası oluşturulmuştur (Şekil 3). Kat yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılan eşitlik;

$$n = \frac{h - m}{k} \qquad \text{(Eşitlik 3.2)}$$

h: Kat yüksekliği
m: zemin yüksekliği
k: Ortlama kat yüksekliği
n: Bina kat sayısı

Şekil 3 - Bina kat yüksekliği haritası

4. Sonuç ve Öneriler

Hızlı bir şekilde büyüyen kentlerde büyük bir sorun haline dönüşen kentsel ısı adalarının oluşmasında en önemli etkenlerin başına yer alan düşey yönde mimarının haritasının çıkarılması önem arz etmektedir. Bu çalışma ile düşey yönde büyüyen kentlerin hızlı ve etkin bir şekilde kat yüksekliği hesaplanmıştır. Hesaplanan bu kat yüksekleri imar çalışmaları, kentsel ısı adalarının belirlenmesi gibi birçok çalışmanın altlığını oluşturmaktadır.

Referans

1. Chandra, A. M., Ghosh, S. K., 2007. Remote SensingandGeographical Information System, Alpha Science International, Oxford U.K. ss 16-24, 97-114.
2. Kalkan K., Maktav D., 2010. Nesne Tabanlı ve Piksel Tabanlı Sınıflandırma Yöntemlerinin Karşılaştırılması (IKONOS Örneği), III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11 – 13 Ekim 2010, Gebze – KOCAELİ

An Alternative Teaching Material for Civil Engineering Education: Application House

Mehmet Sait Andaç

Department of Civil Engineering, Beykent University, Turkey
saitandac@beyken.edu.tr

Abstract

Undergraduate engineering education is based on two different learning systems: theoretical and practical. The theoretical part of teaching is supported by books, course notes, assignments, or homework. On the other hand, students consolidate their theoretical information by the office or job site internships which is generally minimum in two periods of 30 days for each. The classical (theoretical and practical) method can be insufficient while educating engineering students. To overcome the disadvantages of classical education, the introduction of different methods (problem based learning, discovery based learning, project based learning, etc.) are suggested by various studies. This study presents a just in time learning method and application, named as "Application House" which enables students to observe the building process, detailed building elements, different building materials.

Keywords: Application House, Engineering Education, Practical Education

1. Introduction

Last decades, engineering education system is in search of new methods. Some new approaches are proposed as an alternative of traditional theoretical and practical methods. At Turkish Universities the civil engineering courses are based on theoretical education. This education is supported by job site internships. On the other hand at Europe and USA universities try to add new courses to civil engineering curriculum as game based (Ebner & Holzinger, 2007), problem based (Roberto, Ribeiro, & Nicoletti, 2005) or discovery based (Behzadan & Kamat, 2013) teaching methods and these universities enrich their course contents by new teaching materials as Building Information Modelling (BIM) (Sacks & Barak, 2010) or three dimension (3D) and Virtual Reality (VR) technics (Sampaio, Ferreira, Rosário, & Martins, 2010). All these mentioned methods or materials are based on virtual and imaginary problems. Of course, solving virtual problems improve the student's problem solving perspectives, but solving a real problem, that the students get all the data by themselves instead of using prepared data, take them one step further.

This paper proposes a new material for civil engineering educations. This material is a real half completed house, or it can be thought as a cross section of a completed house that called "Application House (AH)".

AH can be used by not only civil engineering but also other engineering disciplines (mechanical engineering, electrical engineering etc.) and architectural courses. At the same time AH is a physical source for different type of courses in different years of civil engineering education.

2. Literature Review

In developed countries, scientist improve different learning methods for engineering education. For Europe and USA universities most common learning methods or new course materials for civil engineering are listed below:

Learning Methods:

- Problem Based
- Project Based
- Game Based
- Discovery Based

New Materials:

- 3D Models and Virtual Reality
- Building Information Modelling

2.1.Problem Based Learning (PBL)

PBL is a instructional method that improves the problem understanding, thinking, decision making and problem solving skills of the students by solving real world problems (Roberto vd., 2005). At PBL there is no only one correct answer, so students never focus to results. Instead of trying to find correct answer, students generally focus on main problem and try to find correct method to solve the problem. As a results, PBL promotes the student find the optimum solution of the real problem according to their educational context (Roberto et al., 2005, Mills & Treagust, 2014)

2.2.Project Based Learning (PrBL)

PrBL is real world problem solving method as PBL. However, PrBL is a long term and multidiscipline problem solving activity for not only induvial but also groups of student. PrBL process can be vary in duration from a week up to a whole semester and study groups can be small group of students with a team leader or a group of all students in a course who are directed by an advisor, as a teacher (Mills & Treagust, 2014)

.

2.3.Game Based Learning (GBL)

GBL another version of PBL for engineering education which is supported by a play framework (Ebner & Holzinger, 2007). In GBL a real world problem is simulated by a computer game and students solve the problem by playing the game. GBL encourages and motivates the students to reach the solution without any fear about real life results (Ebner & Holzinger, 2007). For example, designing a structure element by GBL provides the students limitless chance to find the best solution.

2.4.Discovery Based Learning (DBL)

According to Behzadan & Kamat, (2013) “DBL is a learning technique in which students take control of their own learning process, acquire information, and use that information in order to experience scenarios which may not be feasible to construct in reality given the time and space constraints of a typical engineering project.” DBL is supported by “Augmented Reality (AR)” which is different from VR. AR is a visualization technology (as VR), which is combined real world background and virtual construction material (different from VR) by special software (Behzadan & Kamat, 2013) (Figure 1).
,

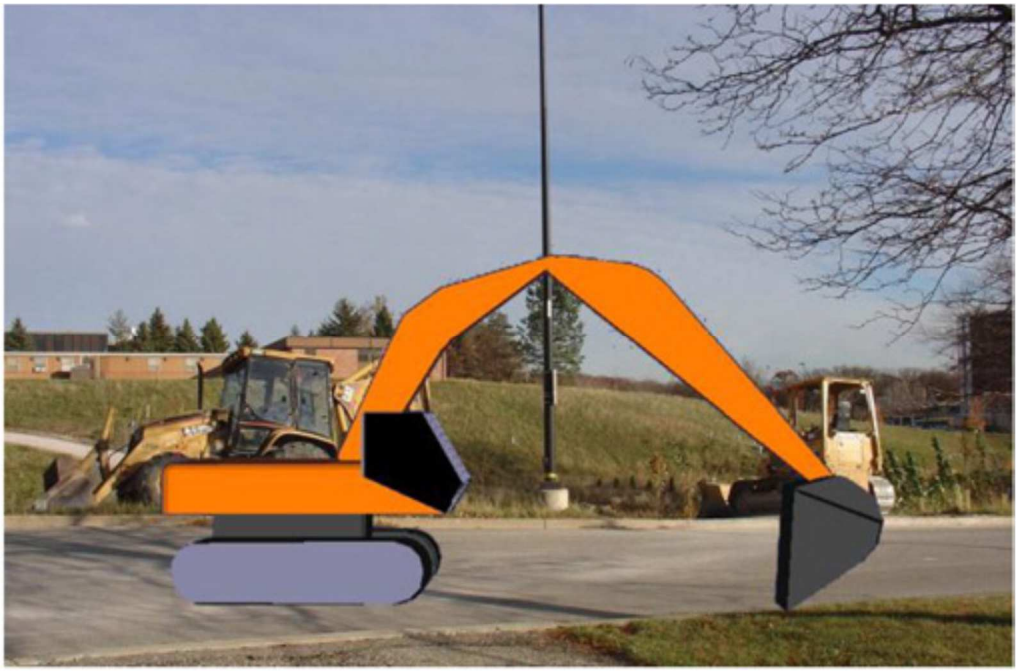


Figure 1 – Example of AR

2.5.3D Models and Virtual Reality (VR)

3D models and VR technologies are not a learning model for engineering education. However, these are used as new materials in conventional or modern civil engineering courses. By 3D models and VR technology students can observe phases of construction or inspect the construction elements before build an physical structure (Sampaio vd., 2010).

2.6.Building Information Modelling (BIM)

BIM is an accurate virtual model of a building which is digitally constructed to helps architects, engineers, and constructors while working on same project without need for detailed drawings and it identifies the potential design, construction, or operational issues (Azhar, 2011, Sacks & Barak, 2010). In last decades, universities add BIM courses to civil engineering curricula in different content for Postgraduate and Undergraduate to eliminate the lack of adoption to BIM and professional life after graduation. (Sacks & Barak, 2010).

3. Material and Methodology

In this section, a new teaching material called “Application House (AH)” will be presented. Firstly, description of AH and general information about AH will be given, and then details about AH will be presented.

What is AH?

AH is a physically built house which has a foundation, a base floor and a roof floor. At the foundation three different foundation type (single spread footing, combined footing and mat foundation) are constructed and at the base floor different sized columns and beams are placed. Also, at the same floor the walls, which are walled by different materials, allow the students to observe different materials. These walls are plastered in some parts and by different materials. Outside of walls are isolated by different kinds of isolation materials. At the roof floor there are different types of roofing materials. Shortly AH has as many as building materials to display various types of materials and application process (Figure 2 - 6). All the material applications are unfinished to show the cross sections, even structural elements; as columns, beams, stairs, floors and etc.

What is the purpose of AH?

For students AH can be used as a laboratory for each level courses of civil engineering, mechanical engineering, electrical engineering and architecture. For lecturers, AH can be used as a teaching material to show the real life applications of theoretical part of course contents. Due to AH is a cross section of a house, students can observe each step of construction process.

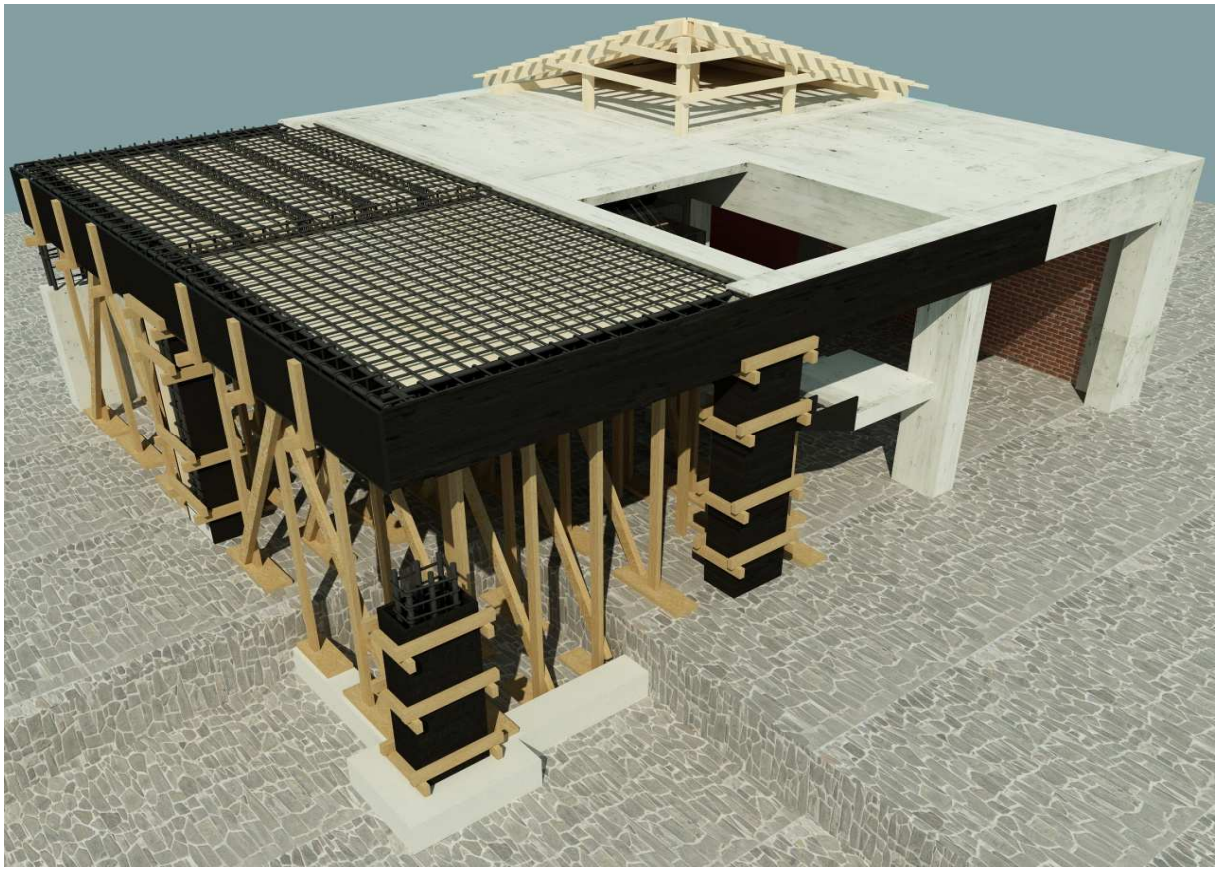


Figure 2 – AH View 1

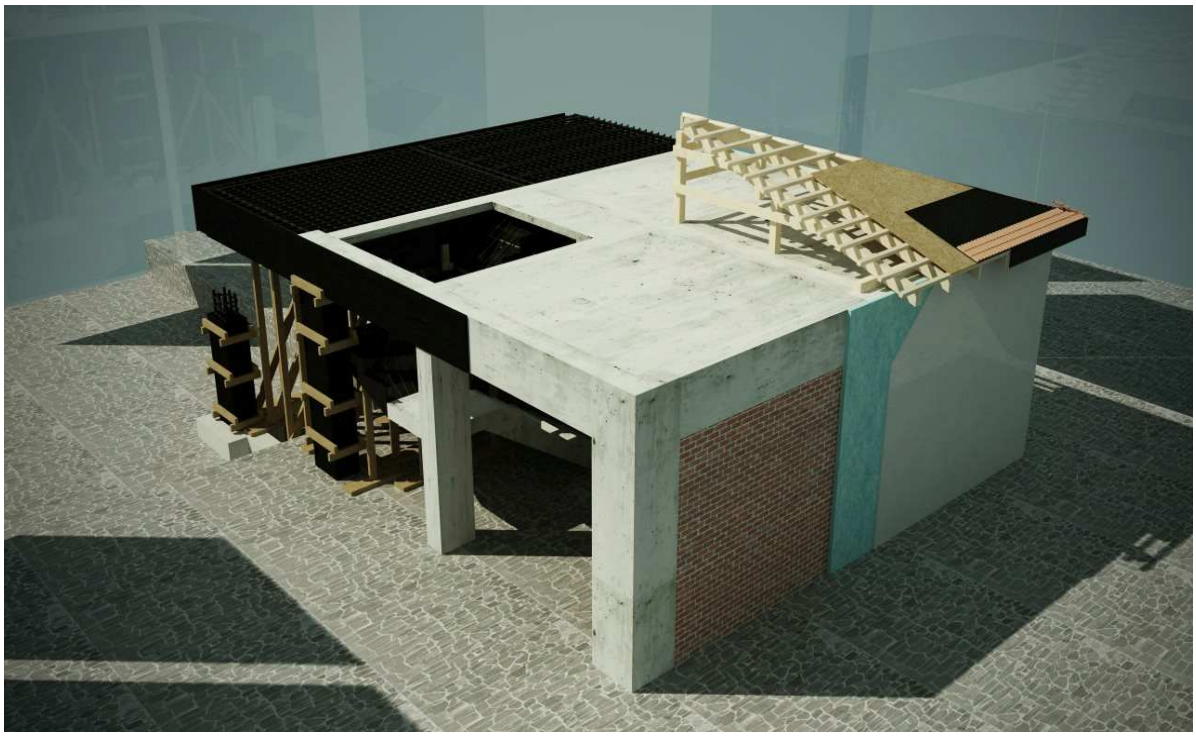


Figure 3 – AH View 2

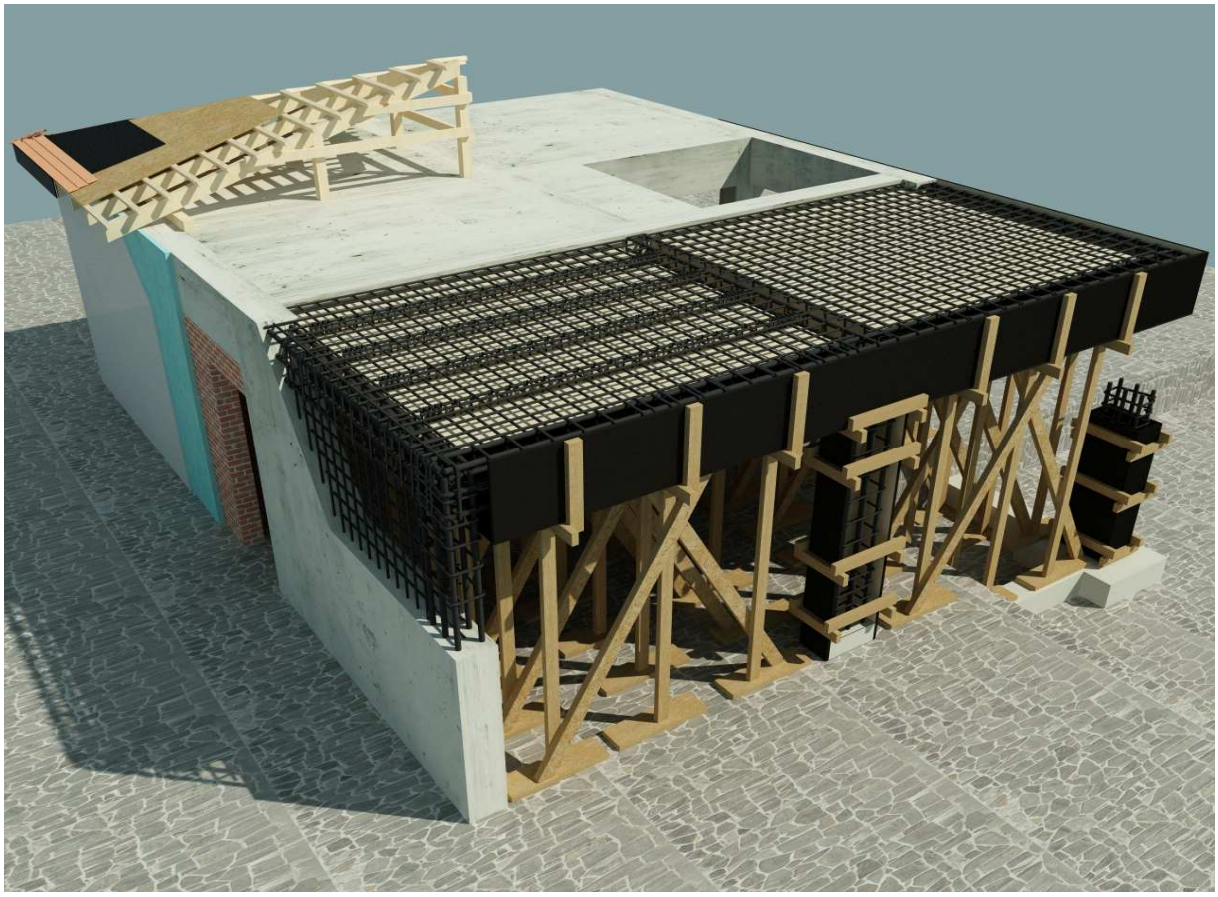


Figure 4 – AH View 3

Figure 5 – AH View 4

Figure 6 – AH View 5

Because of all the mentioned arguments above, the education supported by AH can be called JIT (Just in Time) education.

Another advantage of AH is giving the students a big opportunity to understand the other disciplines, as mechanical engineers, electrical engineers and architects who are the candidate business partner of civil engineers. So, after graduation, students can adapt to the professional business life easily.

Example courses for AH

There are some course examples listed below. Some other courses can be added to list.

a. Introduction to Civil Engineering:
   AH can be used to give general information about buildings and to introduce the building elements as:
   - Beams
   - Columns
   - Walls
   - Footings

b. Building Materials:
   The building materials can be introduced by AH. For example:
   - Concrete

- Rebar types
- Tile types
- Brick types
- Isolation materials
- Roof tiles
- Plaster types

c. Strength of Material:
Load types, load transfers, forces and critical points of elements can be shown by AH.

d. Reinforced Concrete:
AH can be used to teach rebar and concrete behaviours, foundation types, details of rebar placement, scaffolding and concrete pouring.

e. Construction Management:
For construction management course AH can be a material for quantity take-off, cost estimation, planning the processes, documentation and application of occupational safety and health

4. Conclusion

At the present time, higher education systems use new materials and methods to improve the quality of education. Due to developed technology, new educational materials are generally based on virtual reality technology. For remarkable part of university departments VR can work faultlessly, but in civil engineering for which product has hundreds of sources and shareholders, the education materials should be more realistic than VR.

For this reason, the application house will be a better educational material alternative, which includes all stages of construction, can be made different additions at any time, and most importantly, as a tool that students can turn theoretical knowledge into practical whenever they want.

References

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, *11*(3), 241–252. https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127

Behzadan, A. H., & Kamat, V. R. (2013). Automation in Construction Enabling discovery - based learning in construction using telepresent augmented reality. *Automation in Construction*, *33*, 3–10. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.003

Ebner, M., & Holzinger, A. (2007). Successful implementation of user-centered game based learning in higher education : An example from civil engineering, *49*, 873–890. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.11.026

Mills, J. E., & Treagust, D. F. (2014). Engineering Education -Is Problem-based or Projecr-

based Learning The Answer?, (June).

Roberto, L., Ribeiro, D. C., & Nicoletti, G. (2005). Student Assessment of a Problem-Based Learning Experiment in Civil Engineering Education, *131*(January), 13–18.

Sacks, R., & Barak, R. (2010). Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of Freshman Year Civil Engineering Education, *136*(January), 30–38.

Sampaio, A. Z., Ferreira, M. M., Rosário, D. P., & Martins, O. P. (2010). Automation in Construction 3D and VR models in Civil Engineering education : Construction , rehabilitation and maintenance. *Automation in Construction*, *19*(7), 819–828. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.05.006

Sosyal Sürdürülebilirliğin Bir Bileşeni Olarak Yer Duygusu: Antakya Tarihi Kent Merkezi Örneği

Ebru Harman Aslan[1], Melisa Diker[2]

[1,2] Mimarlık Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
Emails: ebru.aslan@iste.edu.tr, melisa.diker@iste.edu.tr

Özet

Hızlı ve kontrolsüz kentleşme, endüstrileşme ve kitle turizmi vb. sorunlar, tarihi kentsel çevrelerin fiziksel yapısını etkilemenin yanında, sosyal yapısında da değişime neden olmaktadır. Tarihi çevrelerde meydana gelen fiziksel ve sosyal değişime yanıt olarak, sürdürülebilir ve insan odaklı koruma yaklaşımları gündemdedir. Ekonomik ve çevresel boyutları yanında, sürdürülebilirliğin diğer bir boyutu olan sosyal sürdürülebilirlik, miras koruma alanında toplum yararına olmak üzere her geçen gün daha da önem kazanmaktadır.

Tarihi çevre korumada, sosyal sürdürülebilirliğin kritik faktörlerinden biri de yer duygusunun korunmasıdır. Relph'e [1] göre yer duygusunun yaratılmasında, mekânın fiziksel nitelikleri, gözlemlenen aktivite ve kullanımlar ve insanlar tarafından mekâna atfedilen anlamlar etkili olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, tarihi kentsel alanda oluşan yer duygusunu, anlam çerçevesinde irdelemektir. Bireysel ve kolektif olarak tarihi kent merkezine atfedilen anlam ve yer duygusu; okunabilirlik, algılanan işlevler ve çekim alanları, duyusal algı, yere bağımlılık ve aidiyet kavramları bağlamında ortaya konmuştur. Bu amaca ulaşmak için nitel araştırma yaklaşımı kullanılmıştır. Örnek alan olarak seçilen Antakya'da, tarihi kent merkezi sakinleriyle yapılandırılmış açık uçlu sorularla görüşmeler yapılmış ve bilişsel haritalardan yararlanılmıştır. Araştırma sonuçları, yerel kullanıcılara göre Antakya tarihi kent merkezine ilişkin yer duygusunu oluşturan kentsel imaj öğelerini, işlevleri ve anlamları ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, miras alanına ait yer duygusunun ve anlamların korunmasını amaçlayan insan odaklı miras koruma yaklaşımı gündeme getirilerek tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal Sürdürülebilirlik**,** Yer duygusu, Anlam, Koruma, Antakya Tarihi Kent Merkezi

Abstract

Problems such as rapid and uncontrolled urbanization, industrialization and mass tourism not only affect the physical structure of the historical urban environments but also change their social structure. In response to physical and social changes in historical environments, sustainable and human-centered conservation approaches are on the agenda. Along with the economic and environmental dimensions of sustainability, social sustainability is gaining more and more importance for the benefit of society in the field of heritage conservation.

One of the critical factors of social sustainability in historical preservation is the maintenance of sense of place. According to Relph [1], the physical setting, the percieved

functions and activities and the meanings attributed to the place by people are factors in creating the sense of place. The aim of this study is to examine the sense of place formed in historical urban area within the framework of meaning. The sense of place and meanings attributed to the historical city center are revealed in the context of legibility, perceived functions and attractions, sensory perception, place dependence and sense of belonging. Qualitative research approach is used to achieve this aim. Utilizing structured open-ended questions and cognitive maps, interviews were conducted with the residents of Antakya historical city center which was chosen as a sample area. The results of the study reveals the items of city image, functions and meanings that form the sense of place related to the historical city center of Antakya. Besides, human-centered heritage conservation approach, aiming to preserve the sense of place and meanings of heritage site, is raised as a question and discussed.

Keywords: Social sustainability, Sense of place, Meaning, Conservation, Historic city center of Antakya

1. Giriş

Tarihi çevreler, tarihsel süreklilik içinde toplumlar tarafından şekillendirilerek günümüze kadar ulaşmıştır. Tarihi kentsel alanlar, doğal ve inşa edilmiş çevrenin yanında, bu çevre ile etkileşim içinde bulunan toplumların sosyal ve kültürel pratiklerini, o çevreye verdikleri değeri, kullanımları ve anlamları da kapsamaktadır.

Tarihi çevrenin korunması, pek çok toplumsal yararı bünyesinde barındırmakta; kimlikli kentlerin yaratılmasına katkı sağlamanın yanında, sürdürülebilir yerel kalkınmanın itici gücü olarak da önemli bir ekonomik potansiyele işaret etmektedir. Ancak, hızlı ve kontrolsüz kentleşme ve kitle turizmi gibi sorunlar, tarihi çevreler üzerinde olumsuz baskılar oluşturmaktadır. Bu baskılar, tarihi çevrelerin dönüşümüne ve yenilemesine neden olmaktadir. Tarihi çevrelerin fiziki ve işlevsel olarak dönüşüm süreçleri, çoğu kez mevcut sosyal yapının değişimi ile sonuçlanmaktadır. Böylece, toplumla tarihi çevre arasındaki ilişki zedelenerek, miras alanının gelecek nesillere aktarılması ve sürdürülebilirliği tehlike altına girmektedir. Ayrıca, sosyal yapının değişimi yer ve insanlar arasında duygusal ilişki olarak tanımlanan yer duygusunun da zedelenmesine yol açabilir.

Tarihi çevrelerdeki sosyal yapı değişimlerine yanıt olarak, bu çevrelerle ilişki içinde bulunan toplumların sürdürebilirliğinin sağlanması için insan odaklı koruma yaklaşımları gündemdedir. Bu bağlamda, miras alanına ilişkin yerel sakinlerce algılanan imgesel kent öğelerinin, işlevlerin ve anlamların ortaya konulması, koruma ve yönetim önceliklerin belirlenmesinde yönlendirici olacaktır.

2. Teorik Arka Plan: Sosyal Sürdürebilirlik, Yer Duygusu ve Anlam

Sürdürülebilirlik, insan etkinlikleri nedeniyle oluşan hızlı çevresel hasarlara ve kıt kaynakların yönetimine dikkat çeken bir kavram olarak 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır. Çevresel bozulma dünya ölçeğinde bir sorun haline gelince, sürdürülebilirlik ortak bir politik

hedef olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Sürdürülebilirliğin, ekolojik, ekonomik ve sosyal boyutları vardır; 3 ayaklı sürdürülebilirlik modelinde, her boyut birbiriyle eşdeğer önemde kabul edilmektedir [2].

Sosyal sürdürülebilirliğin tanımlanmasında kullanılacak ölçüt ve perspektifler konusunda bir uzlaşma bulunmamaktadır. Her araştırmacı, kendi disiplinine özgü bir sosyal sürdürülebilirlik tanımı geliştirmiş olduğundan genellenebilir bir tanım bulmak güçtür. Son yıllarda, sürdürülebilir kalkınmanın sosyal boyutuna ilginin de artmasıyla kentsel sürdürülebilirlik alanıyla sosyal sürdürülebilirlik ilişkilendirilmeye başlanmıştır.

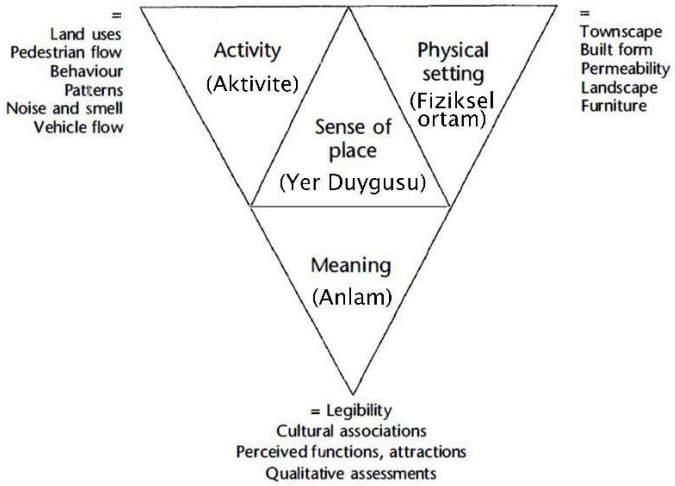
Enyedi ve Kovacs [3], tarihi kent merkezlerini odağa alarak sosyal sürdürülebilirliği, "yerel toplumun uyumlu gelişimini zorunlı kılan ve farklı sosyal grupların biraradalığını sağlayan, toplumsal bütünleşmeyi arttıran ve tüm grupların yaşam koşullarını iyileştiren bir çevreyi şekillendiren kentsel gelişim" olarak tanımlamışlardır. Yazarlar, kentin kimliğini değiştiren soylulaştırma ve sosyal ayrımcılık sorunlarına da dikkat çekmişlerdir [3].

Kentsel dönüşüm ve yenileme pratiklerinin beklenmeyen bir sonucu olarak, varlıklı grupların kent merkezlerinde ortaya çıkması ve yenilenmiş merkezi alanlarda mevcut yoksul sınıf ile yer değiştirmesi yani soylulaştırma meydana gelebilmektedir. Bu durumda, tarihi kentsel değerlerin korunması ve doğal çevrenin muhafazası mevcut nüfus için turist çekiminden daha önemli bir kaygı haline gelmektedir. Sonuçta, farklı çıkarların uyumlu hale getirilmesi ve farklı bakış açılarını ortaya koyan bir çözüm önerilmektedir [4].

Tarihi çevrede sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması için önemli faktörlerden biri de yer duygusudur [5]. Yer, insan ve çevre ilişkisinin bir sonucudur ve insan ile belirli bir ortam arasındaki güçlü bir duygusal bağı ifade etmektedir. Bir başka deyişle yer, kullanıcı anlam ve değerleri ile örülü belirli bir mekâna işaret etmektedir [6]. Rapaport [7], fiziksel özellikleri yanında yerlerin, insanların rolleri, deneyimleri, beklentileri ve motivasyonlarına dayalı olarak algıladıkları ve çözümledikleri mesaj ve anlamlar içerdiğini ileri sürmektedir. Relph [1], birey ya da grup olarak insan deneyimlerinin mekâna anlamını verdiğini ve böylece mekânın bir yer haline geldiğini ifade etmektedir. Benzer bir şekilde Tuan [8] da mekânın biz onu daha iyi bildikçe ve değer atfettikçe yer haline geldiğini söylemektedir. Sack [9] de yeri, bağlandığımız veya kontrol ettiğimiz mekânın sayısız alanları olarak tanımlamış; mekânın fiziksel, yerin ise hem fiziksel hem de kültürel niteliklere sahip olduğunu ifade etmiştir.

Yer duygusu, yerin sembollerini ve anlamlarını anlama aracılıyla yer ile oluşan duygusal bir bağdır [6]. Yer duygusu ve yerin ruhu kavramları birbirine yakın kavramlardır ve birbirleri yerine kullanılmaktadır. Yer duygusu, sıklıkla "*genius loci"* kavramı üzerinden tartışılmaktadır. Genius loci kavramı, insanların, yerlerin fiziksel ve duyusal özelliklerinin ötesinde bir şey deneyimlediklerini ve yerin ruhuna bir bağlılık hissedebildiklerini ileri sürmektedir [10]. Yerin ruhu tanımına göre, belli bazı yerlerin, bizde geri dönme isteği uyandıracak şekilde tanımlanması zor bir mutluluk duygusu uyandırdığı kabul edilmektedir [10].

Relph [1], fiziksel ortam, aktiviteler ve anlamların, yerlerin kimliğini oluşturan üç temel eleman olduğunu ortaya koymuştur. Yer duygusu, bu elemanların içinde bulunmaz; bu elemanlarla insan etkileşiminin bir sonucudur. Mimarlık ve kentsel tasarımın alanında öncü teorik çalışmalardan David Canter [11]'in iyi bilinen kavramsal modelinde, kentsel tasarım kalite bileşenleri açıklanmıştır. Relph'in [1] çalışmasını benimseyen bu modele göre kentsel çevre, "biçim", "aktivite" ve "imgelem" boyutlarından oluşan bir yerdir ve kentsel tasarımın kalitesi, bu üç bileşenin sonucudur. Bu modelin bir alt versiyonu, Punter [12] tarafından yer duygusunun yaratılmasına dâhil olan bileşenler için geliştirilmiştir. Punter'e göre, "form", "aktivite" ve "anlam", yer duygusunun yaratılmasında üç temel bileşendir (Şekil 1). Yani yer duygusu, yerin fiziksel durumu, gözlemlenen aktiviteler ve insanlar tarafından atfedilen anlamlara dayanmaktadır.



Şekil 1 – Yer duygusu temel bileşenleri [13].

Çağdaş bir kavram olarak miras, sürekli bir yaratılma ve yeniden yaratılma durumu içindedir. Bireyler, gruplar, topluluklar, uluslar ve bir dizi kurum geçmişin maddi kültürünün parçalarını yorumlar ve değer atfeder; böylece kimlikler ve mirasın sosyal ve kültürel anlamı yaratılır [14]. Miras koruma ve yönetim süreçlerinin de asıl konusu, maddi izlerden ziyade, toplumun miras varlığına yüklediği değerleri ve anlamları korumaktır [14].

1990'lardan itibaren, mirası konvansiyonel uzmanların aksine halkın görüşlerinden etraflıca anlamaya yönelik enteresan bir ilgi oluşmaya başlamıştır. Bu bakış, herkesin doğal ve kültürel miras hakkında söz sahibi olduğunu kabul eder ve herkesi bir şekilde uzman varsayar. Böylece uzman görüşlerinin hâkim olduğu ve kanıta dayalı malzeme-esaslı korumadan, katılım süreçlerinin aktif işletildiği insan odaklı koruma yaklaşımına doğru bir eğilim ortaya çıkmıştır. İnsan odaklı koruma yaklaşımı, araştırmacılar ve konvansiyonel uzmanlarla dengeli bir biçimde yerel halkın mirasa yüklediği anlamları desteklemek ve dikkat çekmek amacıyla, mirasın anlamlarını içerdekinin bakış açısından anlamak ister [15].

Teorik çerçeve bağlamında bu çalışmanın amacı, Antakya tarihi kentinde yaratılan yer duygusunu, miras alanına yerel halk tarafından yüklenen anlamlar çerçevesinde irdelemektir. Bireysel ve kolektif olarak tarihi kent merkezine atfedilen anlamlar ve yer duygusu;

okunabilirlik, algılanan işlevler ve çekim alanları, duyusal algılar ve yere bağımlılık ve aidiyet kavramları bağlamında ortaya konmuştur.

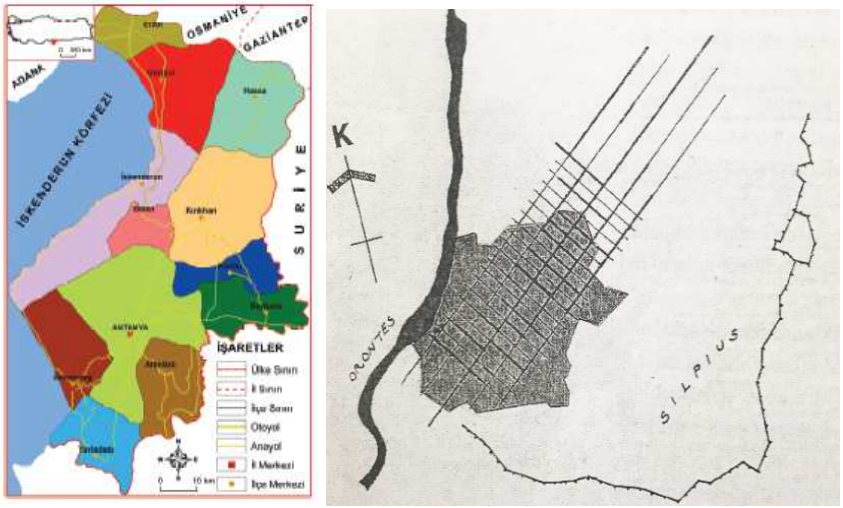
3. Araştırma Yöntemi

Tarihi kent merkezinde oluşan yer duygusunu anlam çerçevesinde irdelemeyi amaçlayan bu çalışmada, nitel araştırma yaklaşımı kullanılacaktır. Örnek alan olarak seçilen Antakya tarihi kent merkezi sakinlerine yapılandırılmış açık uçlu sorular sorularak görüşme yapılmış ve bilişsel haritalardan yararlanılmıştır.

3.1. Çalışma Alanı

Antakya, Anadolu'nun en güneyinde bulunan Hatay ilinin ilçe merkezidir (Şekil 2). Antakya' nın denizden yüksekliği yaklaşık 80 m., Akdeniz'e olan uzaklığı ise 22 km. mesafededir [16]. Kuzeyde Amanos Dağları ile güneyde Kel Dağları arasında kalan aşağı Asi Vadisi'nin başlangıcında, 440 metre rakımlı Habibi Neccar Dağı'nın eteklerindedir. Antakya'nın içinden geçen Asi Nehri'nin kanal haline gelmiş yatağı yaklaşık 2 km uzunlukta ve 30-35 metre genişliğindedir [17].

Akdeniz ikliminin etkisinde olan Antakya'da kışlar ılık ve bol yağışlı, yazlar sıcak ve kurak geçer. Ayrıca Hatay ilinin tipik iklim özelliklerden biri Güney-Batı yönünden esen hâkim rüzgârdır [18]. Demir [17], Helenistik çağda ızgara plan düzeninde gelişen Antakya kentinin (Şekil 2), süreç içerisinde sokakların birbiri içinde gelişimi ile girift ve organik bir ağ oluşturduğunu belirtmektedir. Antik Çağdaki plan kuruluşu incelenirse, Antakya Kenti'nin hâkim rüzgârı alacak şekilde konumlandığı anlaşılmaktadır [17].

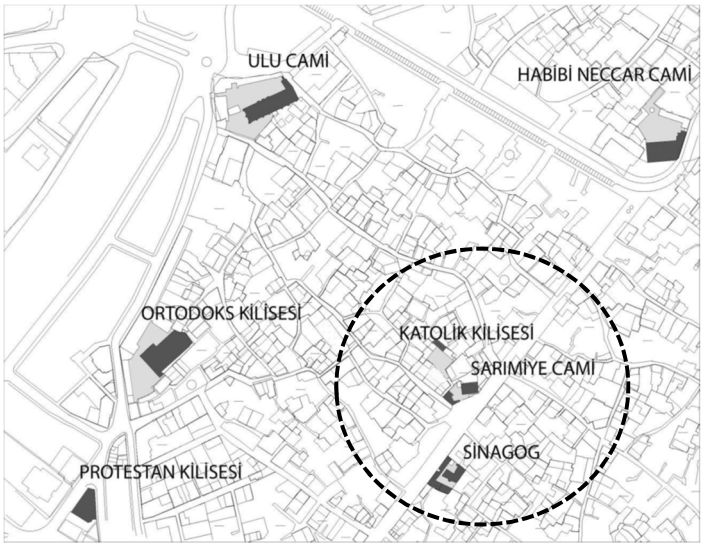


Şekil 2 – Antakya'nın Hatay İlinde Konumu [16] Antakya'nın Helenistik Dönemde Yerleşim Planı [17].

Antakya, Seleucus kralı I. Seleucus tarafından M.Ö. 300 tarihinde kurulmuştur. Yeni kurulan kente Seleucus'un babasının adı verilmiştir: Antiokheia [19]. Antakya, tarih boyunca Helenistik-Roma-Bizans-Arap-Selçuklu-Haçlılar-Memlükler-Osmanlılar-Fransız ve Türk

kültürlerine ev sahipliği yapmıştır. Antakya kenti de geçmişten bugüne kadar birçok farklı kültürü bünyesinde bulundurmaktadır.

Antakya'da Katolik Kilisesi, Sarımiye Camisi ve Sinagog birbirine çok yakın mesafelerde konumlanmıştır. Bu durum; Antakya kentinin üç dinin kesişim noktasını olduğunu fiziki mekânda da kanıtlamaktadır. Ayrıca; Antakya kenti sosyal açıdan da bir hoşgörü kentidir [20].



Şekil 3 – Antakya'da dini yapıların konumu olarak kilise, sinagog, cami ilişkisi[1] [20]

3.2. Görüşme Araçları

Görüşmelerde kullanılan sorular temel olarak iki bölüm halinde yapılandırılmıştır. İlk bölümde katılımcıların yaş, cinsiyet, meslek, eğitim durumu gibi demografik sorular yanında, memleketleri ve kaç yıldır Antakya'da yaşadıkları sorulmuştur. İkinci bölümde, 13 açık uçlu soru sorulmuş; cevaplar not alınarak kayda geçmiştir. Bu bölümde katılımcılar, açık uçlu sorulara birden fazla cevap verebilmekte ve görüşlerini ifade etmektedir. Son olarak katılımcılardan, Antakya tarihi kent merkezini tarif eden ve kendileri için önemli gördükleri yerleri işaretledikleri bir bilişsel harita çizmeleri istenmiştir.

3.3. Katılımcılar

Görüşmeler, 17 Mayıs 2019 tarihinde Antakya tarihi merkezinde yaşayan ya da çalışan 20 kişiyle yapılmıştır.

3.4. Veri Analizi

Çalışmanın açık uçlu görüşme sonuçlarından ve bilişsel haritalardan elde edilen veri seti, önce kendi içinde sınıflandırılmış ve sonrasında sosyal bilimlere yönelik bir istatistik

[1] Antakya'nın hâlihazır haritası, 2012 yılında Antakya Belediyesi'nden alınmıştır ve yazar tarafından hâlihazır haritada farklı dinlere ait ibadet yapılarının konumları belirlenmiştir.

paket programı olan SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) yardımıyla analiz edilmiştir. Veri setinin analizinde betimsel istatistik yanında, katılımcılar açık uçlu sorulara birden fazla cevap verebildiklerinden çoklu cevap (multiple response) analiz yöntemi kullanılmıştır. Sorulara verilen çoklu cevapların, hem toplam cevap sayısına göre hem de toplam katılımcı sayısına göre frekans dağılımları elde edilmiştir. Bu çalışmada, daha anlamlı bilgi sunduğu düşünülen toplam katılımcı sayısına göre frekans dağılımları kullanılmıştır.

4. Araştırma Bulguları

Bireysel ve kolektif olarak Antakya tarihi kent merkezine atfedilen anlam ve yer duygusuna ilişkin araştırma sonuçları; okunabilirlik, algılanan işlevler ve çekim alanları, duyusal algı, yere bağımlılık ve aidiyet kavramları ile bağlantılı olarak hazırlanan görüşme sorularının analizinden elde edilmiştir.

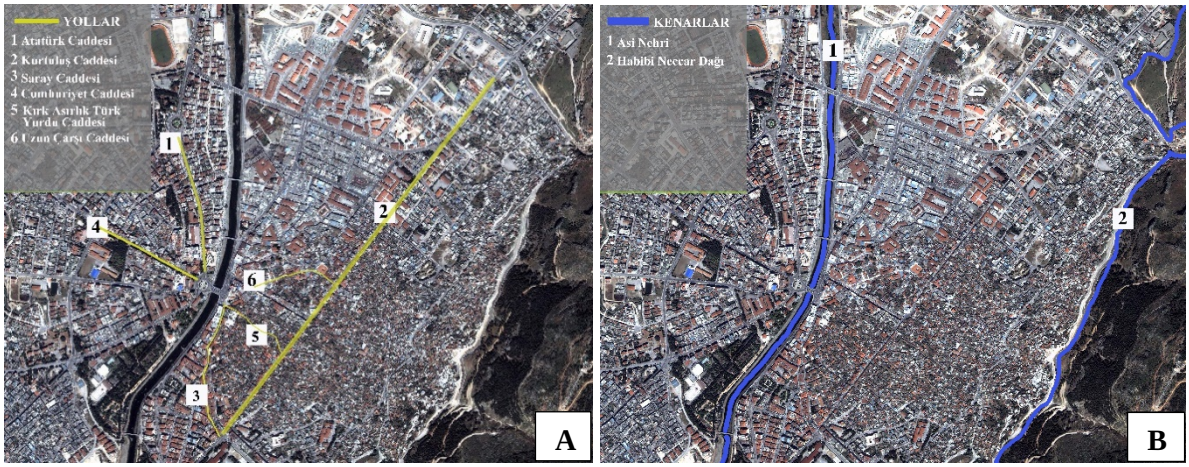
Alanda görüşme yapılan katılımcıların %90'ı Antakya'da doğmuş, %10'u ise sonradan kente yerleşmiştir. Katılımcıların %45'ı kadın, %55'i ise erkek olup, yaşları 24 ile 77 arasında değişmektedir. Katılımcılar en az 8 yıl, en fazla 77 yıldır Antakya'da yaşamlarını sürdürmektedir. Bunların %40'ı, 30-40 yıldır bu kentte ikamet etmektedir.

Okunabilirlik

Lynch'e göre nesnelerin yalnızca görme duyusuna değil, diğer duyulara da keskin ve yoğun bir biçimde verili oldukları durumlarda buna "okunaklılık" denebilir [21]. Bir kent tanımlanabilir sembollerle bir doku oluşturup görsel olarak kavranabilir; yani kent, *yolları, kenarları/sınırları, bölgeleri, düğüm/odak noktaları ve işaret öğeleri* kolayca ayırt edilebilen ve bütünlüklü bir doku içinde gruplandırılabilen bir alan olacaktır [21]. Yapılan görüşmeler ve bilişsel haritalar yardımıyla, Antakya tarihi kent merkezinin katılımcılar tarafından okunabilirliği ölçülmeye çalışılmıştır (Şekil 6F).

Yollar, gözlemcilerin alışkanlık ve olanaklara bağlı olarak, arasıra kullandıkları alanlardır [21]. Caddeler, sokaklar, yaya yolları, kanallar ve demiryolları olabilir. Katılımcılara, Antakya tarihi kent merkezinde önemli gördükleri cadde ve sokaklar sorulmuştur. Atatürk Caddesi (katılımcıların % 57.9'u), Kurtuluş Caddesi (% 47.4'ü) ve Saray Caddesi (% 42.1'i) algıda en öne çıkan akslardır. Bunları, Cumhuriyet Caddesi (% 15.8), Kırk Asırlık Türk Yurdu Caddesi (% 15.8), Uzunçarşı Caddesi (% 10.5) izlemektedir (Şekil 4A).

Kenarlar, özlemciler tarafından ulaşım aksları gibi kullanılmayan doğrusal öğeler olup, iki bölge arasında sınır işlevi görür, sürekliliği doğrusal olarak bölerler [21]. Kıyılar, demiryolları, duvarlar kenar öğelerine örnektir. Antakya tarihi kentini sınırlayan kenar/sınır öğeleri sorulduğunda katılımcıların % 95'i Asi Nehri; % 55'i Habib-i Neccar Dağı cevabını vermişlerdir. Bunları Amanos Dağları (% 15), Kel Dağ (% 15) ve St. Pierre Dağı (% 10) cevapları takip etmektedir. Antakya Kalesi ve kent surları az bir oranla (% 5) da olsa bir sınır öğesi olarak algılanmaktadır (Şekil 4B).



Şekil 4 – Antakya tarihi kent merkezinde yollar ve kenarlar[2]

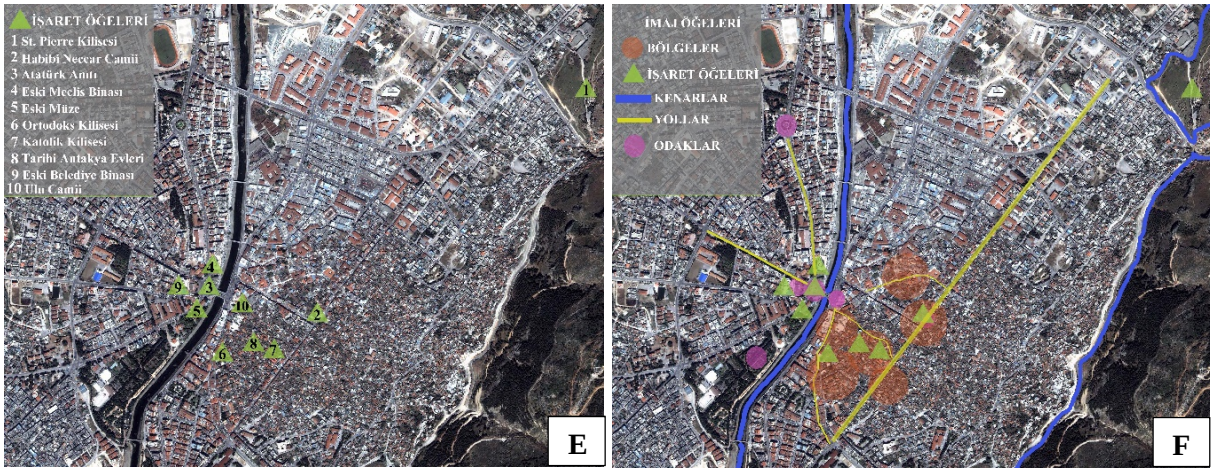
Bölgeler, kentin orta ve/veya büyük ölçekli bölümlerini oluştururlar ve bazı ortak belirleyici özellikleriyle tanımlanabilirler. Gözlemci, psikolojik olarak bu alanların içine girdiğini hisseder [21]. Antakya tarihi kentinde en önemli bölge eski Antakya evlerinin bulunduğu alanlar olarak ortaya çıkmıştır (katılımcıların 23,5'i). Kurtuluş Caddesi çevresi (%17.6), Affan mahallesi (%17.6) ve Uzunçarşı (%17.6) kentin başlıca bölgeleri arasındadır. İkincil bölgeler arasında Saray Caddesi çevresi (%11.8) ve Zenginler Mahallesi (%11.8) gelmektedir (Şekil 5C).

Düğüm/Odak noktaları, gözlemcinin kente girebilmesini sağlayan stratejik noktalardır ve bir noktadan diğerine yol alırken kullandığı yoğun odak noktalarıdır. Kavşaklar ve meydanlar düğüm noktalarına örnek teşkil eder [21]. Antakya kent merkezinde buluşma ve toplanma yeri olarak kullanılan düğüm/odak noktalarının başında Köprübaşı Meydanı (katılımcıların % 72.2'si) gelmektedir. Valigöbeği (% 27.8) ve Ulu Cami Meydanı (% 16.7) da önemli odak noktaları arasında algılanmaktadır. Bunları, Habib-i Neccar Cami önü, Eski Belediye Binası önü, Cumhuriyet Meydanı ve Atatürk Parkı izlemektedir (%11.1) (Şekil 5D).

Şekil 5 – Antakya tarihi kent merkezinde bölgeler ve odaklar

[2] Tüm çalışmada zemin olarak kullanılan Antakya hava fotoğrafı 2012 yılında Antakya Belediyesi'nden alınmıştır ve üzerine yazarlar tarafından kentsel imaj öğeleri işlenmiştir.

İşaret öğeleri, noktasal referans kaynağını oluşturur ve bunlar bir bina, bir dükkan ve bir işaret levhası gibi çoğunlukla kolay tanımlanabilen fiziksel oluşumlardır [21]. Tarihi kent merkezinde, katılımcıların Antakya deyince aklına gelen bina/anıt eser/heykel vb. gibi işaret öğelerinin başında St. Pierre Kilisesi gelmektedir. Katılımcıların %60'ı bu yapıyı güçlü bir kent imgesi olarak algılamaktadır. Onun dışındaki imgeler, Habib-i Neccar Camii (% 40), Atatürk Anıtı (% 25) ve Eski Meclis Binası (%20)'dır. Katılımcıların % 15'i Eski Müze Binası, kiliseler, eski Antakya evleri, Ortodoks Kilisesi ve Eski Belediye Binası yanıtını vermişlerdir. Ulucami (% 10) de kentin işaret öğelerinden biri olarak algılanmıştır (Şekil 6E).



Şekil 6 – Antakya tarihi kent merkezinde işaret öğeleri ve kent imaj öğeleri

Algılanan İşlevler ve Çekim Alanları

Antakya tarihi kent merkezinde, katılımcıların sıklıkla gittiği yerlerin başında Atatürk Parkı (katılımcıların %30'u) gelmektedir. Atatürk Parkı'nda dinlenme, sohbet etme, çay-kahve içme, temiz hava alma, yürüyüş ve spor faaliyetlerini yaptıkları katılımcılar tarafından ifade edilmiştir. Kentin önemli akslarından biri olan Kurtuluş Caddesi üzerinde yer alan tarihi Affan Kahvesi (%25) de katılımcıların ilgi gösterdikleri yerlerdendir. Katılımcılar bu mekânda dinlenme, sosyalleşme, çay-kahve içme, masa oyunları oynama gibi aktivitelerle zaman geçirmektedir. Antakya tarihi kent dokusu (%20), Saray Caddesi (%20), ve Harbiye (%20), görüşme katılımcılarının diğer yer tercihleridir. Tarihi dokuda gezme, fotoğraf çekme, yeme-içme; Saray Caddesi'nde alışveriş; Harbiye'de gezme ve yeme-içme işlevleri ön plandadır. Görüşmelere göre, Köprübaşı Meydanı (%10) dinlenme ve sosyalleşme; Hatay Arkeoloji Müzesi (% 10) ise gezme, görme ve bilgilenme işlevlerine cevap vermektedir. Bunlar dışında sıklıkla gidilen yerler, Uzunçarşı, Habib-i Neccar Dağı (seyir, piknik, yürüyüş), St. Pierre Kilisesi, Çevlik, Katolik Kilisesi, Belediye Sosyal Tesisleri, Atatürk Caddesi, alışveriş merkezleri ve Valigöbeği'dir (Şekil 7G). Görüşmelerde bazı katılımcılar, sıklıkla gittikleri yerleri nasıl algıladıklarını ve işlevlerini şu şekilde ifade etmişlerdir:

"Eski Antakya evleri civarındaki restoranlarda yemek yemek, vakit geçirmek hoşuma gider…" (G02: kadın, 27, mimar)

"Antakya sokaklarında geziyor, fotoğraf çekiyorum" (G16: erkek, 38, garson)

"Affan Kahvesi sakin… Antika bir yer, 120 senelik sandalyeler var…" (G11: erkek, 72, emekli)

"Saray Caddesindeki otantik kafelere gidiyoruz…" (G10: kadın, 24, garson)

"Eski Antakya Parkı Fransız döneminde haç şeklinde yapılmış. Kızımı oynatmak, dinlenmek, temiz hava almak için gidiyoruz…" (G15: erkek, 32, esnaf)

Görüşmelere göre, Antakya tarihi kentinin en önemli çekim noktası St. Pierre Kilisesi'dir (Katılımcıların % 60'ı). İnsanlar hac yeri de olan kiliseyi gezip görmek ve ibadet amacıyla ziyaret etmektedir. Bir diğer çekim noktası olan Hatay Arkeoloji Müzesi (% 40)'nin işlevi eğitimdir. Tarihi kent dışında olmasına karşın, tüm katılımcıların kent imgesi içinde algıladıkları Harbiye (%30)'de gezme, dinlenme, yeme-içme, rekreasyon gibi işlevlere yanıt vermektedir. Kentin tarihi dokusu (%25) ve Uzunçarşı (%25), genellikle ziyaret edilen yerlerdendir. Uzunçarşı'ya sıklıkla alışveriş ve yeme-içme amacıyla gidilmektedir. Habib-i Neccar Camii (%20), Atatürk Parkı (%20) ve Saray Caddesi (%20) önemli çekim alanları arasındadır. Habib-i Neccar Camii'ne gezip görme, Atatürk Parkı'na dinlenme ve rekreasyon, Saray Caddesi'ne de gezme, yeme-içme, kafe ve restoranlarda sosyalleşme amacıyla gidilmektedir. Antakya Kalesi (%15) çekim alanları kapsamındadır. Kale genellikle gezme-görme ve seyir amacıyla ziyaret edilmektedir. Uzunçarşı içerisinde yer alan Çınaraltı (%10) ve Kurşunlu Han (%10)'ın başlıca ziyaret edilme sebebi künefedir. Habib-i Neccar Dağı (%10), seyir, piknik ve yürüyüş amacıyla tercih edilmektedir (Şekil 7H). Çekim noktalarına ilişkin katılımcı görüşlerinden bazı kesitler aşağıda sunulmuştur:

"St. Pierre Kilisesi, Hristiyanlığın yayılışından dolayı önemli…Labirent gibi bir doğası var." (G18: erkek, 73, emekli)

"…Turist misafirlerim olduğunda St. Pierre Kilisesi, müze, Uzunçarşı, Habib-i Neccar Camii, merkezdeki kiliselere gitmeyi tercih ederim…Özellikle genç nüfus eski Antakya evlerinin bulunduğu alanda dönüşüme uğramış kafe-restoran, bar yapılarına gitmeyi tercih eder." (G02: kadın, 27, mimar)

"Kent açık müze gibi. Antakya'nın her yeri müze gibi." (G11: erkek, 72, emekli)

"Lokantalara…Daha çok yemek yemeğe geliyorlar. (G16: erkek, 38, garson)

Şekil 7 – Antakya tarihi kent merkezinde algılanan işlevler ve çekim noktaları

Duyusal Algı

Çevreyi tanımlamak ve imgelemek için görsel duyumlardan olduğu kadar, koku, ses, dokunma, tat, devinduyum gibi diğer uyarıcılardan da yararlanılır [21]. Bu bağlamda, Antakya tarihi kent merkezinin kullanıcılar tarafından anlamlandırılmasında koku, ses ve tat duyularının etkisi araştırılmıştır.

Görüşmelerde katılımcılara "Antakya dendiğinde aklınıza hangi kokular geliyor, burada kokusuyla tarifleyebileceğiniz yerler var mı?" sorusu sorulmuştur. Uzunçarşı'da bulunan Baharatçılar Çarşısı baharat kokusuyla (katılımcıların %60'ı) –özellikle kömbe baharatı- öne çıkmaktadır. Baharat kokusunu, %40'lık bir oranla yemek kokusu izlemektedir. Tarihi dokuda yer alan taş fırınlardan gelen ve sokaklara sinen yemek kokuları, Uzunçarşı'da buram buram kâğıt kebabı kokusu, kömbe ve katıklı ekmek kokuları yerlerle ilişkilendirilen kokulardır. Tarihi sokaklarda yasemin, gül, kolonya ve limon ağacı çiçeği gibi çiçek kokuları (%30) konu edilmiştir. Tarihi sokaklarla ilişkilendirilen diğer kokular da Defne sabunu (%20) ve kahve (%15) kokularıdır. Özellikle yaz aylarında Asi Nehri'nden gelen kötü kokular (%15) ve kış aylarında kömür ve is kokuları (%10) olumsuz bir duygu oluşturmaktadır.

Katılımcıların Antakya tarihi kent merkezindeki yerlerle ilişkilendirdikleri seslerin başında ibadet yapılarından gelen sesler gelmektedir. Ezan sesini (%61.1), Çan (%44.4) ve Hazan sesi (%11.1) takip etmektedir. Uzunçarşı'daki Bakırcılar Çarşısı'ndan (%22.2) ve Halep Çarşısı'ndaki hasırcılardan (%5.6) gelen gelen üretim sesleri de görüşmelerde konu edilmiştir. Dış mekânlardaki insan sesleri (%22.2) ve araç trafiğinin oluşturduğu sesler (%11.1) de katılımcıların algısında yer etmiştir.

Katılımcılara "Antakya dendiğinde aklınıza hangi tatlar geliyor, özellikle tatlar için gittiğiniz yerler var mı?" sorusu sorulmuştur. Bu soruya tüm katılımcıların ortak yanıtı künefe tatlısı (%100) olmuştur. Künefe, Köprübaşı, Kurşunlu Han ve Çınaraltı ile ilişkilendirilmiştir. Künefeyi, kabak kömbe, külce, kerebiç, baklava ve müşebbek gibi diğer yöresel tatlılar (%35) takip etmektedir. Bu tatlılar Antakya tarihi merkezi ile ilişkilidir. Uzunçarşı, tepsi kebabı

(%30) ile birlikte anılmaktadır. Oruk (%30) ve humus (%15) gibi geleneksel tatlar, eski Antakya evleri civarındaki restoranlar ile tariflenmektedir.

Yere Bağımlılık ve Aidiyet

Yere bağımlılık, insanlar ve yer arasındaki güçlü bağlara işaret etmektedir [22]. Low&Altman [22]'a göre yere bağımlılık, bir yere ilişkin duygu ve his, bilgi ve inançlar ile tutum ve davranışlar arasındaki etkileşimden oluşmaktadır. Yer duygusunun aksine, yer bağımlılığı yerin ölçülebilir boyutudur, yani yerin bizim için ne anlama geldiğini tanımlamaktadır [23]. Yer bağımlılığının, yerin korunmasında olumlu bir rolü vardır. Belirli bir yere bağ hisseden ile hissetmeyen insanların çevresel davranışlarında bir fark olduğu düşünülmektedir [6].

Görüşmelerde katılımcılara, Antakya'yı diğer yerlerden farklı kılan özelliklerinin neler olduğu ve kendileri için kentin öneminin ne olduğu sorulmuştur. Katılımcıların %42.1'i, Antakya'da doğup büyümeleri nedeniyle kente önem atfetmektedir.

"Memleketim, gezilecek yerleri biliyorum. Burada büyüdüm." (G14: Kadın, 31, garson)

"Doğduğum büyüdüğüm yer…Beni bağlayan herşey burada." (G10: kadın, 24, garson)

Katılımcıların %42.1'ı, Antakya'nın tarihi dokusu ve kadim bir kent olması nedeniyle önemli ve diğer kentlerden farklı olduğunu ifade etmişlerdir.

"Yüzyılların beri süregelen çok katmanlı kültürün izlerini bu şehirde bulmak mümkün. Hem sosyolojik anlamda hem fiziksel anlamda bu izleri takip etmek onu farklı kılan özelliklerden." (G02: kadın, 27, mimar)

"…Antik kent olması beni etkiliyor." (G08: kadın, 27, biyolog)

"7 sefer batmış, 7 sefer tekrar şehir olmuş. Kıyametten kırk sene önce batacak diye bir deyim var." (G11: erkek, 72, emekli)

Üç semavi dinin birarada yaşaması ve mevcut hoşgörü ortamı (%36.8) da katılımcılar tarafından Antakya'nın belirleyici bir özelliği tanımlanmaktadır.

"Tüm dinlerin birleştiği yer, hoşgörü ortamı." (G15: erkek, 32, esnaf)

"4 dinin yaşadığı tek şehir." (G16: erkek, 38, garson)

"Dinlerin buluşma yeri." (G04: kadın, 37, satış elemanı)

Antakya'nın farklı sosyo-kültürel yapıdan gelen insanlara ev sahipliği yapması (%26.3) da kenti farklı kılan özellikler arasında gösterilmiştir.

"Kültürlerin birarada yaşayabilmesi, anlaşıyoruz." (G05: kadın, 30, esnaf)

"Hayatı daha demokrat yaşayabiliyoruz, kozmopolit bir yer." (G06: kadın, 52, esnaf)

"…Oyunlara gelmez, akıllı bir kent. Hümanist." (G15: erkek, 32, esnaf)

"Çok kültürlü, çok dinli olması farklı kılıyor. İletişimsel olarak sıkıntı yok, birbirleriyle yaşayabiliyor bu insanlar." (G20: erkek, 32, akademisyen)

Katılımcılar için aile ve sosyal çevrelerinin Antakya'da bulunması (%15.8), yemek kültürünün zenginliği (%15.8), sakin bir kent olması (%10.5) ve iklimin yaşamaya elverişli olması (%10.5) da Antakya'yı farklı ve önemli kılan özelliklerdendir.

Görüşmelerde katılımcılara, Antakya'yı tanımlayan şeyler/ yerlerin nereler olduğu ve kendileri için bu yerlerin neden önemli olduğu sorulmuştur. Katılımcılara göre, St. Pierre Kilisesi (%25), tarihi doku ve eski Antakya evleri (%25), ile Uzunçarşı (%25), kenti tanımlayan yerlerin başında gelmektedir.

"Uzunçarşı…Yaşama dair tarihi, kültürel, doğal pek çok yapıyı birarada bulabilme." (G1: kadın, 42, akademisyen)

Habib-i Neccar Cami (%20) ve Hatay Arkeoloji Müzesi (%20)'ne de önem atfedilmektedir. Kurtuluş Caddesi (%15), Köprübaşı (%15) ve Atatürk Parkı (%15) da Antakya'yı tanımlayan öğelerdendir.

"Habib-i Neccar, Kur'an-ı Kerim'de adı geçen bir mekân." (G19: erkek, 50, garson)

"Köprübaşı. Kendimi bildim bileli güzergâh, çarşıya giriş kapısı gibi." (G20: erkek, 32, akademisyen)

"Atatürk Parkı'nda kendimi daha rahat hissediyorum. Ağaçlar var." (G06: kadın, 52, esnaf)

"Elektrik verilen ilk cadde Kurtuluş." (G15: erkek, 32, esnaf)

"Kurtuluş Caddesi ezan, çan ve hazanın birleştiği nokta." (G07: erkek, 37, esnaf)

Katılımcılara göre Harbiye (%10), künefe (%10), farklı dinleri birarada barındırması (%10) ve kendi evleri (%10) de kenti tanımlayan öğelerdendir. Bu öğeleri, farklı kültürlere ev sahipliği yapma (%5), yemek kültürü (%5), Antakya Kalesi (%5), Eski Meclis Binası (%5) ve Saray Caddesi (%5) izlemektedir.

"Dinler, farklı kültürler ve yemek." (G02: kadın, 27, mimar)

"Cami, kilise, havra yanyana… Dinler hoşgörü içinde yaşıyor." (G12: erkek, 65, esnaf)

Görüşmelerde katılımcılara, kendilerini Antakya'ya ait hissedip hissetmedikleri ve bunun nedeni sorulmuştur. Katılımcıların %95'i Antakya kentine olan aidiyetini dile

getirmiştir. Aidiyet hissetmelerinin başlıca sebebi olarak buranın memleketleri olmasını, burada doğup büyümüş olmalarını (%55) göstermişlerdir. İkincil nedenler arasında ailevi bağlar (%30) ve katılımcıların Antakya'da kendilerini rahat hissetmeleri (%20) vardır.

"Evet, Antakya'ya girince evime girmiş gibi oluyor, memleket olduğu için." (G08: kadın, 27, biyolog)

"Evet, geçmişimiz burada aile burada…" (G06: kadın, 52, esnaf)

"Evet. Huzur bulabileceğim mekânlara sahip bir şehir. Kendimi rahat hissediyorum." (G1: kadın, 42, akademisyen)

Katılımcılara göre, Antakya kentine aidiyet hissetmelerinin nedenleri arasında sosyal çevrelerinin ve arkadaşlarının burada olması (%15), hoşgörü ortamı (%15) ve yemek kültürü (%15) bulunmaktadır. Ayrıca, tarihi geçmiş (%10), hava ve iklim koşullarının yaşamaya elverişli olması (%10) da bu nedenler arasındadır.

"Evet…iklim, yaşam şartları daha kolay, hoşgörü ortamı var." (G12: erkek, 65, esnaf)

"Evet. Havası güzel, yemekleri güzel." (G13: erkek, 77, emekli)

"Evet. Yemekler önemli, kültürün bir parçası." (G15, erkek, 32, esnaf)

Katılımcılardan iki kişi kente aidiyet hissetmekle beraber, hoşgörü ortamının son dönemde zedelendiğini düşünmektedir. Katılımcılardan bir kişi ise Antakya'ya aidiyet hissetmediğini ifade etmiştir.

"Ait hissediyorum. Ama son yıllarda eskiden daha çok var olduğunu düşündüğüm hoşgörü ve anlayışın zedelendiğini düşünüyorum." (G02: kadın, 27, mimar)

"Hissetmiyorum şuan, her türlü insan geliyor. Suriyelilerin olması sorun. Onlardan rahatsız olduk." (G3: erkek, 32, kitapçı)

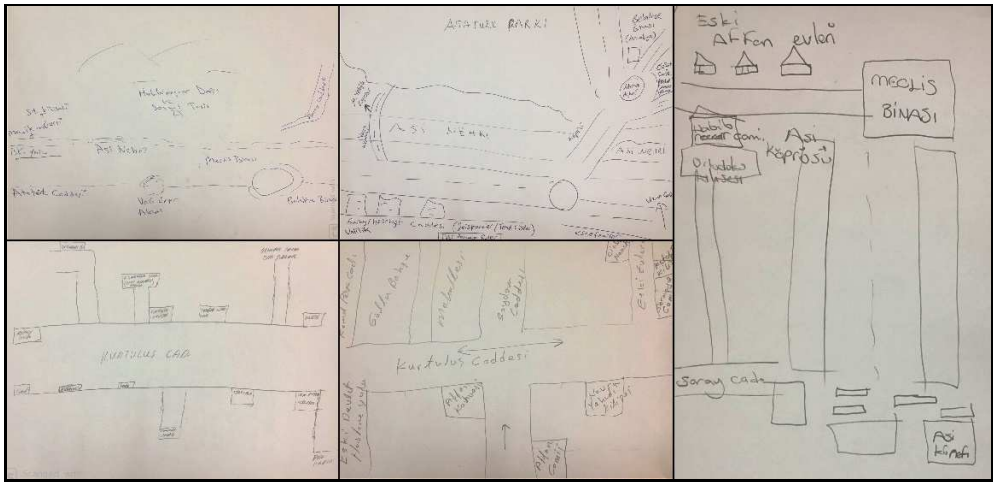
Bilişsel Haritalar

Erkan, zihinsel haritayı çevrenin kullanıcıların zihninde oluşmuş haritası veya modeli olarak tanımlamaktadır. Çevrenin fiziksel ve sosyal özelliklerini taşıyan bu haritalar, gözlemcinin kişisel özellikleri doğrultusunda çevreden gelen uyarımları seçip mekânın zihinsel haritasını oluşturmasıdır [24]. Bu kapsamda Antakya kentinde görüşme esnasında katılımcılardan Antakya'nın bilişsel haritasını çizmeleri istenmiş (Şekil 8) ve hafızada kalan mekânların bir analizi yapılmıştır (Şekil 9).

Antakya'da yapılan görüşmelerde çizilmesi istenen bilişsel haritalara bakılacak olursa; St. Pierre Kilisesinin (%45) oranda kentte en çok bilinen yer olduğu anlaşılmaktadır. Bilişsel haritalarda çizilen diğer öğeler sırasıyla Asi Nehri (%45), Habib-i Neccar Camii (%40),

Uzunçarşı (%35), Eski Meclis Binası (%35) Köprübaşı, Atatürk Parkı, Saray Caddesi (%30) olmaktadır. Bilişsel haritalara çizilen Kurtuluş Caddesi, Affan Kahvesi, Katolik Kilisesi, Hatay Arkeoloji Müzesi %25 oranında kentli tarafından hatırlanmaktadır. Bu sırayı Ulucami, Ortodoks Kilisesi, Eski Belediye Binası, Sermaye Camii (%20) ile Atatürk Caddesi, Havra, Eski Antakya Evleri (%15), Valigöbeği, Eski Müze Binası, Affan (Ertuğrul) Camii, Cindi Hamamı, Antakya Kalesi, Harbiye, Atatürk Heykeli (%10) izlemektedir.

Bilişsel haritalarda daha az oranda çizilen yapılar ise Protestan Kilisesi, Vilayet Konağı, Petek Patanesi, Askeri Kışla, Fevzi Çakmak Lisesi (Eski Ruhban Okulu), Eski ve Yeni Antakya bölgeleri, Habib-i Neccar Dağı, St. Pierre Dağı ve Saray Caddesi üzerinde sergilenen arkeolojik kalıntılar (%5) olmaktadır.



Şekil 8 – Katılımcılar tarafından çizilen bazı bilişsel harita örnekleri

Şekil 9 – Bilişsel haritalara göre Antakya kent imajında öne çıkan öğeler

5. Tartışma ve Sonuç

Feilden ve Jokilehto [25], sürdürülebilir bir kentsel koruma için sadece geleneksel kentsel dokunun korunmasının yeterli olmayacağını, sosyal, çevresel ve ekonomik sorunlara da cevap verilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Çağdaş koruma kuramlarına göre korumanın amacı, mirasın maddi varlığından ziyade, toplum için anlamını korumaktır. Bu bağlamda, miras alanlarının korunması, orada yaşayan yerel toplulukların ve onların mirasa yüklediği anlamların korunması ile doğrudan ilişkilidir. Bu bakış açısı ile şekillenen insan odaklı koruma yaklaşımları, yukarıdan aşağı dikte edilen bir koruma anlayışı yerine, aşağıdan yukarı doğru yayılan bir anlayışı benimsemektedir. Bunu gerçekleştirmek için, miras koruma ve yönetim süreçlerine yerel halkın dâhil edilmesini esas alır. Böylece, insanlar ve yerler arasındaki duygusal bağ olarak tanımlanan yer duygusu da korunmuş olacaktır. Yerel toplulukların miras alanından uzaklaştırıldığı soylulaştırma ya da yerel toplulukların mirasa yüklediği işlevlerin ve anlamların dikkate alınmadığı durumlarda, miras alanı kendine özgü yer duygusunun ve kimliğinin zedelenmesi tehlikesi ile karşı karşıya kalabilecektir.

Antakya tarihi kentinde yaratılan yer duygusunun, miras alanına yerel halk tarafından yüklenen anlamlar çerçevesinde irdelenmesinin amaçlandığı bu çalışmada; yerel kullanıcılar tarafından tarihi kent merkezine atfedilen anlamlar; okunabilirlik, algılanan işlevler ve çekim alanları, duyusal algılar ve yere bağımlılık ve aidiyet kavramları bağlamında ortaya konmuştur. Bu araştırmanın sonuçları, tablolar halinde aşağıda özetlenmiştir (Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3). Tablo 1'de görüldüğü üzere; Atatürk ve Kurtuluş Caddeleri yollar, Asi Nehri-Habibi Neccar Dağı kenti sınırlayan elemanlar, Eski Antakya Evleri-Kurtuluş Caddesi Çevresi bölgeler, Köprübaşı Meydanı-Valigöbeği odaklar, St. Pierre Kilisesi ve Habib-i Neccar Camii ise işaret öğeleri olarak Antakya'nın en çok algılanan ana kentsel imaj öğeleridir.

St. Pierre Kilisesi ve Hatay Arkeoloji Müzesi kentte en önemli çekim noktaları iken, Atatürk Parkı ve Tarihi Affan Kahvesi dinlenme açısından önemli yerlerdir (Tablo 1). Uzun Çarşı yemek ve baharat kokusu ile tanımlanmaktayken, kentte en çok duyulan sesler ise ezan ve çan sesleri olmaktadır. Kentte Künefe tatlısı Köprübaşı ve Kurşunlu Han ile tepsi kebabı ise Uzun Çarşı ile tanımlanmaktadır. Katılımcıların bilişsel haritalarında, St. Pierre Kilisesi ile Habib-i Neccar Camii öne çıkan öğelerdir (Tablo 2). Bu durum ibadet yapılarının kentli açısından önemini vurgulamaktadır. Antakya'yı farklı kılan özellikler ise; tarihi bir kent olması, üç dinin birarada yaşaması, kentte bulunan hoşgörü ortamı iken, insanların burada doğup büyümüş olması ve ailevi sebepler aidiyet açısından önemli olmaktadır. Antakya'yı tanımlayan yerler ise St. Pierre Kilisesi ve Tarihi Antakya Evleri'dir (Tablo 3). Antakya'da öne çıkan kentsel-kültürel öğeleri, değerleri ve anlamları vurgulayan bu çalışma, tarihi dokunun korunması ve yeni yapı tasarım süreçlerinde, yerel topluluklarca kente atfedilen değer ve anlamların karar vericiler tarafından dikkate alınması gerekliliğinin altını çizmektedir.

İnsanlar işlev ve anlam yükledikleri ve aralarında bir bağ hissettikleri şeyleri korumak isterler. Miras açısından düşündüğümüzde de bu durum değişmez. Bu bağlamda, miras alanlarının korunabilmesi için insanlarla miras varlıkları arasındaki bağı ve yüklenen anlamları anlamak ve bu bağı güçlendirmek için çaba harcamak gerekmektedir. Çağdaş korumanın amacı da budur. Antakya tarihi kent merkezi yerel kullanıcıları ile miras alanı arasındaki bağın araştırılması ve kullanıcıların miras alanına ve bileşenlerine yüklediği anlamların ortaya konması, miras alanının korunmasına ve yönetimine yönelik kararların üretiminde yol gösterici olacaktır. İnsan odaklı koruma yaklaşımları; Antakya tarihi kent merkezinin korunması, sosyal sürdürülebilirliğin sağlanması ve yer duygusunun muhafazası için olumlu potansiyeller barındırmaktadır.

Tablo 1 – Antakya Tarihi Kent Merkezi'nde Okunabilirlik-Algılanan İşlev-Çekim Alanları

OKUNABİLİRLİK	**ALGILANAN İŞLEVLER VE ÇEKİM ALANLARI**
Yollar: Atatürk Caddesi, Kurtuluş Caddesi, Saray Caddesi, Cumhuriyet Caddesi, Kırk Asırlık Türk Yurdu Caddesi **Kenarlar:** Asi Nehri, Habib-i Neccar Dağı **Bölgeler:** Eski Antakya Evleri, Kurtuluş Caddesi Çevresi, Affan Mahallesi, Uzunçarşı, Saray Caddesi çevresi, Zenginler Mahallesi **Odaklar:** Köprübaşı Meydanı, Valigöbeği, Ulucami Meydanı, Habib-I Neccar Cami Önü, Eski Belediye Binası Önü, Atatürk Parkı **İşaret Öğeleri:** St. Pierre Kilisesi, Habib-i Neccar Cami, Atatürk Anıtı, Eski Meclis Binası, Eski Müze Binası, Ortodoks Kilisesi, Katolik Kilisesi, Tarihi Antakya Evleri, Eski Belediye Binası, Ulucami	**Algılanan İşlevler:** **Atatürk Parkı:** dinlenme, sohbet etme, çay-kahve içme, temiz hava alma, yürüyüş ve spor yapma **Affan Kahvesi:** Dinlenme, sosyalleşme, çay-kahve içme, masa oyunları oynama **Antakya tarihi kent dokusu:** Gezme, fotoğraf çekme, yeme-içme **Saray Caddesi:** Alışveriş **Harbiye:** Gezme ve yeme-içme işlevleri **Köprübaşı Meydanı:** Dinlenme ve sosyalleşme **Hatay Arkeoloji Müzesi:** Gezme, görme ve bilgilenme **Çekim Noktaları:** **St. Pierre Kilisesi:** Gezme-görme ve ibadet **Hatay Arkeoloji Müzesi:** Gezme görme ve eğitim **Harbiye:** Gezme, dinlenme, yeme-içme, rekreasyon **Antakya tarihi dokusu**: gezme-görme, yeme-içme, vakit geçirme **Uzunçarşı:** Alışveriş ve yeme-içme **Habib-i Neccar Cami:** Gezme-görme **Atatürk Parkı:** Dinlenme ve rekreasyon **Saray Caddesi:** Gezme-görme, kafe ve restoranlarda yeme-içme ve sosyalleşme **Antakya Kalesi:** Gezme-görme ve seyir **Çınaraltı ve Kurşunlu Han:** Künefe yeme **Habib-i Neccar Dağı**: Seyir, piknik ve yürüyüş

Tablo 2 – Antakya Tarihi Kent Merkezi'nde Duyusal Algı ve Bilişsel Haritalar

DUYUSAL ALGI	BİLİŞSEL HARİTALAR
Koku: **Baharat Kokusu**: Uzunçarşı-Baharatçılar Çarşısı (özellikle kömbe baharatı) **Yemek Kokusu**: Tarihi doku (Taş fırınlardan gelen yemek kokuları), Uzunçarşı (Tepsi Kebabı, kömbe ve katıklı ekmek) **Çiçek kokusu**: Tarihi sokaklar (yasemin, gül, kolonya ve limon ağacı çiçeği gibi çiçek kokuları) **Defne sabunu kokusu**: Tarihi sokaklar **Kahve Kokusu**: Tarihi sokaklar **Ses:** **Ezan Sesi:** Camiler **Çan Sesi:** Kiliseler **Hazan Sesi:** Havra **Bakırcılardan gelen sesler:** Uzunçarşı-Bakırcılar Çarşısı **İnsan sesleri:** Dış mekânlar **Tat:** **Künefe:** Köprübaşı, Kurşunlu Han, Çınaraltı **Diğer Yöresel Tatlılar: (**kabak, kömbe, külce, kerebiç, baklava ve müşebbek vb.) Antakya Tarihi Merkez **Tepsi Kebabı:** Uzunçarşı **Oruk, Humus:** Eski Antakya Evleri civarındaki restoranlar	**Haritada Gösterilme Oranı** **% 45**: St. Pierre Kilisesi, Asi Nehri **% 40:** Habib-i Neccar **% 35:** Uzunçarşı, Eski Meclis Binası **%30:** Köprübaşı, Atatürk Parkı, Saray Caddesi **% 25**: Kurtuluş Caddesi, Affan Kahvesi, Katolik Kilisesi, Hatay Arkeoloji Müzesi **% 20:** Ulucami, Ortodoks Kilisesi, Eski Belediye Binası, Sermaye Camii **% 15:** Atatürk Caddesi, Havra, Eski Antakya Evleri **% 10:** Valigöbeği, Eski Müze Binası, Affan (Ertuğrul) Camii, Cindi Hamamı, Antakya Kalesi, Harbiye, Atatürk Heykeli **% 5**: Protestan Kilisesi, Vilayet Konağı, Petek Patanesi, Askeri Kışla, Fevzi Çakmak Lisesi (Eski Ruhban Okulu), Eski ve Yeni Antakya bölgeleri, Habib-I Neccar Dağı, St. Pierre Dağı ve Saray Caddesi üzerinde sergilenen arkeolojik kalıntılar

Tablo 3 – Antakya Tarihi Kent Merkezi'nde Yere Bağımlılık ve Aidiyet

YERE BAĞIMLILIK ve AİDİYET		
Antakya'yı farklı ve önemli kılan özellikler: Antakya'da doğup büyümeleri (%42.1) Antakya'nın tarihi dokusu ve kadim bir kent olması (%42.1) Üç semavi dinin birarada yaşaması ve mevcut hoşgörü ortamı (%36.8) Antakya'nın farklı sosyo-kültürel yapıdan gelen insanlara ev sahipliği yapması (%26.3) Aile ve sosyal çevrelerinin Antakya'da bulunması (%15.8) Yemek kültürünün zenginliği (%15.8) Sakin bir kent olması (%10.5) İklimin yaşamaya elverişli olması (%10.5)	**Antakya'yı Tanımlayan Şeyler/Yerler**: St. Pierre Kilisesi (%25), Tarihi doku/Eski Antakya evleri (%25) Uzunçarşı (%25) Habib-i Neccar Cami (%20) Hatay Arkeoloji Müzesi (%20) Kurtuluş Caddesi (%15) Köprübaşı (%15) Atatürk Parkı (%15) Harbiye (%10) Künefe (%10) Farklı dinleri birarada barındırması (%10) Kendi evleri (%10) Farklı kültürlere ev sahipliği yapma (%5) Yemek kültürü (%5) Antakya Kalesi (%5) Eski Meclis Binası (%5) Saray Caddesi (%5)	**Aidiyet Sebepleri:** Antakya'da doğup büyümeleri (%55) Ailevi bağlar (%30) Antakya'da kendilerini rahat hissetmeleri (%20) Sosyal çevrelerinin ve arkadaşlarının Antakya'da olması (%15) Hoşgörü ortamının olması (%15) Yemek kültürü (%15) Antakya'nın kadim bir kent olması (%10) Hava ve iklim koşullarının yaşamaya elverişli olması (%10)

Kaynaklar

1. Relph, E. (1976). *Place and Placelessness*. London: Pion Limited.
2. Mckenzie, S. (2004). *Social Sustainability: Towards Some Definitions.* Magill-South Australia: Hawke Research Institute University of South Australia.
3. Enyedi, G., & Kovacs, Z. (2006). Social Sustainability of Historical City Centres in Central Europe – an Introduction. Gyorgy Enyedi and Zoltan Kovacs (Eds.), *Social Sustainability of Historical City Centres in* Central Europe içinde (s.11-19). Pecs: Hungarian Academy of Sciences.
4. Szirmai, V. (2006). Socially Sustainable Urban Development in the Historic Urban Centres of East Central Europe. Gyorgy Enyedi and Zoltan Kovacs (Ed.), *Social Sustainability of Historical City Centres in Central Europe* içinde (s.20-38). Pecs: Hungarian Academy of Sciences.
5. Güner, B. (2015). *Heritage Conservation via Social Sustainability in Historic Urban Landscapes: Principles, Strategies and Proposals for Sakarya Quarter in Ankara/Turkey*. (Basılmamış yüksek lisans tezi). ODTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
6. Najafi, M., & Shariff, M. K. B. M. (2011). The Concept of Place and Sense of Place in Architectural Studies. *International Journal of Human and Social Sciences, 6*(3), 187-193.
7. Rapaport, A. (1990). The Meaning of the Built Environment: a Nonverbal Communication Approach. Tucson: The University of Arizona Press.
8. Tuan, Y. F. (1977). Space and Place: The Perspective of Experience. London: Edward Arnold.
9. Sack, R. D. (2001). Place, Power, and the Good. *Textures of Place: Exploring Humanist Geographies*, 232-245.
10. Jackson, J. B. (1994). *A Sense of Place, A Sense of Time*, New Haven: Yale University Press.
11. Canter, D (1977). The psychology of Place: The Architectural Press Ltd.
12. Punter (1991). Participation in the Design of Urban Space. Landscape Design, 200, 24-7.
13. Carmona, M., Heath, T., Oc, T., & Tiesdell, S. (2003). *Public places-Urban spaces*. Burlington: Architectural Press.
14. Smith, J. (2006). *Uses of Heritage*. Newyork: Routledge.
15. Wells, J. C. & Stiefel, B. L. (2019). Introduction: Moving Past Conflicts to Foster an Evidence-Based, Human-Centric Built Heritage Conservation Practice. Jeremy C. Wells and Barry L. Stiefel (Eds.), *Human-Centered Built Environment Heritage Preservation, Theory and Evidence-Based Practice* içinde (s. 1-30). New York: Routledge.
16. Hatay Kültür Envanteri. (2014). *Cilt I*. Antakya: Hatay Valiliği.
17. Demir, A. (1996). *Çağlar İçinde Antakya*, İstanbul: Akbank Yayınları.
18. Antakya Belediyesi, İmar Müdürlüğü. (2012). *Antakya (Hatay) Koruma Amaçlı Nazım ve Uygulama İmar Planı Revizyonu, Araştırma Değerlendirme Raporu*. Antakya.
19. Tekin, M. (1993). *Hatay Tarihi*. Hatay: Hatay Kültür Sanat ve Turizm Vakfı Kültür Ofset Basımevi.
20. Diker, M. (2014). *Kent Kimliğinin Oluşmasında İbadet Yapılarının Yeri ve Önemi: Antakya Örneği*. (Basılmamış yüksek lisans tezi). YTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
21. Lynch, K. (2010). Kent İmgesi. İstanbul: İş Bankası Yayınları.
22. Altman, I. & Low, S. M. (1992). Place Attachment. New York: Plenum Press.
23. Stedman, R. C. (2008). What Do We Mean by Place Meanings? Implications of Place Meanings for Managers and Practitioners. L. E. Kruger, T. E. Hall & M. C. Stiefel (Eds.), Understanding Concepts of Place in Recreational Rsearch and Management (Vol PNW-GTR-744, s. 61-88). Portland: USDA Forest Srvise, Pacific Northwest Research Station.
24. Erkan Biçer, Ç, N. (2002). *Kastamonu Örneğinde Anadolu Kenti İmaj Öğeleri ve Değişim Süreci*. (Basılmamış doktora tezi). YTÜ/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
25. Feilden, B. M. & Jokilehto, J. (1998). Management Guidelines for World Cultural Heritage Sites.

Vertical Greenery Systems and Their Effects on Environmental Sustainability

Onur GÜNGÖR[1]

[1] Department of Landscape Architecture, Iskenderun Technical University, Turkey
Email: onur.gungor@iste.edu.tr

Abstract

Vertical greening systems (VGS) are the systems where various hard structures come to life with bio-engineering studies and serve many aesthetic and functional purposes. Since the first patent for "Plant Carrying Cellular Structure and System" was taken in 1938 by MacPherson and White, vertical greenery systems (VGS) have shown great improvement [1]. Recently, VGS has become much more than just covering the building surfaces with vegetation for aesthetic purposes. New technologies in these systems maximize the functional benefits of plants, increase the performance of buildings and contribute to the strengthening of buildings as part of the urban sustainability strategy [2]. The aim of this study is to examine the variety of vertical greening systems (VGS), to understand the basic system design differences between the systems and the construction techniques, to present the technological developments in this field in a systematic way and to examine the effects of these systems on the sustainability of the urban environment. The study is based on the synthesis of the literature review on the recent technologies of VGSs and their effects on environmental sustainability. Researches show that in vertical greening systems, more efficient solutions are started to be produced in VGSs in terms of building performance and environmental effects, these systems have the ability to control the heat gains and losses, improve the thermal comfort of interiors and cities, and reduce the energy demand for heating or cooling [3]. Experimental studies that measure the contribution of VGS to thermal comfort in building and city scale have an important place in the literature. However, there is a need to increase the applications in order to test the performance of these systems and to continue their evaluation. In order to decide which vertical greening system is more suitable for a project, many components such as construction and climate constraints, building and operating costs and environmental benefits should be considered.

Keywords: vertical greenery systems, thermal comfort, environmental sustainability.

Dikey Yeşillendirme Sistemleri ve Çevresel Sürdürülebilirliğe Etkileri

Özet

Dikey yeşillendirme sistemleri (DYS) çeşitli sert strüktürün bio-mühendislik çalışmalarıyla hayat bulduğu, estetik ve işlevsel birçok amaca hizmet eden sistemlerdir. "Bitki Taşıyan Hücresel Yapı ve Sistem" için ilk patent 1938'de MacPherson ve White tarafından alındığından bugüne dikey yeşillendirme sistemleri büyük gelişim göstermiştir [1]. Günümüzde DYS bina yüzeylerini sadece estetik amaçlarla bitki örtüsü ile kaplamaktan çok daha fazlası haline gelmiştir. Bu sistemlerde yer alan yeni teknolojiler, bitkilerin işlevsel

faydasını en üst seviyeye çıkararak binaların performansını arttırmakta ve kentsel sürdürülebilirlik stratejisinin bir parçası olarak binaların güçlendirilmesine katkıda bulunmaktadır [2]. Bu çalışmanın amacı, çeşitlilik gösteren dikey yeşillendirme sistemlerini (DYS) incelemek, sistemler arasındaki temel sistem tasarımı farklılıkları ile yapım tekniklerini anlamak, bu alanındaki teknolojik gelişmeleri sistematik biçimde sunmak ve bu sistemlerin kentsel çevrenin sürdürülebilirliğine etkilerini incelemektir. Çalışma, son DYS teknolojileri ve bu sistemlerin çevresel sürdürülebilirlik üzerine etkileri ile ilgili bilimsel literatürün sentezine dayanmaktadır. Araştırmalar, teknolojik gelişmeler sayesinde dikey yeşillendirme sistemlerinde bina performansı ve çevresel etkiler bakımından daha verimli çözümler üretilmeye başlandığını, bu sistemlerin ısı kazanımlarını ve kayıplarını kontrol etme, iç mekân ve kentin ısıl konforunu iyileştirme, ısıtma veya soğutma için enerji talebini azaltma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir [3]. DYS'nin yapı ve kent ölçeğinde termal konfora katkılarını ölçen deneysel çalışmalar literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Ancak bu sistemlerin performansını test etmek ve değerlendirmelere devam edebilmek için uygulamaların artmasına ihtiyaç vardır. Bir projeye hangi dikey yeşillendirme sisteminin daha uygun olduğuna karar vermek için inşaat ve iklim kısıtlamaları, yapım ve kullanma maliyetleri, çevresel faydalar ve benzeri birçok bileşen göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Dikey yeşillendirme sistemleri, termal konfor, çevresel sürdürülebilirlik.

1. Giriş

Son yıllarda çevre bilinci artışı, kentsel sistemler ve binaların tasarımında sürdürülebilirlik ölçütlerinin kullanılmasına yol açmıştır. Sürdürülebilir kalkınma, enerji talebinin ve su tüketiminin azaltılması, atık ve kirliliğin en aza indirilmesi, açık ve yeşil alanların korunması gibi çevre ile ilgili unsurların değerlendirilmesini gerektirmektedir. Yeşil alanların bir parçası olan binaların yeşillendirilmesi de bu yaklaşımın bir parçasıdır. Dikey yeşillendirme sistemleri şu anda yoğun kentsel alanlarla ilgili daha iyi bir çevre için güncel bir sürdürülebilir kalkınma öğesidir. Peck ve ark. [4] dikey yeşillendirme sistemlerini, bitkilerin bir yapı elemanının cephesinde yetişebileceği kapsamlı bir dikey bahçe olarak tanımlamışlardır.

Dikey yeşillendirme sistemlerinin kentsel yaşam kalitesine ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıları ile ilgili birçok deneysel çalışma ve yazın derlemesi bulunmaktadır. Wong ve Ark. [5], Mir [6], Yeh [7] çalışmalarında DYS'nin hava kalitesini arttırmak, kent ölçeğinde mikro iklimlendirme oluşturmak, kentsel ısı adası etkisini azaltmak, ses yalıtımı sağlamak, yapı içlerinde sıcaklığı dengelemek, bazı hayvanlar için habitat oluşturmak gibi olumlu etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Ancak Middelie [8] ile Perini ve ark'a [9] göre bitki dikimi, panellerin ve sulama sistemlerinin kurulumu, bakım ve yönetimi aşamalarında oluşan maliyetler ile zaman içinde yapıya verebileceği hasarlarda söz konusudur.

DYS yapı ve kent ölçeğinde termal davranışları ile enerji tasarrufu için pasif bir sistem olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda temel özelliklerinin teknik olarak iyileştirilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Diğer yandan bitkilerin gölgelendirme etkisi, güneş ışınımını

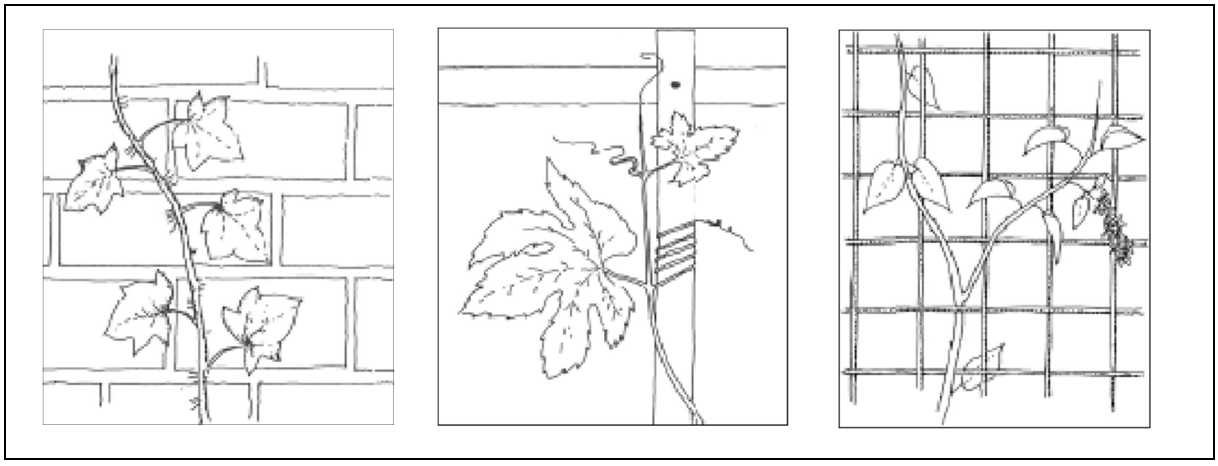
engelleme kapasitesi veya bitkilerden gelen buharlaşma yoluyla soğutma etkisi gibi sorular araştırmacılar tarafından incelenen ana konulardan bazılarıdır. Ancak, canlı bir materyal olan bitkilerle çalışmak kolay değildir. Bitkinin toprak, su, besin, sıcaklık, nem ihtiyacı onu bir sistemin öğesi olarak tasarlamayı zorlaştırmaktadır [10].

2. Dikey Yeşillendirme Sistemlerinin Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

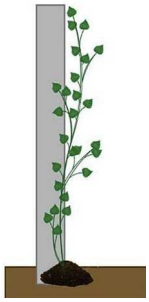
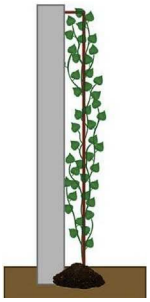
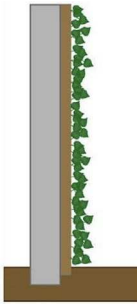
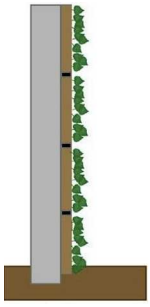
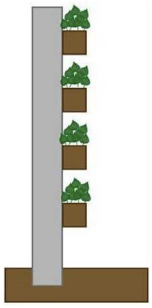
Birçok araştırmacı, DYS'yi yere bağlı yeşil cephe sistemleri ve yaşayan yeşil duvar sistemleri olmak üzere iki ana gruba ayırmıştır [2], [3], [6], [11], [12].

Yere bağlı yeşil cephe sistemlerinde sarılıcı ve tırmanıcı bitkilerin yer zemininden cepheye doğru tırmanması söz konusudur. Kurulum ve bakım geleneksel yöntemlerle manuel olarak yapılır. Yeşil cepheler doğrudan veya dolaylı olarak duvara kablo veya tel kafes sistemi gibi destekleyici bir yapı ile uygulanabilir. Yapışma ve tutunma özellikleri olan bitkiler tercih edilir ve bitki kökleri toprakta olup zamanla cepheyi sarar. Yeşil cephenin ne düzeyde etkin olabileceği, tüm yüzeyin ne kadar sürede kaplanacağı kullanılan bitki türlerine ve dikim sıklığına göre değişir. Ancak genellikle 1-2 yıl gibi bir sürede yeşil doku oluşturması beklenir (Şekil 1).

Yaşayan yeşil duvar sistemleri ise yerinde sürekli-sabit sistemler ve sökülüp takılabilir modüler sistemler olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemler dikey yeşilin modern teknolojiyi kullanan nispeten yeni bir uygulama şeklidir. Özel tasarlanmış destek yapılarıyla taşıyıcı sistem özellikleri vardır ve drenaj, sulama, besin dağıtımı mekanizmaları bulunur. Yaşayan yeşil duvar sistemleri yeşil cephelerden farklıdır, çünkü alt tabanda köklenen bitki örtüsünü sürekli desteklerler, duvarın dibine, yüzeyine köklenmiş olmak yerine kendi köklenme ve gelişim ortamını barındırırlar. Yaşayan duvar sistemlerinin bu özellikleri iç-dış cephelerin yeşillendirilebilmesine ve çeşitli bitki türlerinin bir arada kullanımına olanak sağlar. Özelliklerine göre DYS'nin sınıflandırıldığı grafiksel gösterim Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Yere Bağlı Yeşil Cephe Sistemleri: Vantuzları, yapışkan, emici yapıları olan ve kökleri toprakta gelişen sarılıcı-tırmanıcı bitki türlerinin doğrudan duvar yüzeyinde veya tel, kafes yapı üzerinde gelişimini gösteren temsili çizim [13].

Yere Bağlı Yeşil Cephe Sistemleri		**Yaşayan Yeşil Duvar Sistemleri**		
				
Doğrudan Yeşil Cephe	Çift Cidarlı Yeşil Cephe	Sürekli-Sabit Sistemler	Panel Modüler Sistemler	Saksı Modüler Sistemler

Şekil 2. Dikey Yeşillendirme Sistemleri [2], [6].

En uygun sistemin seçimi doğrudan yapı özellikleri ve iklim koşulları ile ilgilidir. Bu yüzden sistemlerin temel özelliklerini ve kompozisyon farklılıklarını anlamak önemlidir. Dikey yeşillendirme sistemlerinin çeşitleri ve sistem gereksinimleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Dikey Yeşillendirme Sistemlerinin Çeşitleri ve Sistem Gereksinimleri [2], [3].

Sistem Gereksinimi	**(Doğrudan Yeşillendirme)**	**(Dolaylı Yeşillendirme)**	
	Geleneksel Yeşil Cephe	**Sürekli-Sabit Sistemler**	**Modüler Sistemler**
Destek Ünitesi	-Hiç yok. -İp, tel, kablo -Ahşap ya da paslanmaz çelik tel kafes yapı	-Taşıyıcı strüktür -Köpük, mineral yün, jeotekstil keçe esaslı panel	-Galvanizli paslanmaz çelik -Hafif esnek polimer ürünler -Seramik
Yetiştirme Ortamı	-Doğrudan yer toprağı -Yerde bitki kasaları	Hidroponik ortam	Organik ve inorganik besin içeren ortam
Bitki	-Sarılıcı-tırmanıcı bitkiler	Çim, çok yıllık otsu bitkiler	Çim, sukulent, eğrelti, yosun ve çok yıllık bitkiler
Drenaj	-Drenaj sistemi yok -Alttan delikli yapı	Drenaj sistemi	-Yandan ve alttan delikli yapıda modüller
Sulama	- Manuel sulama -Damlama sulama	Damlama, fitil veya sprey sulama	Her bir modülün üstünde damlama veya sprey sulama

Aşağıda kendi içinde çeşitlilik gösteren yaşayan duvar sistemleri sınıflandırılarak ele alınmıştır. Sabit bir panel taşıyan strüktürel çerçevedir. Panel amaca uygun olarak köpük, mineral yün veya keçe esaslı olabilir. Su geçirmez bir membran, drenaj ve sulama sistemleri içerir.

2.1. Sürekli-Sabit Yaşayan Yeşil Duvar Sistemleri

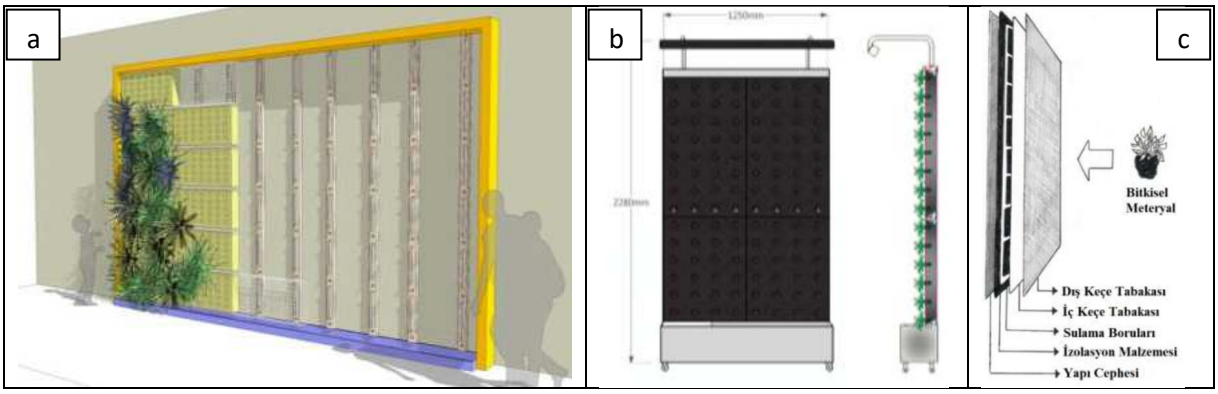
Köpük esaslı sistemler: Sistem köpük panel, sulama sistemi ve bitkisel materyalden oluşmaktadır. Bu sistemde, aminoasit reçinesinden elde edilen köpük, duvara monte edilen

çelik konstrüksiyonun üzerine sabitlenmekte ve bitkiler için bir yaşam alanı oluşturulmaktadır. Köpüğün bünyesindeki besin ve suya, bitkiler gereksinim duyduğu her an kolaylıkla ulaşabilmekte ve gelişimlerini sağlıklı olarak sürdürebilmektedirler. Ayrıca köpük, toprağın gözenek boyutunu arttırarak, bitkinin kök gelişimini hızlandırmaktadır [6]. Köpük tabanlı sistemde damla sulama sistemi bulunmaktadır. Ancak köpük sistemin suyu tutma ve besin maddelerini absorbe etme özelliği nedeniyle sulama sistemi diğer yaşayan duvar sistemlerindeki gibi sürekli aktif değildir. Köpük tabanlı sistem ile oluşturulan yaşayan duvarlar diğer sistemlere göre daha az bakım isteyen tasarımlardır [6], [12].

Mineral yün esaslı sistemler: Mineral yün tabanlı sistem; bitkilerin köklenmesi için uygun bir ortam oluşturan mineral yün, sulama sistemi ve bitkisel materyal ile oluşturulan yaşayan duvar sistemidir. Sistemin yapısal materyali, duvar üzerine monte edilen çelik konstrüksiyon ve konstrüksiyon üzerine yerleştirilen mineral yün panellerden oluşmaktadır. Sulama sistemi olarak mineral yün tabakasının arkasına monte edilen damla sulama boruları tercih edilebileceği gibi sistemin en üst bölümünde bulunan bir yağmurlama sistemi de kullanılabilmektedir. Bitkisel materyal ise mineral yün taban üzerine yerleştirilmektedir (Şekil 2b) [6], [12].

Keçe esaslı sistemler: Yaşayan duvar sistemlerinde kullanılan keçe yüzeyli sistem, su geçirmez bina yüzeyi, iç keçe tabakası, sulama boruları, yalıtım malzemesi, dış keçe tabakası ve bitkilerden oluşmaktadır. Keçeli sistem ile oluşturulan dikey bahçelerde toprağa gereksinim hiç duyulamayabilir ya da çok az toprak kullanılır. Uygulama için yapı cephesi üzerine ısı ve ses yalıtımı sağlayacak olan yalıtım malzemesi montajı yapılır. Ardından su geçirmez yüzey üzerine sulama borularının montajı yapılarak, 1 cm kalınlığındaki iç keçe tabakası perçinlenerek mevcut konstrüksiyona sabitlenir. Son olarak sisteme dış keçe tabakası monte edilir. Keçe homojen su dağılımına izin verir. Keçeye delikler açılıp tohum, çelik veya fide halindeki bitkiler buraya dikkatlice yerleştirilir. Kökler bu tabaka tarafından sabit tutulmakta ve hava sirkülasyonu sağlanmaktadır. Keçe yüzeyli yaşayan duvar sistemini diğer sistemlerden ayıran en önemli özelliği topraksız yetişme ortamı sayesinde cephe üzerinde oluşan yükün diğer sistemlere oranla minimum olmasıdır [6], [12].

Sürekli-sabit yaşayan yeşil duvar sistemlerinin üç farklı tipinin konstrükyon özellikleri Şekil 2'de verilmiştir.

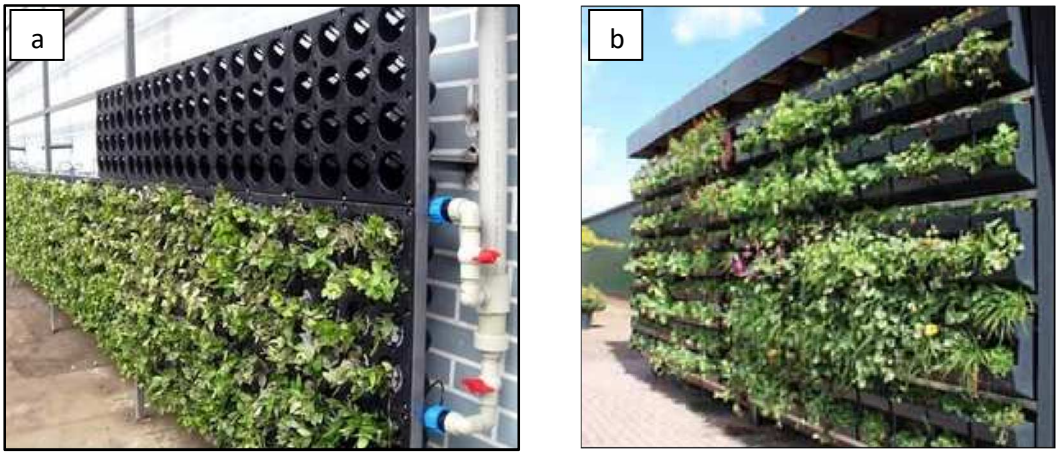


Şekil 2. a:Köpük esaslı sistem b:Mineral yün esaslı sistem c:Keçe esaslı sistem [6], [12].

2.2. Modüler Yaşayan Yeşil Duvar Sistemleri

Panel modüler sistemler: Altyapısı cepheye monte edilen taşıyıcı profiller, bu profiller üzerine yerleştirilen paneller ve sulama sisteminden oluşmaktadır. Bitkiler panel üzerinde, sera ortamında, yatay düzlemde yetiştirildikten sonra cepheye yerleştirilir. Sisteme fazla yük getirmemesi için toprak miktarı az tutulur ve daha çok torf, perlit, kokopit gibi hafif ancak besin değeri yüksek ortamlar oluşturulur (Şekil 3a).

Saksı modüler sistemler: Bir taşıyıcı sistem, modül saksılar, su iletmeyen membran, sulama ve drenaj sisteminden oluşur. Modül, bitki için bir saksı görevi görmektedir. Modüllerin portatif olması, herhangi bir modüldeki bitkinin değiştirilmesi veya bitkiye bakım yapılması gerektiğinde, sadece o modülün sistemden alınarak tüm işlemin hızlıca yapılmasını sağlamaktadır. Modül, işlem tamamlandığında aynı bir dolabın çekmeceleri gibi tekrar yerine yerleştirilebilmektedir (Şekil 3b). [6], [12].



Şekil 3. a: Panel Modüler Sistemler ve b: Saksı Modüler Sistemler [6].

3. Dikey Yeşillendirme Sistemleri ve Çevresel Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirlik içeriği çok geniş bir kavram olup çevresel sürdürülebilirlik kısaca çevreyi dikkate alan kalkınma süreci olarak tanımlanmaktadır. DYS'nin çevresel sürdürülebilirliğe katkıları ise Tablo 2'de özet olarak verilmiştir.

Tablo 2. Dikey Yeşillendirme Sistemlerinin (DYS) Çevresel Sürdürülebilirliğe Katkıları [11]'den uyarlanmıştır.

Kategori	**Sağlanan Fayda**
Çevresel/Ekolojik	• Kirliliği ve tozu emerek hava kalitesini arttırmak ve aynı zamanda CO2 emilimiyle sera etkisini azaltmak • Kentsel ısı adası etkisini azaltmak ve mikro klimayı düzenlemek • Şehir içinde bitki ve hayvan varlığını destekleyerek biyolojik çeşitliliğin artmasını sağlamak • Yağmur suyu yönetimini desteklemek • Peyzajın fiziksel ve psikolojik iyileştirici etkilerini desteklemek

Ekonomik	• Daha iyi yalıtım ile ısıtma ve soğutma yüklerinin azaltılması • Ses yalıtımının iyileştirilmesi • Mülkiyet değerlerinin artması
Görsel/Estetik	• Daha yeşil bir kent siluetine katkı sağlayarak kentin kimliğini güçlendirmek • Kamusal açık alanları görsel olarak ilgi çekici hale getirmek • Kötü görünümleri perdelemek

Çevresel sürdürülebilirliğin arttırılmasını hedefleyen uygulamalar arasında yapıların yaşam döngüsü içindeki enerji, su ve malzeme kullanımını azaltmak için önlemler almak geniş bir yer tutmaktadır. Bu kapsamda binayı oluşturan cephelerde DYS oluşturulması, enerji tüketimini azaltmak amacıyla alınan önlemlerden birisidir. Bu çalışma kapsamında DYS'nin yapı ölçeğinde enerji korunumu ve termal konfor sağlama, kentsel ısı adası etkisini azaltma özelliklerine odaklanılarak önceki yapılmış çalışmaların sonuçları incelenmiştir.

Olivieri ve ark. [14] dış cephelerde bitkisel sistemlerin kullanılması ile binaların enerji talebinin azalması, kentsel ısı adası etkisinin zayıflaması ve havada bulunan kirleticilerin miktarının azalması arasındaki ilişkiyi deneysel bir çalışma ile incelemişlerdir. Özellikle günün sıcak saatlerinde yüksek ısıl direncine rağmen, bitki örtüsünün enerji korunumuna etkisinin çok olumlu olduğu belirtilmiştir. Çalışma yazın kuru-sıcak iklim özelliği gösteren Madrid'de sürdürülmüş, cephelerinde DYS olan ve olmayan iki modüler yapı kıyaslanmış, Polyester keçe tabanlı DYS'ye sahip modülün iç mekanı ile dış çevre arasındaki sıcaklık farkı gün içinde ortalama 4.7 $^{\circ}$C, diğerinde ise fark sadece 0.5 $^{\circ}$C ölçülmüştür. Ayrıca DYS'li modülde iklimlendirme için enerji kullanımının %12 daha az olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle bitkisel cephelerin pasif bir iklimlendirme stratejisi olarak kullanılabileceğini, ısıtma ve soğutma için enerji tüketiminin azalacağını, kullanıcıların konfor koşullarının iyileşeceğini bildirmişlerdir.

Reyes ve ark. Şili'nin Santiago kentinde bulunan, mimari tasarım ve çevre dostu olması ile birçok ödülün sahibi olan, cephesinde DYS kurulu Konsorsiyum Binasıyla (Consorcio Building) bu binaya benzer özelliklere sahip çıplak cepheli on binayı karşılaştırmıştır. Ölçüm sonuçları, DYS'nin solar radyasyon etkisini % 60 oranında azalttığını ve % 20 oranında enerji korunumu sağladığını göstermiştir. Bir yılda ise diğer binalardan % 48 daha az enerji harcandığı ve % 28 oranında enerjiye harcanan parasal maliyetin düştüğü belirtilmiştir.

4. Tartışma

Dikey Yeşillendirme Sistemleri (DYS) alanındaki teknolojik gelişmelerin ve bu sistemlerin çevresel sürdürülebilirliğe etkilerinin literatüre dayalı olarak incelendiği bu çalışmada DYS'nin genel performansının dikkat çekici olduğu tespit edilmiştir. DYS konusundaki bilimsel çalışmaların çoğu bu sistemlerin bina kabuğunun ısıl davranışlarını nasıl etkilediği, kentte ısı değişikliğini düzenleme ve kentte ısı adası oluşumunu ne ölçüde düzenleyebildiği ile ilgilidir. Bununla birlikte Medl ve ark. [2] DYS'nin ulaşım sistemlerinde kullanımının olumlu etkilerinden bahsetmiş, peyzajın termal davranışın önemli faktörü olduğunu vurgulamıştır. DYS'nin, peyzajın bütünleşmesi ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesinde böylece habitat parçalanmasının önlenmesinde potansiyel taşıdığını

belirtmiştir. Wong ve ark.'a [5] göre yapının fiziksel özellikleri, DYS kompozisyonunda yer alan malzemelerin özellikleri, seçilen bitki türleri, sıcaklık, nem gibi faktörler sistemin performansını etkilemektedir. Tüm bu unsurların ayrı ayrı ve bir arada test edildiği çalışmalara ihtiyaç vardır. İncelemeler, karşılaştırılabilir koşulların test edildiği değerlendirmelere gereksinim olduğuna işaret etmektedir. Örneğin Hunter ve ark. [16], farklı iklim bölgelerindeki deneysel çalışmaların zıt bölgeler için geçerli olmayacağını, iklim ile malzeme özellikleri hakkında ayrıntılı bilgi veren daha fazla araştırma yapılmasının önemini belirtmiştir.

DYS teknolojisi ve malzeme üzerine odaklanan Gerhardt ve Vale [17] gibi araştırmacılar, modüler ya da sürekli-sabit geotekstil ve polimerik malzemelerin kullanıldığı panel uygulamalarının hafifliğine vurgu yapmaktadır. Sürekli-sabit çözümler genellikle modüler sistemlerden daha hafiftir. Ancak, DYS tasarımındaki en son gelişmeler çoğunlukla kurulum ve bakım işlemlerinin basit olması, tüm yüzeyin hızlı bir şekilde bitki ile kaplanmasına izin vermesi, her bir parçanın sökülüp değiştirilebilir olması nedenleriyle modüler sistemlere odaklanır.

YDS teknolojileri ile ilgili temel kaygılar, su tutma malzemelerinin, drenaj araçlarının ve daha basit montaj ve bakım işlemlerinin bütünleştirilmesi yoluyla daha iyi performans için yeni stratejiler bulmaktır. Sistem kompozisyonu hala bir gelişme alanıdır. YDS sadece yeni binalardaki uygulamalarda değil aynı zamanda mevcut binaların iyileştirilmesi için, trafik kaynaklı kirliliği azaltmak, kamusal açık alanlarda peyzajın görsel ve işlevsel etkilerini kuvvetlendirmek için de bir çözüm olarak durmaktadır. DYS, sadece dikey düzlemlerde değil eğimli ya da kavisli yüzeylere de uygulanabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

DYS doğal veya geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanıldığı, daha az su, besin maddesi ve enerji harcayan, çeşitli ölçümler yapabilen sensörlerle entegre çözümler haline gelmek için gelişmeye devam etmektedir [9].

Uygulanan DYS'lerin performansını iyileştirmeye ve bu sistemlerin çevresel etkilerini değerlendirmeye yönelik çalışmalara devam etmek çevresel sürdürülebilirliği destekleyen teknolojiler konusunda bilgi birikimi açısından son derece önemlidir.

5. Sonuç

Kentlerin yoğun olarak yapılaştığı günümüzde, alan yetersizliği gibi kısıtlamalar nedeniyle yeşil alanlar giderek azalmaktadır. Kentsel çevrenin ekolojik, ekonomik, görsel sürdürülebilirliğinde yeşil alan varlığı önemli bir öğedir. Araştırmalar DYS'nin kentsel çevrede yeşil alan varlığını arttırmanın etkili bir yolu olduğunu göstermektedir. DYS, hem tekil olarak yapılarda hem de tüm kent genelinde iklimlendirmeye yardımcı olarak yakıt ve enerji tüketimini azaltabilir, böylece karbon salınımı azalır, enerji maliyetleri düşer. Kullanılan bitkiler hava parçacıklarını filtrelemeye ve hava kalitesini iyileştirmeye, gürültü kirliliğini azaltmaya yardımcı olabilir. Kent siluetinin gri, sert ve soğuk görünümü iyileştirir. Konu ile ilgili bilimsel yazın ve uygulamalar incelendiğinde, iklimle ve yapı ile uyumlu DYS kompozisyonunun önemi ortaya çıkmaktadır. Ülkemizdeki uygulamaların bu yönde yeterliliğinin incelenmesi ve doğru uygulamaların yaygınlaştırılması kentlerimizin çevresel sürdürülebilirliği için önemlidir. Sonuç olarak, DYS alanındaki teknolojik gelişmeler ve

uygulamaların çevresel sürdürülebilirlik için umut vericidir ve büyük potansiyel barındırmaktadır.

Kaynaklar

[1] Hindle, R.L. (2012). A vertical garden: origins of the Vegetation-Bearing Architectonic Structure and System (1938), *Studies in the History of Gardens & Designed Landscapes*, 32(2), 99-110.

[2] Medl, A., Stangl, R. Florineth, F. (2017).Vertical greening systems - A review on recent technologies and research advancement, *Building and Environment*, (125), 227-239.

[3] Manso, M. and Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (41), 863-871.

[4] Peck S.W., Callaghan C., Bass B., Kuhn M.E. (1999) Research Report Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada, *Status Report on Benefits, Barriers and Opportunities for Green Roof and Vertical Garden Technology Diffusion*, Canada Mortgage and Housing Corporation.

[5] Wong, N.H., Kwang Tan, A.Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D., Chiang, K., Wong, N.C. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Building and Environment*, 45(3), 663-672.

[6] Mir, M.A. (2011). Green façade and Building Structures, *Master Thesis*, Delft University of Technology, Delft.

[7] Yeh, Y.P. (2010). Green Wall; The Creative Solution in Response to the urban heat island effect, *National Chung-Hsing University*.

[8] Middelie, G.J. (2009). "Groene Gevels", Minor stedelijke beplanting, Tuin- en landschapsinrichting (Realisatie), *Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp*.

[9] Perini K, Ottelé M, Haas E. (2013). Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urb Ecosyst*, (16), 265–77.

[10] Pérez, G., Coma, J., Martorell, I., Cabeza, L.F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (39) 139-165.

[11] Chiang, K., and Tan, A. (Eds.). (2009). Vertical greenery for the tropics (First Edit.). *Singapore: National Parks Board*.

[12] Kanter, İ. (2014). Kentsel Tasarımda Dikey Bahçeler, *Peyzaj Mimarlığı ABD, Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Ankara.

[13] Minke, G. and G. Witter. (1982). Haeuser mit Gruenem Pelz, *Ein Handbuch zur Hausbegruenung*, Frankfurt: Verlag Dieter Fricke GmbH.

[14] Olivieri, F., Olivieri, L., Neila, J. (2014). Experimental study of the thermal-energy performance of an insulated vegetal façade under summer conditions in a continental mediterranean climate. *Building and Environment* (77), 61-76.

[15] Reyes, J. (2002). Impact of the Automation in the Energy Efficiency of Buildings. CINTEC S.A. *Presented in Jornadas AADECA - Asociación Argentina de Control Automático (Argentinean Association of Automatic Control)*, Buenos Aires, Argentina.

[16] Hunter, A.M., Williams, N.S.G., Rayner, J.P., Aye, L., Hes, D., Livesley, S.J. (2014). Quantifying the thermal performance of green facades: a critical review, *Ecological Engineering*, (63) 102-113.

[17] Gerhardt, C, Vale, B. (2010). Comparison of resource use and environmental performance of green walls with façade greenings and extensive green roofs. *In: Sustainable Building Conference (SB10)*, Wellington, New Zealand.

A STUDY ON FUNCTIONALITY OF MATERIAL ANALYSIS REPORTS USED IN RESTORATION OF HISTORICAL BUILDINGS

Mustafa Küçüktüvek, Hilal Tuğba Örmecioğlu,

[1] Department of Interior Design, Antalya Bilim University, Turkey

[2] Department of Architecture, Akdeniz University, Turkey

Emails: mustafa.kucuktuvek@antalya.edu.tr, ormecioglu@akdeniz.edu.tr

Abstract

The values created by human beings in thousands of years of civilization from the beginning to the present day of the history, are called as cultural heritage. Turkey has a many cultural and natural heritage sites; some of which are on the World Heritage list. According to the decisions taken by the Council of Europe: destruction and deterioration of cultural heritage should be prevented by the state; projects for the protection of cultural heritage should be carried out by the competent authorities; national, regional and local authorities should be able to provide financial support for maintenance and restoration projects; and should help implementation of traditional techniques in the restoration of architectural heritage and the development of this principles.

In this paper the functionality of material analysis reports used in the restoration process of historical buildings, that are part of our cultural heritage, has been studied. During the maintenance, repair and strengthening works done for protection of historical buildings, the historical value, authentical aesthetic character and identity of the building should be preserved. Protection, repair and retrofitting works must be done on the basis of scientific principles, with possible minimum intervention to the authentic material preferences of the building. It is necessary to determine the specific material properties in order to select or reproduce the material which would be used in restoration. The preferred material must be compatible with the authentic material.

As a result of the in-depth interviews conducted with architects, it is understood that the material analysis reports done during the restoration process often does not fulfill the need of restaurateur architects. These reports prepared by material experts usually prepared on various laboratory studies, testing mechanical and physical properties of the authentic material. Nevertheless, these technical reports did not give certain clues to architects about the meanings of the results, how these results can be interpreted and used during the implementation process of the restoration project. Hence this study will sum up the problems and make proposals for future material analysis reports.

Keywords: Historical buildings, Building materials, Sustainability, Material Analysis Reports.

Introduction

The values created by human beings in thousands of years of civilization from the beginning to the present day of the history, are called as cultural heritage. The intangible values of cultural heritage are specifically evident in created physical edifices and demonstrated in the historical monuments and sites (Rouhi,2017). Therefore, protection and restoration of historical buildings are delicate processes which had to be handled carefully in order to protect the authentic fabric while understanding the particular problems of the historic building.

According to the decisions taken by the Council of Europe (Akıncı 2000): destruction and deterioration of cultural heritage should be prevented by the state; projects for the protection of cultural heritage should be carried out by the competent authorities; national, regional and local authorities should be able to provide financial support for maintenance and restoration projects; and should help implementation of traditional techniques in the restoration of architectural heritage and the development of this principles.

Problem

Restoration is a complex problem including many decision areas about spatial, visual and physical state of historical building. As historical buildings are delicate and unique, the decisions had to be taken under detailed knowledge gained after comprehensive research and documentation about historical, architectural and aesthetic values about the subjected building. Nevertheless, in addition to decisions on the architectural characteristic and qualities of the historical building; there must also be detailed assessments on physical existence of it. The knowledge about current state of structural and material condition of historical building is vital for restaurateur architects during their decision processes, since the historical values of a resorted building cannot be protected if its physical body is not maintained. Therefore, complexity of restoration process based on its nature which has historic, aesthetic, architectural and engineering aspects.

Image1: Material deterioration caused by deep weathering in soft limestone masonry wall (source: http://www.antiquities.org.il/jerusalemWalls/phys_2_eng.asp)

The multifaceted and detailed nature of the restoration needs many disciplines to be involved in process along with restaurateur architect. Although main decisions are taken by restaurateur architects and the final restoration project could be designed by them; it is not possible for them to make all the assessments on the historical structures. Therefore, there are other professional actors involved the project during the restoration process such as art historian, structural engineer, material expert etc. Among these, the

decisions on the physical conditions of the structure, which is vital in terms of structural integrity is the most technical side that, had to be supervised by engineers who are specialized in restoration.

Method

This paper is a part of a broader study on historic wooden materials in Mediterranean area; but for this stage of research, which is presented in this paper, the functionality of material test reports is investigated. As mentioned above, restoration is a multidisciplinary area in which architects, engineers and art historians involved. Nevertheless, restaurateur architects are the main decision takers and managers of the process, but they were supported by other professions who are also experienced on historical buildings. Therefore, in this study, restaurateur architects are defined as main source of information, and data collected for this paper represents their and demands and expectations on material test results.

The data collected by using qualitative research methods such as in-depth interviews, which helped to picture the frequency of usage of material analysis tests, and the problems in functionality of material testing reports. In-depth interviews are a qualitative data collection method that includes “direct, one-on-one engagement with individual participants” (url1) and these interviews can be done in form of unstructured, semi-structured or structured schemes. In this study semi-structured interview method is followed, since this method encourages two-way communication and allows for a comprehensive discussion of relevant topics (url2).

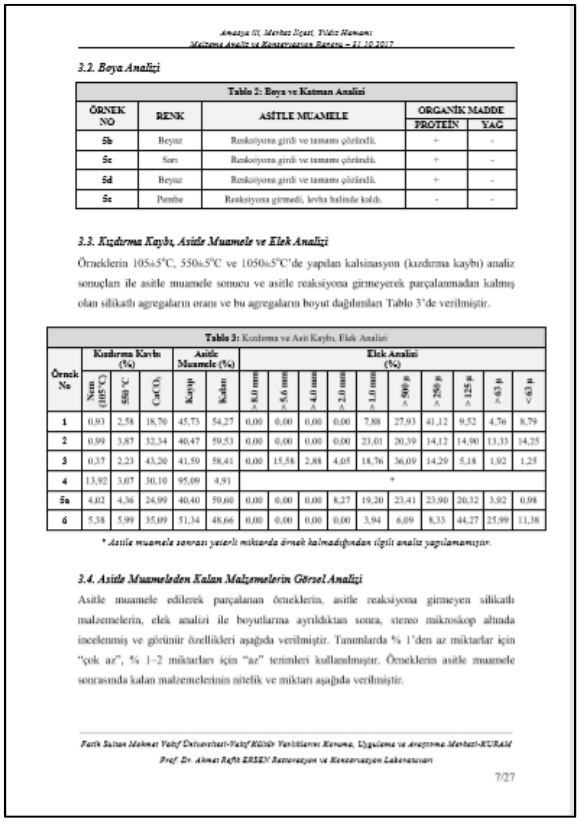
As Bouce (2006) conveyed, “In-depth interviewing is a qualitative research technique that involves conducting intensive individual interviews with a small number of respondents to explore their perspectives on a particular idea, program, or situation.”. Therefore, several visits were planned to different architectural offices which are specialized in restoration in Antalya, and interviews, that did not strictly follow a formalized list of questions, were done with office owners. In-depth interviews are used to provide context the material analysis problematic in restoration area, and offered a more complete picture of how and to what extend these analyses are needed. The open-ended questions allowed for a discussion on the topic and unexpected topics are uncovered.

Results

During the interviews, the interviewees underlined importance of the generally neglected physical assessment of the historical building which actually should be investigated deeply. They revealed the physical assessment of the historical building is done in two main stages. In the first stage, the physical evidences informing a given building should be grounded detailly. Historic materials are degraded by time when they are exposed to outer climate conditions and lost their material integrity. The empirical and morphologic investigations are useful but insufficient in assessment of historic materials’ competence. Instead, material investigations should be handled by experts who specially studied on material properties of historic buildings; and detailed laboratory studies testing mechanical and physical properties of the authentic materials should be handled.

Nevertheless, physical assessment is not only related with assessment of structural integrity and the material robustness but also with possible and suitable methods of treatment. In the second stage, the material investigations should turn into useful recommendations on treatment of the material. The validation treatment processes of a deteriorated material are related both with ensuring the physical standard and structural integrity while respecting the authenticity of the historical building. The choices

of intervention to physical body of the historical building not only in purely formal terms, but also with respect to content of the material should be discussed and decided during the preparation of restoration projects.



Amasya Ot, Merkez İlçesi, Yıldız Hamamı
Malzeme Analiz ve Restorasyon Raporu – 21.10.2017

3.2. Boya Analizi

Tablo 2: Boya ve Katman Analizi

ÖRNEK NO	RENK	ASİTLE MUAMELE	ORGANİK MADDE	
			PROTEİN	YAĞ
5b	Beyaz	Reaksiyona girdi ve tamamı çözündü.	+	-
5c	Sarı	Reaksiyona girdi ve tamamı çözündü.	+	-
5d	Beyaz	Reaksiyona girdi ve tamamı çözündü.	+	-
5e	Pembe	Reaksiyona girmedi, levha halinde kaldı.	-	-

3.3. Kızdırma Kaybı, Asitle Muamele ve Elek Analizi

Örneklerin 105±5°C, 550±5°C ve 1050±5°C'de yapılan kalsinasyon (kızdırma kaybı) analiz sonuçları ile asitle muamele sonucu ve asitle reaksiyona girmeyerek parçalanmadan kalmış olan silikatlı agregaların oranı ve bu agregaların boyut dağılımları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Kızdırma ve Asit Kaybı, Elek Analizi

Örnek No	Kızdırma Kaybı (%)			Asitle Muamele (%)		Elek Analizi (%)									
	Nem (105°C)	550 °C	($CaCO_3$)	Kalsit	Kalan	> 8,0 mm	> 5,6 mm	> 4,0 mm	> 2,0 mm	> 1,0 mm	> 500 µ	> 250 µ	> 125 µ	> 63 µ	< 63 µ
1	0,93	2,58	18,70	45,73	54,27	0,00	0,00	0,00	0,00	7,88	27,93	41,12	9,52	4,76	8,79
2	0,99	3,87	32,34	40,47	59,53	0,00	0,00	0,00	0,00	23,01	20,39	14,12	14,90	13,33	14,25
3	0,37	2,23	43,20	41,59	58,41	0,00	15,58	2,88	4,05	18,76	36,09	14,29	5,18	1,92	1,25
4	13,92	3,07	30,10	95,09	4,91	*									
5a	4,02	4,36	24,99	40,40	59,60	0,00	0,00	0,00	8,27	19,20	23,41	23,90	20,32	3,92	0,98
6	5,38	5,99	35,09	51,34	48,66	0,00	0,00	0,00	0,00	3,94	6,09	8,33	44,27	25,99	11,38

** Asitle muamele sonrası yeterli miktarda örnek kalmadığından ilgili analiz yapılamamıştır.*

3.4. Asitle Muameleden Kalan Malzemelerin Görsel Analizi

Asitle muamele edilerek parçalanan örneklerin, asitle reaksiyona girmeyen silikatlı malzemelerin, elek analizi ile boyutlarına ayrıldıktan sonra, stereo mikroskop altında incelenmiş ve görünür özellikleri aşağıda verilmiştir. Tanımlarda % 1'den az miktarlar için "çok az", % 1–2 miktarları için "az" terimleri kullanılmıştır. Örneklerin asitle muamele sonrasında kalan malzemelerinin nitelik ve miktarı aşağıda verilmiştir.

Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi-Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma, Uygulama ve Araştırma Merkezi-KURAM
Prof. Dr. Ahmet Refik ERSEN Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarı

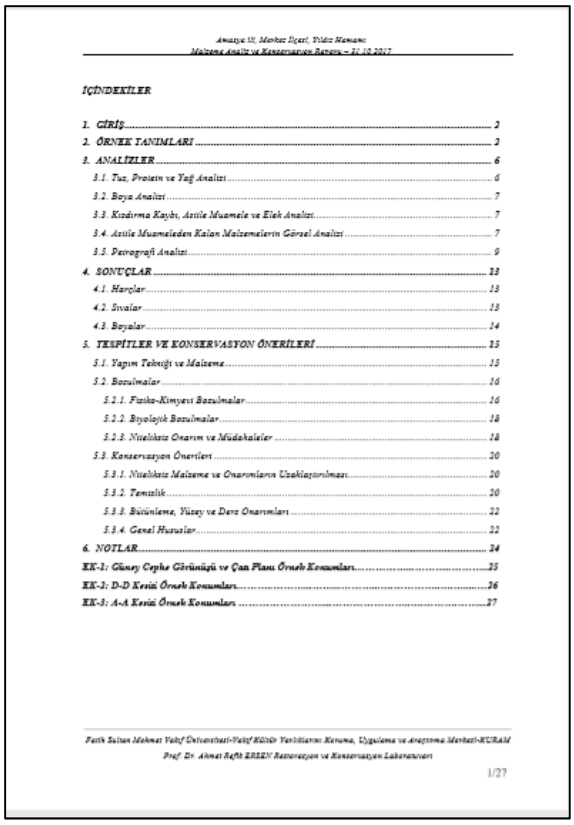
7/27

Image2: A sample Material Test Report gained from interviewed restaurateur architects

Unfortunately, as a result of the in-depth interviews conducted with architects, it is understood that there are problems in both stages. For instance, in the first stage, it is revealed that the samples for material testing are usually collected by restaurateur architects, which is actually a case of specialization and had to be done properly. Historical buildings experience many natural effects along the centuries cause deformation and deterioration on the material and may also produce voids and cracks inside the material. These hidden problems cannot be diagnosed empirically, that only specialists can take samples from these critical areas. Moreover, as the subject of investigation is delicate and unique, it is important not to destruct the authentic historical fabric while investigating the complex inner structure of historic building. Therefore, sampling had to be done by a specialist who is an expert both on historical buildings and material characteristic. A specialist can choose not only the proper place of sampling but also the suitable method of sampling according to unique nature of the historical buildings such as minor-destructive and non-destructive testing.

Moreover, second stage has more problems, that, the material analysis reports done during the restoration process often does not fulfill the need of restaurateur architects. After sampling stage, the samples analyzed in laboratories due to custom processes under comprehensive range of advanced material testing, such as acid digestion, thin section analysis, and x-ray diffraction, microscopical work etc. Mostly material tests are done on historic masonry mortar, wooden building parts and the masonry

parts, and calculate the mechanical and physical properties of the authentic material such as strength, moisture permeability etc.



Amasya İli, Merkez İlçesi, Yıldız Hamamı
Malzeme Analiz ve Konservasyon Raporu – 21.10.2017

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ 2
2. ÖRNEK TANIMLARI 2
3. ANALİZLER 6
3.1. Tuz, Protein ve Yağ Analizi 6
3.2. Boya Analizi 7
3.3. Kızdırma Kaybı, Asitle Muamele ve Elek Analizi 7
3.4. Asitle Muameleden Kalan Malzemelerin Görsel Analizi 7
3.5. Petrografi Analizi 9
4. SONUÇLAR 13
4.1. Harçlar 13
4.2. Sıvalar 13
4.3. Boyalar 14
5. TESPİTLER VE KONSERVASYON ÖNERİLERİ 15
5.1. Yapım Tekniği ve Malzeme 15
5.2. Bozulmalar 16
5.2.1. Fiziko-Kimyevi Bozulmalar 16
5.2.2. Biyolojik Bozulmalar 18
5.2.3. Nitelikiz Onarım ve Müdahaleler 18
5.3. Konservasyon Önerileri 20
5.3.1. Nitelikiz Malzeme ve Onarımların Uzaklaştırılması 20
5.3.2. Temizlik 20
5.3.3. Bütünleme, Yüzey ve Derz Onarımları 22
5.3.4. Genel Hususlar 22
6. NOTLAR 24
EK-1: Güney Cephe Görünüşü ve Çatı Planı Örnek Konumları 25
EK-2: D-D Kesiti Örnek Konumları 26
EK-3: A-A Kesiti Örnek Konumları 27

Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi-Vakıf Kültür Varlıklarını Koruma, Uygulama ve Araştırma Merkezi-KURAM
Prof. Dr. Ahmet Refik ERSEN Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarı

1/27

Image2: Index of a material test report having conservation proposals. (gained from interviewed restaurateur architects)

After the analysis of samples in laboratories a report arranged by the engineer who made the experiments and performance tests. However, the results of the test are mostly numerical data assessing the condition of the material in a safe range of stats, and could not give clues to a restaurateur architect, who is not specialized on material testing and analysis, about the meanings of the results, how these results can be interpreted and used during the implementation process of the restoration project. Therefore, the material test results had to be reviewed and analyzed by expert engineers to identify the original material and make scientifically-based restoration or replacement recommendations. In order to make the most accurate restoration recommendations, the performance characteristics of the original material should be compared with replacement products and identify the most suitable option. If the decision comes to replicating or replacement of original materials, the accuracy in morphologic and physical similarity is not enough for replacement, but also detailing should be handled with an expert for the best possible solution.

Conclusions

Architectural restoration aims to renovate the integrity and functionality of a historical structure usually after a severe damage or vital degradation caused in long periods of time. In this detailed process, main actions must be followed by not only a deepened historical study on the documents about the architectural features of building, but also a detailed material and structural analysis on existing building

parts and materials. Hence, while authenticity of the architectural design is preserved, the safety of the load bearing structure had to be maintained.

Therefore, gaining knowledge on the physical state of the historical building is a vital basis for further restoration decisions; that, the importance of material testing through experimental investigation is undeniable. However, evaluation of structural and material conditions of historical buildings is the most neglected part of the restoration process, due to lack of communication between the actors engaged in this stage. The actors taken part restoration -such as restaurateur architect and material expert- mostly not familiar with each other's specialties'. Hence, a negotiator who can understand both parties, is a missing chain in material assessment process. As, the lab test results include a written, photodocumented report with limited interpretation; and expert has to review the test results, analyze them, and prepare possible treatment proposals for restaurateur architects.

In spite of that urgent need for experts who are both specialized on both material properties and restoration principles, unfortunately, neither architecture nor engineering faculties in Turkey has such kind of graduate programmes. These programs should be immediately inaugurated and new experts who can both evaluate the material test results and historical qualities of the building would be educated.

References

1. Url 1: https://www.cfrinc.net/cfrblog/in-depth-interviewing
2. Url 2: https://sswm.info/planning-and-programming/decision-making/gathering-ideas/semi-structured-interviews
3. Boyce C. and Neale P. (2006) *Conducting In-Depth Interviews: A Guide for Designing and Conducting In-Depth Interviews for Evaluation Input*, Pathfinder International Tool Series: Monitoring and Evaluation – 2. (available on 15.05.2019 at http://www2.pathfinder.org/site/DocServer/m_e_tool_series_indepth_interviews.pdf)
4. F.N. Akıncı, 2000, "Geleneksel Sivil Mimarinin Sosyo-Kültürel ve İşlevsellik Bağlamında Tarihsel Sürekliliği İçin Planlama/Finans Modeli" Ph.D. Thesis, Y.T.U. Institute of Science and Technology, İstanbul
5. Interview with Restaurateur Architect Derya Ak Depecik (Dad Mimari ve Restorasyon) (04.02.2019)
6. Interview with Restaurateur Architect Esin Kuleli (18.04.2019)
7. Rouhi, J., (2017). Definition of Cultural Heritage Properties and Their Values by The Past, *Asian Journal of Science and Technology*, 08/12, pp.7109-7114 (Available on 19.05.2019 at https://www.researchgate.net/publication/322224022_DEFINITION_OF_CULTURAL_HERITAGE_PROPERTIES_AND_THEIR_VALUES_BY_THE_PAST)
8. The Venice Charter - La Charte de Venise 1964-1994, *ICOMOS Scientific Journal*, Paris (1994).

İskenderun Teknik Üniversitesi Öğrencilerinin Çevresel Sürdürülebilirlik Konusundaki Bakış Açılarının Belirlenmesi (Oral)

Elif BOZDOĞAN SERT[1] Gülay TOKGÖZ[2] Onur GÜNGÖR[3] Umur Korkut SEVİM[4]

[1-3]İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Hatay
[4]İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay
Emails: elif.bozdogansert@iste.edu.tr, gulay.tokgoz@iste.edu.tr, onur.gungor@iste.edu.tr; ukorkut@iste.edu.tr

Özet

İnsanoğlu, çevresini ve doğal kaynakları sınırsız olduğunu düşünerek kullanmıştır. Özellikle düzensiz kentleşme, nüfus artışı, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerdeki artış ile ulaşım faaliyetlerinden kaynaklanan pek çok çevre sorunu oluşmuştur. 20. yüzyılın sonlarından itibaren küresel ölçekte çevre ve sürdürülebilirlik konuları önem kazanmıştır. Çevresel sürdürülebilirlik yaklaşımı ile doğa ve insan arasındaki etkileşim farklı bakış açılarıyla değerlendirilmektedir. Bu kapsamda özellikle yükseköğretim kurumlarının çevresel sürdürülebilirlik konusunda stratejiler geliştirerek öğrencilerin bakış açılarında değişim sağlamasının önemi ortaya konulmuştur. Bu çalışma ile İskenderun Teknik Üniversitesi öğrencilerinin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bakış açılarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışma, İskenderun Teknik Üniversitesi'nde 4 yıllık eğitim veren Fakülte ve Yüksekokullarda Şubat-Mayıs 2019 tarihleri arasında 3 aşamalı olarak yürütülmüştür. Birinci aşamada demografik bilgiler, çevresel sürdürülebilirlik konulu faaliyetlere katılma/ders alma durumları ve öğrencilerin konuya bakış açılarının belirlendiği parametrelerin yer aldığı standart anket soruları hazırlanmıştır. Anket yapılacak öğrenciler tesadüfi örnekleme yöntemi ile seçilmiştir. 2018-2019 eğitim öğretim yılında 4 yıllık bölümlerde eğitim alan 5976 öğrencinin % 10'luk kısmını temsil eden 597 öğrenciye 5'li Likert ölçeğinde hazırlanan standart anket uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşaması elde edilen anket verilerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi aşamasıdır. Elde edilen veriler SPSS 20.0 Programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sorular arasındaki ilişkiler ki-kare testi ile belirlenmiştir. Çevresel sürdürülebilirlik toplam puanlarının eşitliği özelliklerine göre bağımsız bağımsız t testi ve tek yönlü varyans analizi ile test edilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar ise Duncan testi ile belirlenmiştir. Çalışmanın üçüncü aşamasında ise elde edilen veriler doğrultusunda öneriler geliştirilmiştir. Bu kapsamda konunun bütüncül bir yaklaşımla ele alınması; yaşam boyu devam edecek bu süreçte ilgili kurum ve kuruluşların birlikte hareket etmesi gerektiği hususuna dikkat çekilmiştir.

Anahtar Kelimeler: çevre, sürdürülebilirlik, çevresel sürdürülebilirlik, üniversite öğrencileri

Determination of Iskenderun Technical University Students' Perspectives on Environmental Sustainability

Abstract

Human beings have used their environment and natural resources by considering that they are unlimited. Many environmental problems has occured as a result of increase in irregular urbanization, population growth, industrial and agricultural activities and transportation facilities. Environment and sustainability have gained importance at the global scale since the end of the 20th century. The environmental sustainability approach has evaluated with a new perspective on the relationship between nature and human. With regard to this, the importance of changing students' perspective through the development of environmental sustainability strategies in higher education institutions has been highlighted. The study aimed to determine of Iskenderun Technical University Students' perspectives on environmental sustainability. The study was conducted in 3 phases between February-May 2019 at the faculties and colleges of Iskenderun Technical University. In the first phase, a standard questionnaire was prepared including demographic information, participation courses, participation in activities related to environmental sustainability, and parameters in which students' perspectives were determined. The students were selected by random sampling method. A standard questionnaire was prepared on a 5-point Likert scale for 597 students representing 10% of the approximately 5 976 students. The second stage of the study is the statistical analyses of the survey data calculated by using SPSS 20.0 Program. The relationship between questions were determined by using chi-square test. The equality of total environmental sustainability scores was tested by independent t-test and one-way analysis of variance. The differences between the means were determined by Duncan test. In the third stage of the study, recommendations were made based on the data. Those result suggest that the subject should be evaluated with a holistic approach. In this process, which will continue throughout life, it is pointed out that the related institutions and organizations should act together.

Keyword(s): environment**,** environmental sustainability, university students

1. Giriş

İnsanoğlunun çevresini ve doğal kaynakları sınırsız olduğunu düşünerek kullanması çevre sorunlarının oluşmasına yol açmıştır. Özellikle düzensiz kentleşme, nüfus artışı, endüstriyel-tarımsal faaliyetlerdeki artış ve ulaşım faaliyetleri sonucu kentsel ve kırsal alanlarda oluşan çevre sorunları insanlığı tehdit etmektedir [1],[2]. Özellikle hava, su, toprak kirliliği tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Havayı kirleten gazlar (SO_2, CO, CO_2, N_2O, CH_4) küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açarak aşırı yağış ya da kuraklığa neden olmaktadır. Sanayi ve evsel nitelikli atık sular, çöp depolama alanları, tıbbi atıklar, tarımsal ilaçlar temiz su kaynaklarını ve toprağı kirletmektedir. 1950'li yıllardan günümüze artan çevre sorunlarının varlığı uluslararası platformlarda kabul edilmiş ve bunlarla mücadele konusunda birçok işbirliği belgesi imzalanmıştır. Çevre ve sürdürülebilirlik konuları 20. yüzyılın sonlarından itibaren küresel ölçekte önem kazanmıştır. Çevre üzerinde oluşan baskının azaltılması ya da önlenmesi için ortaya konulan çevresel sürdürülebilirlik yaklaşımı, doğa ile insan arasındaki ilişkiye yeni bir

bakış açısı getirmiştir [3],[4],[5]. Çevre, ilk kez 1972'de Stockholm'de Birleşmiş Milletler tarafından düzenlenen "İnsan ve Çevre Konferansı"nda tartışılmış; çevre ile uyumlu kalkınmanın temelini oluşturan "sürdürülebilirlik" ele alınmıştır. 1987 yılında ise Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayımlanan "Ortak Geleceğimiz" raporunda ekonomik, sosyal ve çevresel konuların eş zamanlı ve eşit düzeyde ele alınmasının sürdürülebilirliği getirebileceği kabul edilmiştir [6]. 1992 yılında Rio de Janeiro'da gerçekleştirilen BM Dünya Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda ise 21. yüzyılın hedefi olan sürdürülebilir kalkınmaya nasıl ulaşılabileceği "Gündem 21" küresel eylem planı ile benimsenmiştir. Bu planda çevre eğitiminin ilköğretimden üniversiteye kadar tüm eğitim kurumlarında ve hatta okul dışında sürmesi gerektiği belirtilmiştir [7],[8]. 1997 yılında UNESCO ile ortak düzenlenen Uluslararası Çevre ve Toplum Konferansı sonucunda yayınlanan Selanik Deklerasyonu'nda sürdürülebilirlik ve çevre için eğitim amacıyla geliştirilen stratejiler arasında örgün eğitimde programların geliştirilmesi, halkın ve öğretmenlerin eğitimi yer almıştır [9],[10]. Bu gelişmelerin paralelinde Türkiye'de de çevre ve sürdürülebilirlik konusu T. C. Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanan ve T.B.M.M'de onaylanan 5 yıllık kalkınma planları kapsamında ele alınmaktadır. Çevre olgusu ilk kez Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (1996-2000) kullanılmıştır. Bu planda çevrenin korunması ve geliştirilmesi hedeflenmiş; doğal kaynakların yönetimi önemsenmiştir. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (2001-2005) doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının sağlanması ve tüm sektörlerde çevreye duyarlılığın arttırılması hususu ön plandadır. Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (2007-2013) ise doğal ve kültürel varlıklar ile çevrenin korunarak gelecek nesillere bırakılmasının önemi kabul edilmiş; çevre bilincinin geliştirilmesine yönelik eğitim ve kamuoyu bilgilendirme çalışmalarının yapılması gerektiği belirtilmiştir. Onuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (2014-2018) da çevrenin korunması, kaynakların sürdürülebilir kullanımı benimsenmiş; toplumun çevre duyarlılığı ve bilincinin arttırılması, çevre kalitesinin yükseltilmesi temel amaç olarak belirlenmiştir [11]. Kent ölçeğinde çevresel sürdürülebilirliğin hayata geçirilmesini sağlayan paydaşlar yerel yönetimler, kamu kurumları, eğitim-öğretim kurumları ve sivil toplum kuruluşları başta olmak üzere tüm kent halkıdır. Paydaşların sahip olduğu çevresel sürdürülebilirlik bilincinin çevre korumaya yönelik tutum ve davranışa dönüşmesi gerekmektedir [12].Toplumu oluşturan bireylerin çevre ile ilgili tutum, inanç ve değerlerini içeren bakış açıları sosyal normlar, akran etkileşimi, kişisel deneyimler ve çevre eğitimi gibi faktörlerin etkisi ile oluşmaktadır. Bu nedenle, çevre bilincinin çocukluktan itibaren kalıcı davranışlara ve yaşam biçimine dönüşmesinde eğitimin rolü ve etkisi büyüktür. Yaşam boyu devam eden bu süreçte, önemli bir potansiyele sahip yükseköğretim kurumları çevresel sürdürülebilirlik konusunda stratejiler geliştirerek öğrencilerin bakış açılarında değişim sağlayarak önemli bir görev üstlenmektedir [3],[13],[14]. Bu çalışmanın amacı, çevrenin korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanmasında önemli bir paydaş olan üniversite öğrencilerinin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bakış açılarını, dolayısıyla çevresel bilinç ve tutum düzeylerini İskenderun Teknik Üniversitesi örneğinde incelemektir. Üniversitemiz örneğinde yapılan değerlendirme ve önerilerin yükseköğretimde örnek teşkil edebileceği öngörülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma, 2018-2019 eğitim öğretim döneminde Şubat-Mayıs aylarında İskenderun Teknik Üniversitesi'nin 4 yıllık eğitim veren Fakülte ve Yüksekokullarında yürütülmüştür. Bu birimlerde toplam 5976 öğrenci eğitim-öğretim görmektedir. Çalışmanın yürütüldüğü 6 fakülte/yüksekokul bünyesindeki 12 bölüme ait öğrenci sayıları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Anket uygulamasının yapıldığı birimler

Sayı	Bölüm Adı	Fakülte Adı	Anket Uygulanan Öğrenci Sayısı
1	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Mühendislik ve Doğa Bilimleri	11
2	İnşaat Mühendisliği		254
3	Biyomedikal Mühendisliği		14
4	Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği		36
5	Bilgisayar Mühendisliği		40
6	Makine Mühendisliği		6
7	Peyzaj Mimarlığı	Mimarlık	12
8	Seyahat İşletmeciliği ve Turizm Rehberliği	Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik	34
9	Turizm ve Otel İşletmeciliği		43
10	Havacılık Yönetimi	Sivil Havacılık	117
11	Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği	Barbaros Hayrettin Gemi İnşaatı ve Denizcilik	22
12	Ekonomi	İşletme ve Yönetim Bilimleri	8
		Toplam	**597**

2.2. Yöntem

Çalışma 3 aşamalı olarak yürütülmüştür. Birinci aşama, anket sorularının hazırlanması aşamasıdır. Bu aşamada demografik sorular (cinsiyet, fakülte, bölüm, sınıf), çevresel sürdürülebilirlik konulu faaliyetlere katılıma yönelik 4 soru ile öğrencilerin çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açılarının ölçülmesi için 21 sorudan oluşan standart anket formu 5'li Likert ölçeğinde (hiç katılmıyorum: 1, katılmıyorum: 2, kararsızım: 3, katılıyorum: 4, tamamen katılıyorum: 5) değerlendirilmiştir. Bu aşamada anket yapılacak öğrenci sayısı belirlenmiştir. Bu kapsamda 4 yıllık eğitim verilen 5976 öğrencinin %10'luk kısmını oluşturan ve tesadüfi örnekleme yöntemi ile seçilmiş 597 öğrenciye 3 bölümden oluşan standart anket uygulaması yapılmıştır. Çalışmanın ikinci aşaması elde edilen anket verilerinin SPSS 20.0 Programı kullanılarak değerlendirildiği aşamadır. Anket sorularının güvenilirlik düzeyi Cronbach's Alpha testi ile belirlenmiş olup; bu değer 0,833'tür. Sorular arasındaki ilişkiler ki-kare testi ile analiz edilmiştir. Çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açılarının ölçüldüğü 5'li Likert tipi soruların cevaplarından hareketle öğrencilerin çevresel sürdürülebilirlik toplam puanları elde edilmiştir. Bu toplam puan yardımıyla bazı nitel faktörler arasında çevresel sürdürülebilirlik toplam puanlarının eşit olup olmadığı özelliklerine göre bağımsız bağımsız t testi ve tek yönlü varyans analizi ile test edilmiştir. Tek yönlü varyans analizi testlerinde

ortalamalar arasında fark olduğuna ulaşıldığında; ortalamalar arasındaki farklılıklar Post Hoc testlerinden Duncan testi ile belirlenmiştir. Çalışmanın üçüncü aşaması elde edilen verilerin değerlendirildiği ve önerilerin geliştirildiği aşamadır. Bu kapsamda İskenderun Teknik Üniversitesi öğrencilerinin çevresel sürdürülebilirlik konularındaki bakış açıları ortaya konularak üniversite eğitiminin sağlayabileceği katkılar değerlendirilmiştir.

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Küresel ölçekte çevrenin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında eğitimin önemi yıllardır konuşulmaktadır. Bu konu bütüncül bir yaklaşımla ele alınmakta, okul öncesinden başlayarak üniversite eğitimi ve hatta yaşam boyu öğrenme programları ile desteklenmektedir. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında bireysel sorumluluklar nedeniyle yükseköğrenim eğitimi bireylerin bu konudaki bilinç ve tutum düzeylerini arttıracaktır. Bu çalışmada İskenderun Teknik Üniversitesi'nde 4 yıllık eğitim alan öğrencilerin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bakış açılarının belirlenmesi hedeflenmiş; anket uygulaması yapılan 597 öğrenciye ait veriler Çizelge 2'de sunulmuştur. Ankete katılan öğrencilerin % 73,2'sini erkek, % 26,8'ini kız öğrenciler oluşturmaktadır. Öğrencilerin sınıf durumu incelendiğinde; Hazırlık sınıfındaki öğrencilerin oranı % 3,7; 1. Sınıf öğrencilerinin oranı % 27,8; 2. Sınıf öğrencilerinin oranı % 22,4; 3. Sınıf öğrencilerinin oranı % 30,3; 4. Sınıf ve üzerindeki öğrencilerin oranı ise % 15,7'dir. İskenderun Teknik Üniversitesi öğrencilerinin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bakış açıları değerlendirildiğinde; en yüksek düzey "*Su kirliliğinin önlenmesinin çevresel sürdürülebilirlik için önemli olduğunu düşünüyorum*" parametresinde elde edilmiş olup; değeri 4,60'dır. Tamamen katılıyorum ve katılıyorum cevapları toplandığında öğrencilerin % 96,3'ünün bu konuya olumlu bakış düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu soruyla ilişkili "*Temiz su kaynaklarının korunması için suyu gereksiz kullanmaktan kaçınıyorum*" parametresinden elde edilen düzey 4,26'dır. Tamamen katılıyorum ve katılıyorum cevapları toplandığında öğrencilerin % 84,5'inin bu konuya olumlu bakış düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Bozdoğan ve ark.[5] tarafından Mustafa Kemal Üniversitesi öğrencilerinin bilinç ve tutum düzeylerinin belirlendiği çalışma parametrelerinden suyun yeniden kullanımında elde edilen 3.02 düzeyinden çok yüksek elde edilmiştir. Öğrencilerin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki en düşük duyarlılık düzeyi ise "*Hava ve gürültü kirliliğinin azalmasına katkı sağlamak için bisiklet kullanıyorum*" parametresinde 3,01 düzeyinde elde edilmiştir. Tamamen katılıyorum ve katılıyorum cevapları toplandığında öğrencilerin % 37,6'sının bu konudaki duyarlılığı yüksektir. Oysa ki "Hava kirliliğinin önlenmesinin çevresel sürdürülebilirlik için önemli olduğunu düşünüyorum" parametresinde 4,58 düzeyi elde edilmiştir. Tamamen katılıyorum ve katılıyorum cevapları toplandığında öğrencilerin % 96,3'ünün bu konuya olumlu bakış düzeyinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum öğrencilerin bilinç ve tutum düzeylerinin farklı olabilmesiyle açıklanabilir. Elde edilen veriler, Bozdoğan ve ark. [5] tarafından Mustafa Kemal Üniversitesi öğrencilerinin bilinç ve tutum düzeylerinin belirlendiği çalışma ile karşılaştırıldığında bisiklet kullanmayı tercih eden öğrencilerin tutum düzeyi olan 3.78'den çok düşük olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile

özellikle bilincin tutum ya da davranışa dönüşmesinin önemini de ortaya koyması bakımından önemli veriler elde edilmiştir. Bu durum değerlendirildiğinde "*Çevre kalitesini arttırmak amacıyla kentlerde yeşil dokunun arttırılmasını destekliyorum*" cevabının 4,48 düzeyinde desteklendiği; tam tersi olarak da "*Çevre kalitesine katkı sağlamak amacıyla ağaç dikim faaliyetlerine katılıyorum*" parametresinin" 3,48 düzeyinde desteklendiği ortaya konulmuştur. Bu konudaki diğer önemli veri de öğrenciler tarafından 4,42 düzeyinde desteklenen "Enerji üretiminde temiz enerji kaynaklarının kullanımını destekliyorum" parametresi 3,36 düzeyinde desteklenen "*Güneş enerjisi ile çalışan ürün ve teknolojileri kullanıyorum*" parametresi ile çelişmektedir.

Çalışma ile Üniversitemiz öğrencilerine uygulanan anket sonucunda her öğrenci için bir çevresel duyarlılık puanı elde edilmiştir. Öğrencilerin duyarlılık puanı ortalaması 82,77'dir. Çizelge 3'te üniversite eğitimi sırasında çevre konulu faaliyetlere katılıma yönelik sorular açısından elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Buna göre çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açılarını belirlemeyi hedefleyen sorulara "Evet" cevabını veren öğrencilerin duyarlılık puanları tüm sorular için "Hayır" cevabını verenlere göre daha yüksek elde edilmiştir. Bu kapsamdaki tüm parametreler açısından öğrencilerin duyarlılık puanları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak çok önemli bulunmuştur. Aynı zamanda duyarlılık puanı açısından en yüksek parametre "Üniversitemiz öğrenci topluluklarının çevre ile ilgili faaliyetlerine aktif olarak katılma" olarak belirlenmiştir. Bu soruya "Evet" yanıtını veren 103 öğrencinin ortalama duyarlılık puanı 86,02 olup; genel ortalamanın üzerindedir. Soruya "Hayır" yanıtını veren 494 öğrencinin duyarlılık puanı ise 82,10'dur. Buna göre, üniversitemiz öğrenci topluluklarının çevre ile ilgili faaliyetlerine aktif olarak katılımın öğrencilerin çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açılarını olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Ünal ve Dımışkı [15] çalışmasında çevresel sürdürülebilirlik konusunda bilinç ve tutum/duyarlılık düzeyinin arttırılmasında uygulamalı etkinliklerin önemini ortaya koymuştur. Bu durum çalışmamızda elde edilen verilerle de paralellik göstermektedir. Kına ve ark. [14] da üniversite öncesi ve ders dışı çevre konulu ders alan öğrencilerin çevresel tutum düzeylerinin daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Bu durumun gönüllük esasıyla yapılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 2. İskenderun Teknik Üniversitesi öğrencilerinin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bakış açılarına yönelik veriler

Parametre	**Ortalama Değer**	**Hiç Katılmıyorum**		**Katılmıyorum**		**Kararsızım**		**Katılıyorum**		**Tamamen Katılıyorum**	
		Sayı	**Oran**	**Sayı**	**Oran**	**Sayı**	**Oran**	**Sayı**	**Oran**	**Sayı**	**Oran**
Çevre sorunlarının küresel ölçekli bir sorun olduğunu düşünüyorum.	4,21	14	2,3	33	5,5	31	5,2	253	42,4	266	44,6
Doğal kaynakların korunması için gerekli tüm teknoloji ve uygulamaları destekliyorum.	4,47	1	0,2	12	2,0	30	5,0	216	36,2	338	56,6
Su kirliliğinin önlenmesinin çevresel sürdürülebilirlik için önemli olduğunu düşünüyorum.	**4,60**	4	0,7	7	1,2	11	1,8	177	29,6	398	66,7
Hava kirliliğinin önlenmesinin çevresel sürdürülebilirlik için önemli olduğunu düşünüyorum.	4,58	1	0,2	7	1,2	14	2,3	198	33,2	377	63,1
Toprak kirliliğinin önlenmesinin çevresel sürdürülebilirlik için önemli olduğunu düşünüyorum.	4,52	2	0,3	8	1,3	23	3,9	209	35,0	355	59,5
Geri dönüştürülmüş malzeme ile yapılmış ürünleri kullanıyorum.	3,43	14	2,3	67	11,2	240	40,2	202	33,8	74	12,4
Pilleri pil toplama kutusunda biriktiriyorum.	3,18	69	11,6	116	19,4	140	23,5	181	30,3	91	15,2
Çöpleri geri dönüşüme uygun biçimde ayırıyorum.	3,41	50	8,4	82	13,7	148	24,8	209	35,0	108	18,1
Enerji üretiminde temiz enerji kaynaklarının kullanımını destekliyorum.	4,42	2	0,3	16	2,7	32	5,4	228	38,2	319	53,4
Güneş enerjisi ile çalışan ürün ve teknolojileri kullanıyorum.	3,36	49	8,2	112	18,8	133	22,3	181	30,3	122	20,4
Temiz su kaynaklarının korunması için suyu gereksiz kullanmaktan kaçınıyorum.	4,26	9	1,5	20	3,4	64	10,7	220	36,9	284	47,6
Gereksiz enerji kullanımından kaçınıyorum.	4,20	10	1,7	22	3,7	70	11,7	231	38,7	264	44,2
Trafik kaynaklı kirliliği önleyici uygulamaların kullanımını destekliyorum.	4,28	4	0,7	20	3,4	61	10,2	234	39,2	278	46,6
Hava ve gürültü kirliliğinin azalmasına katkı sağlamak için bisiklet kullanıyorum.	**3,01**	87	14,6	140	23,5	145	24,3	131	21,9	94	15,7
Çevre kalitesini arttırmak amacıyla kentlerde yeşil dokunun arttırılmasını destekliyorum.	4,48	6	1,0	9	1,5	32	5,4	193	32,3	357	59,8
Çevre kalitesine katkı sağlamak amacıyla ağaç dikim faaliyetlerine katılıyorum.	3,48	49	8,2	96	16,1	126	21,1	174	29,1	152	25,5
Kullandığım ürünlerin çevreye zararlı bir madde içerip içermediğine dikkat ediyorum.	3,44	40	6,7	85	14,2	170	28,5	176	29,5	126	21,1
Çevre sorunlarını sosyal medya ve basın yoluyla takip ediyorum/konuyla ilgili paylaşımlar yapıyorum.	3,31	57	9,5	113	18,9	131	21,9	177	29,6	119	19,9
Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında "Üniversite Ekosistemi"nin önemli rolü olduğunu düşünüyorum.	3,88	26	4,4	33	5,5	119	19,9	230	38,5	189	31,7
Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında "Sivil Toplum Kuruluşları"nın önemli rolü olduğunu düşünüyorum.	4,08	15	2,5	31	5,2	67	11,2	262	43,9	222	37,2
Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında "Yerel Yönetimler"in önemli rolü olduğunu düşünüyorum.	4,18	15	2,5	23	3,9	73	12,2	216	36,2	270	45,2

Çizelge 3. Üniversite eğitimi sırasında çevre konulu faaliyetlere katılımın çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açıları duyarlılık puanları açısından değerlendirilmesi

No	Parametre	Evet			Hayır			Önemlilik
		Sayı	Oran	Puan	Sayı	Oran	Puan	
1	Üniversite eğitimi süresince çevre/sürdürülebilirlik konularında ders alma	115	19,3	85,81	482	80,7	82,05	0.000*
2	Çevre ile bağlantılı herhangi bir gönüllü kuruluş/organizasyona üye olma	126	21,1	85,53	471	78,9	82,03	0.000*
3	Üye ise etkinliklere katılma	84	14,1	85,92	513	85,9	82,26	0.002*
4	Üniversitemiz öğrenci topluluklarının çevre ile ilgili faaliyetlerine aktif olarak katılma	103	17,3	**86,02**	494	82,7	82,10	0.000*

*p<0.001: farklılıklar istatistiksel olarak önemli düzeydedir.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler bölümler bazında incelenmiş; istatistiksel olarak yapılan değerlendirme sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Tüm bölümler arasında en yüksek çevresel duyarlılık ortalama puanına (92,00) sahip olan bölüm Peyzaj Mimarlığı Bölümü'dür. İskenderun Teknik Üniversitesi'nde çevresel sürdürülebilirlik açısından en düşük düzeydeki bakış açısı Biyomedikal Mühendisliği Bölümü'ne ait olup; 78,14 puandır. Bölümlerin çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açıları duyarlılık puanları arasındaki farklılıklar duyarlılık puanları arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemlidir (p=0.005). Bu veriler Kına ve ark. [14]'nın Mustafa Kemal Üniversitesi Lisans öğrencileri ile yaptığı çalışmanın verilerinden farklıdır. Üniversite eğitimi sırasında çevre dersi alan Peyzaj Mimarlığı Bölümü öğrencilerinin çevresel tutumlarının 3,87; tersine üniversite eğitimi esnasında çevre konulu ders almayan Özel Eğitim Bölümü öğrencileri arasında ders dışı çevre konulu ders alma durumunun çevresel tutum düzeyini olumlu yönde (4,4) etkilediği ortaya konulmuştur.

Çizelge 4. Bölümlere göre çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açıları açısından duyarlılık puanları

Sayı	Bölüm Adı	Öğrenci Sayısı	Duyarlılık Puanı	Standart Sapma	Standart Hata
1	Elektrik-Elektronik Mühendisliği	11	81,73 ab	10,001	3,015
2	İnşaat Mühendisliği	254	81,46 ab	9,846	0,618
3	Biyomedikal Mühendisliği	14	**78,14 a**	10,953	2,927
4	Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği	36	84,83 ab	9,281	1,547
5	Bilgisayar Mühendisliği	40	82,20 ab	11,088	1,753
6	Peyzaj Mimarlığı	12	**92,00 c**	9,175	2,649
7	Seyahat İşletmeciliği ve Turizm Rehberliği	34	83,41 ab	9,718	1,667
8	Turizm ve Otel İşletmeciliği	43	83,88 ab	9,806	1,495
9	Havacılık Yönetimi	117	84,49 ab	9,112	0,842
10	Makine Mühendisliği	6	87,50 bc	8,068	3,294
11	Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği	22	81,68 ab	11,712	2,497
12	Ekonomi	8	79,50 a	8,519	3,012

Çalışmada elde edilen veriler öğrencilerin bulunduğu sınıflar açısından incelenmiş; istatistiksel olarak yapılan değerlendirme sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir. Sınıflar içerisinde çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açıları açısından en yüksek (84,55) duyarlılık puanı 4. Sınıf ve üstü öğrencilere; en düşük (81,68) puan ise hazırlık sınıfındaki öğrencilere aittir. Duncan testine göre tüm sınıflar aynı grupta yer almaktadır. Bu nedenle Gruplar arasında istatistiksel bir fark

yoktur. Elde edilen p değerine (p=0,106) göre de sınıflar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli değildir. Ancak, sınıf durumu artış gösterdikçe duyarlılık puanı da yükselmiştir. Bu durum üniversite eğitiminin çevresel sürdürülebilirlik konusunda öğrencilerde bakış açısını değiştirdiğinin bir göstergesidir.

Çizelge 5. Sınıflara göre çevresel sürdürülebilirlik konusuna bakış açıları açısından duyarlılık puanları

Sayı	Sınıf Adı	Öğrenci Sayısı	Duyarlılık Puanı	Standart Sapma	Standart Hata
1	Hazırlık	22	81,68 a	11,712	2,497
2	1. Sınıf	166	81,72 a	10,568	0,820
3	2. Sınıf	134	81,86 a	9,693	0,837
4	3. Sınıf	181	83,62 a	9,788	0,728
5	4. Sınıf ve üstü	94	**84,55 a**	8,746	0,902

4. Sonuç ve Öneriler

Ekosistemdeki bozulmaların geç ortaya çıkması nedeniyle küresel ölçekte çevre üzerindeki baskının azaltılması ya da önlenmesi için çevresel sürdürülebilirlik konusundaki çalışmalar yoğun biçimde desteklenmektedir. Bu kapsamda alınacak önlemlerin başarı sağlayabilmesi için bireylerin bilinç ve tutum düzeylerinin artması gerektiği sonucundan hareketle bu konuda yapılan çalışmalar önem kazanmıştır. Bu çalışmalar ülkelerin çevre ve eğitim politikasının oluşmasına da katkı sağlayacaktır.

İskenderun Teknik Üniversitesi'nde 4 yıllık eğitim veren bölüm öğrencilerinin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bakış açılarının değerlendirilmesini hedefleyen bu çalışmada elde edilen sonuçlar üniversite vizyon ve misyonunun şekillenmesinde önem arz etmektedir. Çalışma kapsamında üniversite öğrencilerinin çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bakış açılarının değerlendirilmesi amacıyla hazırlanan 5'li Likert tipi 21 adet sorunun cevaplarından hareketle öğrencilerin çevresel sürdürülebilirlik toplam puanları elde edilmiştir. Buna göre öğrencilerin çevresel sürdürülebilirlik duyarlılık puanı ortalaması 82,77'dir. Buna göre tüm sorulara "katılıyorum" cevabı verilmesi halinde elde edilecek duyarlılık puanı 84 olup; üniversitemiz öğrencilerinin genel duyarlılık düzeyi 3,9 yani 4 olarak kabul edilebilir. Bu da "katılıyorum" düzeyine eş değerdir.

Bölümler kapsamında değerlendirildiğinde; Peyzaj Mimarlığı Bölümü en yüksek puana (92,00) sahip olmuştur. Bunun nedeninin müfredatlarında çevre konulu derslerin bulunması ve öğrencilerin üniversitemiz öğrenci topluluklarının faaliyetlerine aktif olarak katılmaları olduğu düşünülmektedir. Lisans düzeyinde eğitim alan üniversite öğrencileri en yüksek düzeyde (4,60) "*Su kirliliğinin önlenmesinin çevresel sürdürülebilirlik için önemli olduğu*" konusunda duyarlıdır. Tamamen katılıyorum ve katılıyorum cevapları toplandığında öğrencilerin % 96,3'ünün bu konuya olumlu bir bakış açıları olduğu görülmektedir. Ancak, bilinç düzeyinin tutum/davranışa dönüşmediği belirlenmiştir. Yalnız, "Temiz su kaynaklarının korunması için suyu gereksiz kullanmaktan kaçınıyorum" parametresi 4,26 düzeyinde desteklenmektedir. Diğer parametreler bu düzeyin altında kalmıştır.

Üniversite öğrencileri çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında "Üniversite Ekosistemi"nin rolünün Sivil Toplum Kuruluşları ve Yerel Yönetimlerden daha düşük düzeyde olduğunu

düşünmektedir. Bu nedenle, üniversite bünyesinde çevre bilinci ve farkındalığının artmasını sağlayacak öğrenci toplulukları desteklenmeli; çevresel sürdürülebilirliği temel alan faaliyetlere üniversite üst yönetimi hassasiyet göstermelidir. Yine bu kapsamda tüm bölüm ya da öğrenci topluluklarının ekolojik altyapı konulu çalışmaları ile projelerini sergileyebileceği "Eco-Tech Etkinlik Günleri"nin her yıl düzenlenmesi önemsenmelidir.

Doğal kaynakların korunmasında önemli yeri olan geri dönüşümün üniversitemiz vizyonunun bir parçası olması; böylece kent ve bölge ölçeğinde de örnek oluşturması sağlanmalıdır. Üniversite bünyesinde çeşitli faaliyetlerle oluşan atıklar (kağıt, cam, plastik, organik vb) ayrıştırılarak toplanmalı, geri dönüşüm için ilgili kurum ve kuruluşlarla bağlantı kurulmalıdır.

Üniversite genelinde tüm bölümlerin müfredatlarının yeniden değerlendirilmesi sağlanmalı; çevresel sürdürülebilirlik konulu dersler (örneğin, çevre sorunları, doğa koruma, sürdürülebilirlik ve çevre etiği) müfredatlara eklenmelidir.

Üniversite bünyesinde çevresel sürdürülebilirlik konulu panel, çalıştay, sempozyum, kongre ve konferansların da eğitime katkısı göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

[1] Önder, S. (2006). A Survey of Awareness and Behavior in Regard to Environmental Issues among Selçuk University Students in Konya, Turkey. *Journal of Applied Sciences*, 6(2), 347-352.

[2] Yücel, M., Altunkasa, F., Güçray, S., Uslu, C., ve Say, N.P. (2006). Adana'da Halkın Çevre Duyarlılığının Saptanması ve Bu Duyarlılığı Arttırabilecek Önlemlerin Geliştirilmesi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), 217-228.

[3] McKenzie-Mohr, D., Nemiroff, L., Beers, L., and Desmarais, S. (1995). Determinants of responsible environmental behaviour. *Journal of Social Issues*, 51(4), 139–156.

[4] Yücel, M. (1995). Çevre Sorunları. *Ç.Ü.Z.F. Genel Yayın No: 109, Ders Kitapları*, Yayın No: 28, Ç.Ü.Z.F. Ofset Atölyesi, Adana, 302 s.

[5] Bozdoğan, E., Şahinler, S., and Korkmaz, E. (2016). Environmental Awareness and Attitudes in University Students: An Example from Hatay-Turkey. *Oxidation Communications*, 39(I-II), 661-672.

[6] Bonnett, M. (1999). Development: a Coherent Philosophy for Environmental Education? *Cambridge Journal of Education*, 29(3), 313-324.

[7] Oğuz, D., Çakcı, I., ve Kavasa, S. (2011). Yüksek Öğretimde Öğrencilerin Çevre Bilinci. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, (12), 34-39.

[8] Yuan, X., and Zuo, J. (2013). A Critical Assessment of the Higher Education for Sustainable Development from Students' Perspectives – a Chinese Study. *Journal of Cleaner Production*, (48), 108-115.

[9] Berberoğlu, G., and Tosunoğlu, C. (1995). Exploratory and confirmatory factor analyses of an Environmental Attitude Scale (EAS) for Turkish university students. *The Journal of* Environmental Education, 26(3), 40-43.

[10] Knapp, P. (2000). The Thessaloniki Declaration: A Wake-Up Call for Environmental Education. *The Journal of Environmantal Education*, 31(3), 32-39.

[11] Kalkınma Bakanlığı (2013). Kalkınma Planları. http://www.kalkinma.gov.tr

[12] Gross, S., and Niman, C. M. (1975). Attitude-behaviour consistency: A review. *The Public Opinion Quarterly*, 39(3), 358–368.

[13]Özata Yücel, E., ve Özkan, M. (2014). Ortaokul Öğrencilerine Yönelik Çevresel Tutum Ölçeği Geliştirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 27*(1), 27-48.

[14] Kına, E., Taktak, B., Güler, S., and Bozdoğan, E. (2016). Impact of Environmental Education at Bachelors Level on the Environmental Attitude of Students. *The 4th International Geography Symposium, Proceedings Book*, p: 159-169.

[15] Ünal, S., and Dımışkı, E. (1999). The Development of Environmental Education under Auspices of the UNESCO.UNEP and Secondary Education in Turkey. *Hacettepe University Journal of Education*, (17), 142-154.

Binalarda Sürdürülebilirliğin Sağlanmasında Çevresel Yaklaşımlar (Oral)

Elif BOZDOĞAN SERT[1] Gülay TOKGÖZ[2] Mehmet ÇETİN[3]

[1-2]İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Hatay
[3]Kastamonu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kastamonu
Emails: elif.bozdogansert@iste.edu.tr, gulay.tokgoz@iste.edu.tr, mcetin@kastamonu.edu.tr

Özet

Çevre, pek çok faktörün etkileşim içerisinde bulunduğu bir sistemdir. Bu sistem içerisinde insanoğlu, özellikle kendisine yaşam alanı oluşturmak amacıyla bilinçsizce doğal kaynakları kullanmış ve geri dönüşü olmayan çevresel bozulmalara (ormansızlaşma, biyoçeşitliliğin azalması, kirlilikler, küresel iklim değişikliği vb) neden olmuştur. Bu sorunların doğal yaşamı tehdit edici noktaya gelerek küresel boyut kazanması sorunun önemini ortaya çıkarmıştır. Tam bu noktada "sürdürülebilirlik", doğanın ve doğal kaynakların korunması kaygısıyla ortaya çıkmıştır. Gelecek nesillere sağlıklı yaşam alanlarının bırakılabilmesini hedefleyen bu kavram çevresel, sosyal ve ekonomik unsurları kapsamaktadır. Kent, mahalle ve hatta bina ölçeğinde doğal çevreyi korumayı hedefleyen bu yaklaşımla yaşam kalitesinin de iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Kentlerde sert zeminlerin ve betonun artışı yeşil alanların azalmasına dolayısıyla çevre sorunlarının artmasına neden olmaktadır. Bu durum en küçük ölçek olarak binalarda sürdürülebilirliğin sağlanmasının önem kazanması ile sonuçlanmıştır. Bu çalışma ile binalarda sürdürülebilirlik için çevresel yaklaşımlar ortaya konulmuş; İskenderun Teknik Üniversitesi örneğinde değerlendirilmiştir. Bu kapsamda çevresel yaklaşımlar "Yeniden Kullanım", "Çevre Kalitesini Arttıran Sistemler" ve "Yenilenebilir Enerji Sistemleri" olmak üzere 3 başlık altında değerlendirilmiştir. İskenderun Teknik Üniversitesi örneğinde yapılan değerlendirmenin sonucunda öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: sürdürülebilirlik, çevresel yaklaşımlar, bina

Environmental Approaches for Sustainability in Buildings
Abstract

The environment is a system in which many factors interact. In this system, mankind has unconsciously used natural resources, especially in order to create a living space, and caused irreversible environmental degradation (deforestation, decrease in biodiversity, pollution, global climate change, etc.). The fact that these problems have become a global dimension by threatening the natural life has revealed the importance of the problem. At this point, sustainability has emerged with the concern of conservation of nature and preserving natural resources. This concept that aims to leave healthy living areas to future generations includes environmental, social and economic factors. This approach, which aims to protect the natural environment in the city, neighborhood and even in the building scale, aimed to improve the quality of life. The increase of concrete in cities causes the reduction of green areas and consequently the environmental problems. This situation resulted in the importance of sustainability in buildings as smallest scale. With this study, environmental approaces for

sustainability in buildings were determined and then evaluated in the example of Iskenderun Technical University. In this context, environmental approaches are evaluated under 3 headings as “Reuse”, “Systems that Improve Environmental Quality” and “Renewable Energy Systems”. As a result of the evaluation made in the case of Iskenderun Technical University, suggestions have been developed.
Keyword(s): sustainability, environmental approach, building

1. Giriş

Çevre, doğal, yapay ve sosyal faktörlerin birbirleriyle bir arada ve belirgin bir etkileşim sistemi içerisinde bulundukları ortam olarak tanımlanmaktadır [1]. Bu sistem içerisinde insanoğlu önemli bir role sahiptir. Geçmişten bugüne özellikle yaşam alanı oluşturma ve yaşam kalitesini arttırma vb amaçlarla çevreden faydalanmıştır. İnsanoğlunun doğal kaynakları sınırsız kabul eden bu anlayışı sonucunda geri dönüşü olmayan çevresel bozulmalar oluşmuştur. Bunun en önemli sonuçlarından biri tüm dünyayı olumsuz etkileyen küresel iklim değişikliğidir [2],[3]. Bu sorunların doğal yaşamı tehdit edici noktaya gelerek küresel boyut kazanması sorunun önemini ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle “çevre” konusu ilk defa 5-16 Haziran 1972 tarihinde Stockholm’de gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler İnsan Çevresi Konferansı (Stockolm Konferansı) ile küresel bir boyutta sosyo-ekonomik yapıları ve gelişme düzeyleri birbirinden farklı birçok ülkenin katılımıyla tartışılmıştır. Konferans sonunda kabul edilen BM İnsan Çevresi Bildirisi kabul edilmiş; insanlığa şimdiki ve gelecek nesiller için çevreyi koruma ve iyileştirme görevi verilmiştir. 20 yıl sonra 3-14 Haziran 1992 yılında Rio de Janeiro’da düzenlenen BM Çevre ve Kalkınma Konferansında (Rio Konferansı) ülkeler tarafından çevreye duyarlı yönetim biçiminin benimsenmesine yönelik ilkeler ortaya konulmuştur. Bu kapsamda bir eylem planı olarak ortaya çıkan Gündem 21 ilkeleri ortaya konulmuştur. Bununla birlikte BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve BM Biyoçeşitlilik Sözleşmesi imzaya açılmıştır. 2000 yılında kabul edilen BM Binyıl Zirvesi hedeflerinde çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması kapsamında doğal kaynakların tükenmesinin önüne geçilmesi, biyolojik çeşitlilik kaybının azaltılması ve temiz su kaynaklarının korunması konularına vurgu yapılmıştır. Sürdürülebilir çevre yaratılması amacıyla gösterilen çabaların bir sonucu olarak 20-22 Haziran 2012 tarihleri arasında BM Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı sonucunda “İstediğimiz Gelecek” isimli sonuç belgesi kabul edilmiştir. 27 Eylül 2015 tarihinde de NewYork’ta “Gündem2030: BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri” kapsamında 17 ana hedef, 169 alt hedef kabul edilmiştir. Bu kapsamda sürdürülebilir şehirler, iklim değişikliği, kuraklıkla mücadele, biyoçeşitliliğin korunması gibi çevre konuları sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasına alınmıştır [4]. Küresel ölçekteki gelişmeler ulusal boyutta da paralel olarak devam etmektedir. Bu kapsamda Kalkınma Bakanlığı tarafından hazırlanan ve T.B.M.M’de onaylanan 5 yıllık kalkınma planları önemli bir politika aracı olup; “çevre” olgusu ilk kez 1996-2000 yıllarını kapsayan Yedinci Kalkınma Planı’nda (1996-2000) kullanılmıştır. Çevrenin korunması ve geliştirilmesinin hedeflendiği bu planda insan sağlığı ve doğal dengenin korunarak kalkınmanın gerçekleşmesi için doğal kaynakların yönetimi ele alınmıştır. Bu amaçla örgün ve yaygın eğitimde düzenlemeler yapılması; gönüllü kuruluşların faaliyetlerinin desteklenmesi ve bireylerde çevre koruma kaygısının yaratılması amacıyla yaşam boyu eğitim

kapsamında bilgilendirme ve bilinçlendirme faaliyetlerinin desteklenmesi gerektiği belirtilmiştir. Diğer kalkınma planlarında doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının sağlanması ve tüm sektörlerde çevreye duyarlılığın arttırılması gerektiği; çevrenin korunarak gelecek nesillere bırakılmasının önemi; bu kapsamda çevre bilincinin ve çevre duyarlılığının arttırılmasının önemi, çevrenin korunması ve çevre kalitesinin yükseltilmesi gerektiği vurgulanmıştır. 2019-2023 yılları arasını kapsayacak olan On Birinci Kalkınma Planı'nda da çevrenin korunması, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve yönetimi, nitelikli kentleşme konuları değerlendirilecektir [5]. Doğanın ve doğal kaynakların korunması kaygısıyla ortaya çıkan "sürdürülebilirlik" kavramı gelecek nesillere sağlıklı yaşam alanlarının bırakılabilmesini hedeflemektedir. Yaşam alanlarının büyüklüğü değişebilmekte; kent, mahalle ve hatta bina ölçeğinde doğal çevrenin korunması, yaşam kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle kentsel alanda en küçük yapısal ölçek olarak binalarda sürdürülebilirliğin sağlanması önem kazanmıştır. Çalışma kapsamında binalarda sürdürülebilirlik için çevresel yaklaşımlar 3 önemli başlık altında değerlendirilmiştir. Bunlar "Yeniden Kullanım", "Çevre Kalitesini Arttıran Sistemler" ve "Yenilenebilir Enerji Sistemleri"dir.

2. Çevresel Yaklaşımlar

2.1. Yeniden Kullanım

2.1.1. Atık Suların Yeniden Kullanımı

Atık su; evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi ile gelen sular olarak tanımlanmaktadır. 8 Ocak 2006 tarih ve 26040 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan "Kentsel Atık Su Arıtımı Yönetmeliği" ile Türkiye'de atık suyun çevre üzerine olumsuz etkilerinin önlenmesi hedeflenmektedir. Yönetmelikle, atık suların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile izleme ve denetleme konusundaki teknik ve idari esaslar düzenlenmiştir [6]. 2016 yılı verilerine göre Türkiye'de tüm belediyeler kapsamında oluşan 4 484 075 bin m^3 atık suyun % 86'sı (3 842 350 bin m^3) çeşitli yöntemlerle arıtılmaktadır. Arıtma işlemi biyolojik arıtma, yapay sulak alan (doğal arıtma), fiziksel arıtma ve gelişmiş arıtma sistemlerinde gerçekleşmektedir [7]. Çevresel bir yaklaşımla ele alındığında yapay sulak alanlar atık suların arıtılmasında arıtım işleminden sonra herhangi bir atık oluşturmaması nedeniyle tercih edilmektedir. Ayrıca, su kalitesini arttırması, arıtılan suyun çeşitli alanlarda yeniden kullanılabilmesi, su akışı kontrolü sağlaması, flora ve fauna için yaşam alanı oluşturması ve estetik yararlar çevre dostu bu sistemin olumlu yönleridir. Yapay sulak alanlar, çevresel faktörlerle etkileşim içerisinde olup; kimyasal ve biyolojik işlemler mikroorganizmalar vd canlılar yardımıyla gerçekleşmektedir. Sistemde doğal bitki türlerinin seçilmesi çevresel katkıyı daha da arttıracaktır. Bu nedenle bir sistem olarak kabul edilir. Yapay sulak alanda arıtılan sular tüm yıl boyu kullanılabilir bir kaynak olması, su kıtlığına ve temiz su kaynaklarının korunmasına çözüm sağlaması bakımından önem kazanmıştır [6], [8]. Dünya'da atık su, kentsel (açık yeşil alanlar-rekreasyon alanları), tarımsal, endüstriyel, çevresel (çevre restorasyonu, taban suyunu arttırma, sulak alanlara katkı) ve diğer alanlarda (yangın önleme, araç yıkama, tuvalet sifonları) yeniden kullanılmaktadır [9]. Tüm bu veriler atık suyun yapay

sulak alanlarda arıtılarak kent ölçeğinden bina ölçeğine kadar yeniden kullanılması halinde binalarda sürdürülebilirliğin sağlanmasındaki katkısını ortaya koymaktadır. Sistem, bina bahçesinde ya da çatısında kurulabilecektir. Düz çatılı binalardan oluşan Akdeniz kentlerinde sistemin çatıda kullanımına olanak sağlanmaktadır. İspanya'nın Barselona kentinde bulunan Katalunya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü binası çatısında yer alan yapay sulak alan araştırma amacıyla da olsa bu kullanıma bir örnek teşkil edebilecektir.

2.1.2. Yağmur Sularının Yeniden Kullanımı

Tüm dünyada artan su talebi yenilikçi çözümleri gerektirmektedir. Bu amaçla, yağmur suları su kıtlığı olan bölgelerde temiz su kaynaklarına destek olması nedeniyle çevresel bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Yağmur suları, tüm dünyadaki evsel su tüketiminin % 80-90'ını karşılayarak su kaynaklarının korunmasına katkı sağlayacak bir potansiyele sahiptir. Böylece su kullanımında kendine yeten şehirlerin sayısının artacağı düşünülmektedir. Yağmur sularının kentsel alanda yeniden kullanımı drenaj sistemine karışmasına izin verilmeden toplama, depolama ve arıtma aşamalarından oluşmaktadır. Bu kapsamda yağmur suları bina kat sayısına göre çatılarda, teraslarda ya da yer seviyesinde plastik ya da metal kaplar ile daha büyük boyutta sarnıç tipi yapılarda depolanabilmektedir. Bu sistemler yağmur sularının akışa geçmesini önleyen ve su kalitesini arttıran sistemlerdir. Yağmur sularının yeniden kullanımı uygulamalarına yönelik tartışmalar devam etmektedir. Bu nedenle araştırmaların devam etmesi gelecek perspektifin ortaya konulması açısından önemlidir [10], [11], [12]. Bu sistem suya olan ihtiyaçla birlikte ortaya çıkan en eski uygulamalardan biridir. Son 10 yıldır iklimsel, çevresel ve sosyolojik değişimlerle bağlantılı olarak pek çok ülkede desteklenmektedir. Amerika'da 100.000 kişinin yaşadığı alanlarda kurulan yağmur suyu toplama sistemleri en çok bahçe sulamalarında kullanılmaktadır [12]. Almanya bu teknolojinin evsel amaçlı (sulama, tuvalet sifonları, çamaşır yıkama) kullanımını desteklemektedir. Günümüzde yeni yapılan binalardan 1/3'ü yağmur suyu toplama sistemine sahiptir [13]. İngiltere'de supermarketler, okullar ve iş yerlerinde kurulmaktadır [14]. Japonya'da yağmur suları özellikle bina ölçeğinde Tokyo ve Hong Kong kentlerinde alternatif su kaynağı olması ve iklim kontrolü için 1980'li yılların başından itibaren desteklenmektedir. Bina çatılarında kurulacak yağmur bahçeleri ile su akışının ve yaya kaynaklı ısı oluşumunun önlenmesi sağlanacaktır. Yağmur suları, bina ölçeğinde tuvaletlerde, soğutma amaçlı ve bahçe sulamalarında kullanımı nedeniyle önemli bir potansiyele sahiptir [15]. Örnek ülkelerden biri de Malezya'dır. Yağmur sularının depolanması 1998 yılında yaşanan kuraklık sonrası 1999 yılından itibaren desteklenmeye başlamış; 2014 yılından itibaren içme suyu dışındaki amaçlarla yeniden kullanımı konusundaki yasal düzenlemeler yapılmıştır. Yağmur suları genel yıkama (teras, araba), soğutma sistemleri ve bahçe sulama amaçlı kullanılmaktadır. Tuvalet sifonlarında kullanım için ise uygun altyapı koşullarının oluşmasına yönelik düzenlemeler yapılmıştır [11], [16].

2.1.3. Katı Atıkların Yeniden Kullanımı

Kavramsal olarak atık "kullanılmayan, kullanılmak istenmeyen, herhangi bir değeri olmayan ve dışarı atılan her türlü madde ve malzemeyi" ifade etmektedir [17]. Atıklar genel olarak; katı

atıklar, sıvı ve gaz atıklar, ambalaj atıkları, şeklinde sınıflandırılmakta [18], " insanların yaşamsal, sosyal ve ekonomik faaliyetleri sonucunda kullanılamaz hale gelen, akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen, her türlü madde ve malzeme" katı atık olarak tanımlanmaktadır [19], [20]. 14.3.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmış Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre ise katı atık "üreticisi tarafından atılmak istenen, gerek toplumun huzurunun gerekse de çevrenin korunması bakımından düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamurlarının tümü" olarak tanımlanmaktadır. Oluştuğu kaynağa göre evsel, endüstriyel, tıbbi ve özel olmak üzere dört grupta sınıflandırılmaktadır [21]. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında katı atıklar; yeniden kullanım, geri dönüşüm, yakma, kompostlaştırma, depolama gibi yöntemlerle geri kazanılmaktadır. Bu kapsamda, katı atıkların organik kısmının kontrollü koşullar altında biyolojik olarak çürütüldüğü kompostlaştırma en önemli yeniden kullanım aracı kabul edilmektedir [22], [23], [24]. Ülkemizde ortaya çıkan atığın yaklaşık %50'sinin organik içerikli olması nedeniyle tercih edilen kompostlaştırma sonucu elde edilen kompost, gübreden farklı olarak toprağı ıslah edici, organik değeri ve su tutma kapasitesi yüksek bir malzemedir. Toprağın havalanmasına, besin maddelerinin daha iyi kullanılmasına ve toprağın işlenebilirliğinin kolaylaşmasına katkı sağlamaktadır. Katı atıkların çevre ile uyumlu bir yapıya dönüştürülmesi yani zararsız bir yapı kazandırılarak doğada tekrar kullanılması çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli kabul edilmektedir. Kentsel alanda her gün oluşan yüz binlerce ton organik kökenli atık komposta dönüştürülerek farklı amaçlarla (tarımsal alanda gübre olarak ya da orman alanlarının iyileştirilmesinde) kullanılmaktadır. Kompostlaştırmada kullanılan organik katı atıklar arasında yemek atıkları (kuru yemekler, meyve ve sebze parçaları, yumurta kabukları, hazır yemek atıkları, çürümüş meyve ve sebzeler, deniz ürünü atıkları, çay atıkları ve poşetleri, kalan ve dökülen yemekler), kağıt (hazır yemek paketleri, kaıt mendil, ilaç kutuları, ofis kağıtları, meyve suyu ve süt kutuları, kağıt havlu ve peçete, kağıt bardak ve tabaklar, kirli yemek kağıtları, gazete ve diğer kağıt türleri), park/bahçe atıkları (yapraklar, bahçe atıkları, çim biçme atığı, budama atıkları, yabani otlar, kereste parçaları, talaş) ve çeşitli organik maddelerdir [25].

2.1.4. Geri Dönüşebilir Malzeme Kullanımı

Yapıların çevre üzerinde oluşturabileceği etkileri en düşük seviyede tutmak, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi bakımından önemlidir. Türkiye'de hızlı nüfus artışı, kırsal alandan kentsel alana göç, çekirdek aile tipinde yaşam şekli vb. nedenler başta büyük şehirler olmak üzere kentsel yaşam alanlarında konut ihtiyacını arttırmakta; buna paralel olarak yapılaşma ve kentsel dönüşüm uygulamaları artış göstermektedir [25]. Sonuç olarak yapıların yapım, yenileme, onarım ve yıkım uygulamalarında ciddi miktarda yapısal atık ortaya çıkmaktadır. Günümüzde oranları ülkeye ve şehre göre değişmekle birlikte, inşaat ve yıkıntı atıkları katı atıklar içerisinde büyük bir pay tutmaktadır [26], [27]. İnşaat sektöründen kaynaklanan yapısal atıkların kontrolsüz bir şekilde doğaya bırakılmasının engellenmesi ve bu atıkların yeniden kullanılması ile toprak ve su kaynaklarının kirlenmesi de önlenmiş olacaktır. Bu atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve geri kazanımı kapsamında çevresel ve ekonomik açıdan en yararlı yöntemler seçilmelidir. Beton, metal, ahşap, plastik, seramik, cam gibi yapı malzemeleri geri dönüşüm potansiyeli oldukça yüksek olan yapısal atıklardır. Plastik,

cam, alüminyum ve metal malzemeler "ısı uygulamaları", beton, tuğla, kiremit, mermer, seramik, doğal taş gibi malzemeler "kırma- ufalama" yöntemleri ile yeniden kullanılabilmektedir. Bu şekilde kullanılan yapı atıkları, kullanıldıkları yapıya hem ekolojik değer hem de ekonomik yarar sağlayarak çevresel ve yapısal sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Geri dönüştürme için gerekli enerji miktarı, ilk üretim için harcananın genellikle çok altındadır. Örneğin alüminyumun geri dönüştürülmesi için ilk üretimin %10-20'si kadar enerji kullanılmaktadır [28], [29]. (Sev, 2009; Aydın İpekci ve ark., 2017). Çeliğin geri dönüşümünde; enerjinin %74, hammaddenin %90 korunduğu; su tüketiminin %40, maden atıklarının %97 oranında azaldığı belirtilmektedir [30]. Yapısal atıklar arasında en çok yeniden kullanılan malzeme betondur. Geri kazanılmış betonlar, ilgili standartları sağladıktan sonra gerekli işlemlerden geçirilerek orijinal malzemeler ile birlikte veya ayrı olarak; beton üretiminde, yol, otopark, kaldırım, yürüyüş yolları, drenaj çalışmaları, kanalizasyon borusu ve kablo döşemelerinde dolgu malzemesi olmak üzere, alt ve üst yapı inşaatlarında, spor ve oyun tesisleri inşaatları ile diğer dolgu ve rekreasyon çalışmalarında öncelikli olarak kullanılabilmektedir [29], [31].

2.2. Çevre Kalitesini Arttıran Sistemler

Kentleşme ile azalan yeşil dokunun yerini binalara bırakması, pek çok çevre sorunu ile birlikte iklim değişikliği ve enerji ihtiyacındaki artışa neden olmuştur. Bunun sonucunda ortaya çıkan çevresel yaklaşımlar sürdürülebilirliğin sağlanmasında koruma stratejileri ile birlikte önemli yer tutmaktadır [32]. Kentsel alanda yeşil dokunun ve çevre kalitesinin arttırılması, binalarda sürdürülebilirliğin sağlanması ile sürdürülebilir enerjinin desteklenmesi konusunda yeşil çatı ve cepheler birçok yerel yönetim tarafından kabul görmekte; kentsel yaşam kalitesi üzerine olumlu etkilerini ele alan, çevresel konularla ilişkilerini ortaya koyan teknik raporlar hazırlanmaktadır [33]. Yeşil çatılar ve cepheler, temiz hava sağlama, iklimi iyileştirme, su akış hızını düşürme, kirleticileri absorbe etme, yaban hayatına yaşam ortamı sağlama, bina yüzeyini koruma ve bina çevresinde yüzey ısısını azaltma gibi pek çok konuda katkısı nedeniyle önemlidir [34]. Yapılan çalışmalarda yeşil çatı ve cephelerin kent ısısını, iç mekanlardaki ısıyı ve soğutma için kullanılan enerji maliyetini azaltıcı etkisi belirlenmiştir. Bitkili cepheler iç mekan ısısında 5^0C kadar azalmaya neden olarak soğutma için harcanan enerjinin de %20 oranında azalmasını sağlamıştır [35]. Almanya'da yapılan bir çalışmada 1 m^2 çatı bahçesinin 2 lt yakıt tasarrufu sağladığı bildirilmiştir [36]. Yeşil çatı ve cepheler yağmur suyunun kontrolünü sağlamada oldukça etkin olup; birlikte kullanımı sonucunda yeşil cephelerin daha geniş alanlar kaplaması nedeniyle su akışını yavaşlatması etkinliği arttıracaktır [37]. Yeşil çatı ve cephelerde kullanılan bitkilerin yaprakları O_2 miktarının artışına katkı sağlamaktadır. Böylece kentsel alanda hava kalitesini arttıracaktır. Örneğin, 25 m^2 yaprak alanı 1 kişi için yeterli O_2 üretebilmektedir. Çatıdaki 1 m^2 çim alan 0.2 kg partikül madde tutmaktadır [35], [38]. Bina ölçeğinde düşünüldüğünde her bir yapının kendi oturduğu alandan daha büyük bir yapısal alan oluşturduğu söylenebilir. Bu durumda yapı yüzeyinin %50-60 oranında bitki ile kaplanması yaşam kalitesini çok yüksek düzeylere çıkabilecektir [39].

2.3. Yenilenebilir Enerji Sistemleri

Konut, hastane, alışveriş merkezi ve eğitim veren binalarda tüketilen enerjinin toplam enerji tüketimindeki payı tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de oldukça yüksektir [40]. Bu nedenle yapılardaki enerji tüketiminin azaltılması, binalarda kullanılan enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması, yapıların dış cephe yalıtımının yapılması, gün ışığından faydalanmanın en üst düzeye taşınması önem arz etmektedir. Bununla birlikte, binalarda doğal aydınlatma ve havalandırmanın sağlanması günümüzde yapılarda enerjinin verimli bir şekilde kullanılması için sıklıkla incelenen konular arasındadır [41], [42]. Fosil yakıtlar, zehirli gaz salınımları nedeniyle çevreye ve insan sağlığına ciddi zararlar vermekte ve geleneksel elektrik üretimi halen endüstriyel hava kirliliği ve sera gazı salınımına neden olan temel etken olarak görülmektedir. Üretilen elektrik enerjisinin etkilerini aza indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için tüm dünyada yeni enerji kaynaklarına yönelim sonucu 'yeşil enerji' kavramı ortaya çıkmış ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik üreten sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler; güneş, rüzgar, jeotermal, su gücü ve biyokütle gibi kaynaklardır [43], [44]. Son yıllarda, enerji dönüşüm teknolojilerindeki ilerlemeye bağlı olarak, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde çevre dostu bir sistem olarak güneş enerjisi ön plana çıkmaktadır. Güneş ışığından ısı ve elektrik üreten güneş enerjisi teknolojileri ve sistemleri; tasarım, uygulama alanı ve teknoloji düzeyi bakımından farklılıklar göstermekle birlikte, esas olarak fotovoltaik ve termal sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Günümüzde temiz enerji kullanımını hedefleyen birçok ülkede ve üniversite kampüsünde fotovoltaik sistemlerle yüksek oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır [45]. Avrupa Güneş Enerjili Kampüs Programı'nın raporuna göre; 41 Avrupa ülkesinde 620 Üniversite'nin fotovoltaik sistem uygulamalarını kullandığı belirtilmektedir. Bu durum Amerika'da daha yüksektir, kışı çok sert geçen eyaletlerde bulunan MIT, Harvard, Cornell gibi çok güçlü üniversiteler de bu sistemlerin kullanılması için öncülük etmektedir. Türkiye'de ilk olarak Muğla Üniversitesi yerleşkesinde, 2001-2004 yılları arasında, toplam gücü 54 kWp olan fotovoltaik sistemlerin kurulumu yapılmıştır [46]. Harran Üniversitesi'nde ise bölgesel güneş enerjisi potansiyelinin yüksekliği nedeniyle fotovoltaik güç uygulamalarına ağırlık verilmektedir [47]. Hasan Kalyoncu Üniversitesi Sağlık Bilimleri Yüksekokulu bina çatısında kurulu 196 kWp gücünde ve fotovoltaik teknolojiyi kullanan güneş enerji santralinde üretilen enerjinin öz tüketimde kullanıldığı, 2015 yılında sekiz aylık dönemde üretilen yaklaşık 292.260 kWh yeşil enerji ile, 170 tonun üzerinde CO_2 salınımının engellendiği belirlenmiştir [48]. Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü'nde kurulan Güneş Evi, güneş panel sistemiyle kendi enerji ihtiyacını karşılayabilmekte; Fresnel mercek sistemiyle de ısısnın binanın bodrumunda bulunan çakıl-yatak ısı deposu ile depolanması hedeflenmektedir [49]. Yeditepe Üniversitesi kampüsü İstanbul'da gerçekleştirilen en büyük çatı uygulaması özelliğine sahip olan bir güneş enerjisi sistemi kurmuştur. Güzel Sanatlar Fakültesi ile dört öğrenci yurdunun çatısı üzerinde bulunan santralde üniversitenin ihtiyaç duyduğu enerjinin yüzde 10'unu karşılanmaktadır [50].

3. Değerlendirme

Küresel iklim değişikliğinin nedeni ve sonucu olarak görülen çevre sorunlarının temel nedenleri arasında hızlı nüfus artışı ve kentleşme gelmektedir. Dünya genelinde önemli gündem maddelerinden biri olan bu sorunların çözümünde kentler odak noktası durumundadır. Ancak birçok kentte sürdürülebilirliğin sağlanması etkili faktörlerin fazlalığı ve ölçek büyüklüğünden dolayı engellenmekte ya da ertelenmektedir. Oysa kentsel alanlarda mevcut sorunların çözümü daha küçük ölçekte düşünüldüğünde başarı oranı artacaktır. Küçük ölçek ve pilot bölge olarak sürdürülebilirlik uygulamalarının üniversitelerde yaygınlaştırılması kentler için bir örnek teşkil edecektir. Üniversiteler çalışanları, öğrencileri ve çeşitli birimlerden hizmet alan kişileriyle birlikte kalabalık bir nüfusa sahiptir. Yol, bina, otopark, sosyal donatı vb. alanların yoğun olduğu üniversite yerleşkelerinin, bulunduğu kente sağladığı yararların yanı sıra, doğal çevreye ve sosyal çevreye doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Üniversitelerin sürdürülebilir olmaları, kendi kirletici unsurlarını azaltma, topluma öncülük etme ve örnek olma açısından son derece önemlidir. Kampus gelişim planları oluşturulurken doğal kaynakların korunmasına ve sürdürülebilir kullanımının sağlanmasına yönelik uygulamalar öncelikli olmalıdır. Bu kapsamda, yeşil teknoloji ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, yaya ve bisiklet öncelikli düzenlemeler, derslik ve binaların enerji ihtiyacını ve sarfiyatının planlanması, atıkların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı desteklenmelidir. Dünya'da pek çok üniversite "Sürdürülebilir Kampüs" olma hedeflerine ulaşabilmek için ana hedef olarak doğal kaynakların akılcı kullanımına yönelik vizyon ve misyonunu belirleyerek bu konuda koordinasyonu sağlayacak birimleri oluşturmuş ve gerekli stratejileri ortaya koymuştur. Binalarda sürdürülebilirliğin sağlanmasında önemli çevresel yaklaşımların değerlendirildiği bu çalışma sonucunda İskenderun Teknik Üniversitesi yerleşkesinde bulunan yapılar ve çevresi sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmiştir.

Atık Suların Yeniden Kullanımı: Binalarda sürdürülebilirliğin sağlanmasında çevresel bir yaklaşım olarak arıtılmış atık sular İskenderun Teknik Üniversitesi yerleşkesinde bulunan binalar ve çevresinde kullanılabilecek alternatif bir su kaynağıdır. Bu kaynağın kullanılması içme sularının korunmasına önemli bir katkı sağlayacaktır. Üniversite kampüsümüzde öğrenci ve personelin kullanımı sonucu oluşan evsel nitelikli atık su bulunmaktadır. 2018 yılı aylık ortalama su tüketiminin 8718 ton olduğu gerçeğinden hareketle, günde belirli bir miktarda atık su oluşmaktadır. Bu suyun bina ya da çevresinde kurulacak bir yapay sulak alanda arıtılması halinde; sürdürülebilirlik kapsamında aşağıdaki katkılar oluşacaktır:

*Kullanılabilir ve deşarj standartlarına uygun nitelikte su elde edilecektir. Kampüs alanında yaklaşık olarak 50 000 $m^{2'}$lik bir alan çim ve yeşil alan bulunduğu düşünüldüğünde elde edilecek arıtılmış atık su bu alanların sulanmasında kullanılabilecektir.

*Elde edilen su yeniden kullanılarak temiz su kaynaklarının korunmasına katkı sağlanacaktır. Çünkü, kampüs alanında yeşil alan sulamalarında, tuvalet sifonlarında ya da genel temizlik amaçlı kullanılan sular içilebilir nitelikteki sulardan oluşmaktadır.

*Atık suyun arıtılması için önerilen yapay sulak alan sistemi bina çatılarında kurulabilecek, yeşil alan miktarının ve dolayısıyla biyoçeşitliliğin artmasına katkı sağlayacaktır.

*Arıtılan atık sular, kampüs yeşil alan miktarının artmasını destekleyen diğer bir çevresel yaklaşım olan çatı bahçelerinde de sulama amaçlı yeniden kullanılabilecektir.

Yağmur Sularının Yeniden Kullanımı: Kentsel alanlarda temiz suya olan ihtiyaç çok yüksek düzeydedir. Bu amaçla kent çevresinde çok büyük alanlar kaplayan ve çevrenin bozulmasına neden olabilecek barajlar inşa edilmektedir. Bunun yerine yağmur sularının toplanması ve depolanması ile temiz su kaynaklarının korunması sağlanmalıdır. Dünya'da bu uygulamalara kent ve üniversite ölçeğinde rastlamak mümkündür. İskenderun Teknik Üniversitesi kampüsünde mevcut binalar 19 400 m^2'lik alan kaplamaktadır. Binaların çatılarında biriken ve yağmur sonrası oluşan yüzey suları bina çatısında ya da bina çevresinde depolanarak yeşil alanların sulanmasında kullanılabilecek alternatif bir su kaynağıdır. Böylece, sulama suyu amaçlı kullanılan şebeke suyuna olan ihtiyaç azaltacaktır. Yine kampüs alanında bulunan yollar ile kaldırımlar su geçiren beton uygulaması yapılarak yağmur suyunun yer altı sularına katkısı sağlanabilecektir.

Katı Atıkların Yeniden Kullanımı: Kentsel alanı oluşturan en küçük birim olarak ev ya da bir binada oluşabilecek katı atık ile kamu binaları, hastaneler, okullar ve kampüslerde oluşabilecek atık türleri benzerlik gösterebilmektedir. Özellikle organik atıklar tüm bu alanlarda oluşabilmesi nedeniyle önemlidir. Bu amaçla bina ölçeğinde katı atıklar kaynağında ayrıştırılarak tekrar kullanılabilir ve hatta ekonomiye kazandırılabilir. İskenderun Teknik Üniversitesi örneğinde sunulan öneriler yerel yönetimlerin değil üniversitelerin de katı atık yönetimine önem vermeleri gerektiğinin bir göstergesidir. Bu kapsamda üniversiteyi oluşturan birimlerin binalar ölçeğinde tek tek irdelenmesi halinde katı atıkların sürdürülebilir kullanımına yönelik katkılar aşağıda verilmiştir:

*Kampüs içerisindeki idari ve eğitim binalarında geri dönüşüm kutularının çoğaltılması ile katı atıklar kaynağında ayrılarak yeniden kullanılarak sürdürülebilir bir çevrede yaşama olanağı sağlanacaktır. Ayrıca bu malzemelerin ekonomiye kazandırılması da diğer önemli bir boyuttur.

*Yemekhane ve kantinlerde oluşacak gıda ve yemek artıkları kampüste belirlenen bir alanda toplanarak kompost yapımında kullanılabilecektir.

*Kampüs alanında yaklaşık olarak 50 000 m^2'lik bir alan çim ve yeşil alan olarak kullanılmakta ve peyzaj çalışmaları yapılmaktadır. Bu alanlarda yapılan çim biçme ve budama sonucu ortaya çıkan bitkisel artığında kompost yapılarak alanda bitki beslemek ve geliştirmek için tekrar kullanımı sağlanabilecektir.

Geri Dönüşebilir Malzeme Kullanımı: Geri dönüşebilir malzemelerin kullanımının yaygınlaştırılması, sınırlı olan kaynaklarımızın korunumunun yanında atıkların oluşturacağı çevresel ve ekonomik yükü de hafifleterek sürdürülebilirlik açısından olumlu katkılar da

sağlayacaktır. Sürdürülebilir yapı standartlarının uygulanması sırasında geri dönüşebilir malzemelerin tercih edilmesi önemlidir.

*İskenderun Teknik Üniversitesi kampüsünde devam eden ve yapımı planlanan inşaat çalışmalarında bu standartlara uygun malzemeler kullanılması, uygulama sırasında ortaya çıkan bu malzemelerin değerlendirilerek peyzaj çalışmalarında kullanılarak yeniden kullanımı çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Çevre Kalitesini Arttıran Sistemler (Yeşil çatı-yeşil cephe):

Kentsel alanda çevre kalitesinin arttırılmasının sağlamak amacıyla oluşturulan sistemler içerisinde yeşil çatı ve cepheler önemli bir yere sahiptir. Binalarda sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla kurulan bu sistemler özellikle enerji tasarrufu, bina yüzeyini koruma ve bina çevresinde yüzey ısısını azaltma gibi katkıları nedeniyle kurulmaktadır. Dünyada pek çok kentin yerel yönetimleri tarafından desteklenen bu sistemler üniversite kampüslerinde kurulması halinde hem sürdürülebilir bir kampüs yaratılmasında hem de binaların sürdürülebilirliğinde önemlidir.

*İskenderun Teknik Üniversitesi kampüsünde mevcut binaların oturum alanı yaklaşık 19 da'dır. Bu alanların tamamı yeşil çatı olarak tasarlandığında binaların sürdürülebilirliğine çok önemli katkılar sağlayacaktır. Bu kapsamda tamamının çim alan olması halinde; binada enerji verimliliği artacak, su akışları önlenecek, suyun temizlenmesi sağlanacak ve hava kalitesi artacaktır. Bu durum hem kampüs hem kent genelinde önemli çevresel katkılar sağlanması anlamına gelmektedir.

Yenilenebilir Enerji Sistemleri: Tüm dünyada enerji tüketimini azaltmak veya enerji verimliliğini arttırmak, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak gelecek nesillere bırakılacak doğal kaynaklar için gerekli bir çaba olarak görülmektedir. Bina ölçeğinde düşünüldüğünde yalıtımın iyileştirilmesi, yeni yapılacak binaların güneş ışığından daha çok fayda sağlayacak şekilde tasarlanması, enerji verimli cihazların tercih edilmesi gerekmektedir. İskenderun Teknik Üniversitesi kampüsünde 2018 yılı aylık ortalama elektrik tüketiminin 259 479 660 kwh olduğu verisinden yola çıkıldığında; bu miktarın azaltılabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla sürdürülebilirlik kapsamında değerlendirildiğinde aşağıdaki önerilere yer verilmiştir.

*Kampüs alanında yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi üreten bir sistemin kurulması halinde; enerji tüketiminin azalması sağlanabilecektir. Bu sistem aynı zamanda temiz enerji üretmesi nedeniyle sürdürülebilir bir çevrenin yaratılmasında önemli bir yere sahiptir.

KAYNAKLAR

[1] Yücel, M., Aslanboğa, İ., Korkut, A., 2008. Peyzaj Mimarlığı Terimleri Sözlüğü. TMMOB Peyzaj Mimarları Odası Yayın No: 2008/4, Ankara, 128 S.

[2] Sudarmadi, S., Suzuki, S., Kawada, T., Netti, H., Soemantri, S., Tugaswati, A.T., (2001). A Survey of Perception, Knowledge, Awareness, and Attitude in Regard to Environmental Problems in a Sample of

Two Different Social Groups in Jacarta, Indonesia. Environment, Development and Sustainability, 3: 169-183.

[3] Bozdoğan, E., Sahinler, S., Korkmaz, E. (2016). Environmental Awareness and Attitudes in University Students. An Example From Hatay (Turkey). Oxidation Communications, 39 (I-II): 661-672.

[4] Dışişleri Bakanlığı (2011). Sürdürülebilir Kalkınma. http://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa

[5] http://www.sbb.gov.tr.

[6] Bozdoğan, E., 2009**.** Kentsel Atık Suların Yapay Sulak Alanda Arıtılması ve Açık Yeşil Alan Sulamalarında Kullanılabilme Olanaklarının Araştırılması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 232 S.

[7] TUIK (2018). Belediye Atık Su İstatistikleri 2016. www.tuik.gov.tr

[8] EPA (2000). Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipial Wastewaters. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio, 165 s.

[9] EPA (2004). Guidelines for Water Reuse. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/625/R-04/108, Washington.

[10] Steffen, J., Jensen, M., Pomeroy, C.A. ve Burian, S.J. (2012).Water supply and stormwater management benefits of residential rainwater harvesting in U.S. cities. *J. American Water Resour. Assoc.*, 49 (4): 810-824.

[11] Ghaffarian Hoseini, A., Tookey, J., Ghaffarian Hoseini, A., Yusoff, S.M., Hassan, N.B. (2016). State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review. *Desalinat. Water Treat*., 57 (1): 95-104.

[12] Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M.J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L.N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H. ve Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115: 195-209.

[13] Schuetze, T. (2013). Rainwater harvesting and management - policy and regulations in Germany. *Water Sci. Technol. Water Supply*, 13(2): 376-385.

[14] Melville-Shreeve, P., Ward, S. ve Butler, D. (2016). Rainwater harvesting typologies for UK houses: a multi criteria analysis of system configurations. *Water 8*, 129.

[15] An, K. J., Lam, Y.F., Hao, S., Morankinyo, T.E., Furumai, H. (2015). Multi-purpose rainwater harvesting for water resource recovery and the cooling effect. Water Research, 86: 116-121.

[16] Lee, K.E., Mokhtar, M., Hanafiah, M.M., Halim, A.A., Badusah, J. (2016). Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development. *Journal of Cleaner Production*, 126: 218-222.

[17] Şahin, S. ve Hatunoğlu, Z. (2016), Geri Dönüşüm Sistemlerine Yönelik Algı Düzeyi, Finansman ve Muhasebeleştirilmesi: KSÜ Örneği. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Cilt 12, Yıl 12, Sayı 2, 2016

[18] Gündüzalp, A.A. ve Güven, S. (2016). Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği. Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi.

[19] Işıldar, G ve Öztürk R. (2015). Gazi Üniversitesi Beşevler Kampüsü Katı Atıklarının Geri Kazanım Potansiyeli. 2nd International Sustainable Buildings Symposium.

[20] Bayram, S.E. (2017). Katı Atıkların Geriye Kazanımı ve Tarımsal Kullanım Olanakları. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10 (2): 62-65.

[21] Yılmaz, A. ve Bozkurt, Y. (2010). Türkiye'de Kentsel Katı Atık Yönetimi Uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (Kükab) Örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(1): 11-28.

[22] Tokgöz, S. (1992). Katı Atıkların Geri Kazanımı, Çevre Mühendisleri Uygulamaları. Çevre Müh. Odası, Ankara.

[23] Palabıyık, H., 2001, Belediyelerde Kentsel Katı Atık Yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi Örneği. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.

[24] Karakaya, İ. (2008). İstanbul İçin Stratejik Kentsel Katı Atık Yönetimi Yaklaşımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

[25] Yıldız, Ş., Ölmez, E., Kiriş, A. (2009). Kompost Teknolojileri ve İstanbul Uygulamaları. Kompostlaştırma Sistemleri ve Kompostun Kullanım Alanları Çalıştayı, İstanbul.
[26] Esin T. ve Coşgun N. (2007). A Study Conducted to Reduce Construction Waste Generation in Turkey. *Building and Environment*, 42: 1667-1674.
[27] Demir İ. (2009). İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi.*
[28] Sev, A. (2009). Sürdürülebilir Mimarlık. Yapı-Endüstri Mer., ISBN: 9944757225, İstanbul.
[29] Aydın İpekci C., Coşkun N. ve Tıkansak Karadayı N., 2017. İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi. *TÜBAV Bilim*, 10 (2): 43-50.
[30] Öztürk, M. (2004). Demir Çelik Geri Kazanma Esasları. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
[31] Kılıç N. (2012). Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı, İzmir Ticaret Odası, AR&GE BÜLTEN Aralık_Sektörel).
[32] Caneva, G., Kumbaric, A., Savo, V., Casalini, R. (2015). Ecological Approach in Selecting Extensive Green Roof Plants: A Dataset of Mediterrenean Plants. Plant Biosystems 149 (2): 374-383.
[33] EPA (2015). Reducing Urban Heat İslands: Compendium of Strategies Green Roofs. U.S. Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, 26 P.
[34] Jonston, J., Newton, J. (2004). Building Green. A guide to Using Plants on Roofs, Walls and Pavements. Greater London Authority, City Hall, 121 pp., London.
[35] Trepanier, M., Boivin, M.A., Lamy, M.P., Dansereau, B. (2009). Green Roofs and Green Walls. Chronica Horticulturae 49 (2): 5-7
[36] GLA (2008). Living Roofs and Walls Technical Report: Suporting London Plan Policy. Greater London Authority.
[37] Söğüt, Z., Şenol, D. (2014). Assessment of Urban Environment Context Green Roof and Façade. 2nd International Symposium on Environment and Mortality, 24-26 October, Adıyaman, Proceeding Book, Vol (2): 568-577.
[38] CityofCydney2030 (2014). Green Roofs and Walls Policy. http://www.cityofsydney.nsw.gov.au/__data/assets/
[39] Bozdoğan, E., Söğüt, Z. (2015). Green Solution Suggestions within the Concept of Sustainability in Eastern Mediterrenean Cities. (Eds. Cevdet AVCIKURT, Mihaela DINU, Necdet HACIOĞLU, Recep EFE, Abdullah SOYKAN). Tourism, Environment and Sustainability. St. Kliment Ohridski Univ. Press, Sofia, pp: 468-485.
[40] Yılmaz, Z. (2006). Akıllı Binalar ve Yenilenebilir Enerji. *Tesisat Müh. Dergisi*, 91: 7-15.
[41] Çakmanus, İ., Kaş, İ., Künar, A. ve Gülbeden, A. (2010). Yüksek Performanslı Sürdürülebilir Binalara İlişkin Bir Değerlendirme. *Yeşil Bina Dergisi*, 3(4): 461-462.
[42] Rüşen ,S., Topçu, M., Karanfil Celep, G., Çeltek, S. ve Rüşen, A. (2018). Üniversite Kampüs Binaları için Enerji Etüdü: Örnek Çalışma. *ÇÜ Müh. Mim.F. Dergisi*, 33(2): 83-92.
[43] Velazquez, L., Munguia,N., Platt, N. ve Taddei, J. (2006). Sustainable University: What can be the Matter. *Journal of Cleaner Production*, 14 (9): 810–819
[44] EPA (2013). http://www.epa.gov/greenpower/documents/purchasing_guide_for_web.pdf.
[45] Yeşilata B., Mutlu, İ.H. ve Aktacir, M.A. (2007). Fotovoltatik Güç ve Harran Üniversitesi Temiz Enerjili Kampüs Entegre Projesi-1: Stratejik Esaslar. IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, s: 71-75.
[46] Oktik, Ş., Tozlu, C., Eke, R. ve Eltez, M. (2005). Güneş Enerjisi ve Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Araştırma Geliştirme Merkezi (Mutek-Arge) Uygulamaları. EİEİ Enerji Tasarrufu Etkinlikleri Bildirileri, 17 Sayfa.
[47] Aktacir, M. A., ve Yeşilata, B. (2009). Harran Üniversitesi Kampüs İçi Fotovoltaik Sistem Uygulamaları. *Tesisat Mühendisliği*, 111: 41-46.
[48] https://www.hku.edu.tr
[49] Eray, A. (2013). Hacettepe Üniversitesi Yeni ve Temiz Enerji Araştırma - Uygulama Merkezi (YETAM). Mühendis ve Makina, 54 (637): 25-29.
[50] https://www.yeditepe.edu.tr

An Overview of Recent Advances on Structural Health Monitoring Methods for Structural Sustainability (Oral)

Mert Tolon[1] and Ebru Toy[2]

[1,2]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul Gedik University, Turkey
Emails: mert.tolon@gedik.edu.tr, ebru.toy@gedik.edu.tr

Abstract

In structural health monitoring (SHM), it is crucial to detect and localize damages that are most susceptible to structural failure by using sophisticated methods of collecting, updating, and processing data. Real-time monitoring on many types of structures with the intelligent wireless sensor network provides designers and owners reliable information about the current state of structures which helps them to take preventive maintenance measures against possible damages during the overall life of the structure.

With the increasing environmental impacts due to the various reasons such as climate change, population, pollution, deforestation, i.e., many industries start to support and adopt the concept (idea) of sustainability. In the building industry, structural sustainability is the primary consideration in designing the structural system. In order to attain sustainable design, minimizing economic costs while adopting preventive recommendations and extending the service life span of civil infrastructures are the primary objectives. To achieve this, structural health monitoring is the most effective way which contributes to more sustainable decision making throughout the service life of a structure.

This paper attempts to present a literature review about recent advances on Structural Health Monitoring (SHM) methods and its contributions towards sustainability through efficient management and operations.

Keyword(s): Structural Sustainability, Sustainable Design, Structural Health Monitoring, SHM methods

1. Introduction

Structural health monitoring has recently emerged as an effective technique for damage detection and preventive actions. In many research centers, dynamic motions of a large number of historical structures and other important infrastructures are recorded through structural monitoring networks. Beside this, numerous modern buildings, high-rise buildings such as Sapphire tower (which is the tallest building in Europe) and lifeline structures are instrumented so that dynamic response properties of monitored structures are easily measured in real-time.

Recently, sustainability has emerged as a necessary notion for all engineering designs. It’s a fact that many historical structures and new buildings exposed to harsh environmental

conditions during their lifetime. None the less, many studies have been focused on assessing seismic risk and vulnerability without consideration of potential ageing and deterioration effects. However, preserving existing and new buildings and increasing their safety requires taking performance degradation over time into consideration.

So, introducing the Structural Health Monitoring Techniques (SHM) gives real-time diagnostic information for the concerned defect due to aging, deterioration, and earthquake-related damages. While visual inspection is the most common practices for defect assessment, extreme damage in critical infrastructures leads to inventing new technologies for the Structural Health Monitoring as a damage detection tools.

With consideration of environmental impacts over time, this paper is intended to give a brief overview of techniques on Structural Health Monitoring (SHM) methods and to highlight the importance of embedding ageing and creep relevant strength decay and earthquake-related damage to structural buildings, infrastructure into performance assessment procedures in order to enable building owners and designers to make appropriate cost-efficient decisions in predicting the appropriate time to protect and repair the structures.

2. Overview of Sustainable design

Sustainability is the key requirement for all engineering systems. To create a sustainable environment, the sustainability concept should be at the core of all engineering design. Sustainability can be defined as a general feature that involves a set of objectives that should be achieved in all engineering designed system, and sustainable design is expected to be optimum, smart, reliable, and recyclable (Hassan, 2019).

In civil engineering applications, monitoring the structural health state of buildings is becoming increasingly important and necessary in terms of damage detection so that preventive measures can be taken in order to prevent and reduce the cost of repairs after structural damage. Embedding structural health monitoring into engineering systems results in a smart, reliable, and optimum system, smart in the sense that the system can detect damaged components, independently, and can propose recommendations to safeguard against any potential failures; reliable in the sense that such early detection of damage and the resulting recommendations of preventive maintenance activities would directly improve the reliability of engineering systems; and finally, optimum in the sense that such integrated smart systems would result in designs that ultimately would require less materials, less maintenance, and less failure occurrences (Hassan, 2019).

3. Structural monitoring

Structural Health Monitoring (SHM) is the process of observing a structural system over time. By comparing the current state of structure with the previous state (undamaged state), it aims to determine the exact location and the extent of the damage. The primary function of the SHM for civil engineering structures is increasing the level of safety, identifying the

potential damages in time, providing accurate information for the maintenance and management.

In this context, damage can be identified as changes introduced into a structural system which negatively affect the current performance of the structure. General damage types include changes in geometry, material properties, or support conditions, such as alterations in boundary conditions or a reduction in the elastic modulus due to cracking or corrosion (Dalton et al., 2013).

Structural health monitoring systems could be integrated with such historic structures, special structures, and infrastructures. Thus, providing real-time monitoring mechanisms that can assess any damages, as they develop. Such early identification would ensure the timely introduction of maintenance activities that would ensure the safety of structures (Hassan, 2019).

4. Damage identification methods

Ideally, real-time monitoring enables people to determine the location and severity of damage in buildings. There are a variety of damage assessment methods that have been used in health monitoring applications. While there are much ultrasonic nondestructive evaluations (NDE), non-destructive inspection (NDI), and nondestructive testing (NDT) techniques for identifying local damage and detect flaws in structures, with the development of advanced technologies, the state-of-the-art methods of health monitoring are employed every day (Cuc and Giurgiutiu, 2005).

Non-destructive evaluation methods such as acoustic emission, infrared thermography, ultrasonic guided waves, and wavelet transforms can be used to detect damage location and severity. Those methods are local health monitoring methods. Beside this, another damage detection method is integrating SHM sensors into the structures. The aim of using new sensors is to observe one specific type of damage, such as concrete cracking, cable breakage, steel reinforcement corrosion, and delamination or debonding (Chang et al., 2003).

5. Conclusions

As a result of climate change and global warming, the concept of sustainability is becoming the main concern in today’s engineering design increasingly. Over the last two decades, the structural health monitoring (SHM) made a significant contribution in the civil engineering field, both increasing the safety and reliability of civil engineering structures and reducing the maintenance costs with employing a series of advanced damage detection techniques for the assessment of potential damage location and severity. But still, in structural health monitoring applications, different state-of-the-art methodologies are required in order to get more accurate information about the current state of structures.

The need for improving the sustainable design has motivated the research community to the development of damage assessment methodology further. It is intended through this paper to highlight the importance of employing damage detection methods in civil infrastructures to make more sustainable design decisions in further stages and to encourage further research and implementation of such advanced techniques in structural health monitoring.

References

1. Hassan, M.H.M. (March 29th 2019). “Introductory Chapter: Advances in Structural Health Monitoring” [Online First], IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.85599.
2. Whittle, A.J., Allen, M., Preis, A. and Iqbal, M. (2013) 'Structural Health Monitoring for Infrastructure Sustainability ' in Proceedings of the 6th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, SHMII 2013 (pp: 83-98). SHMII.
3. Rajdhakal, D., Neupane, K., Thapa, C. and Ramanjaneyulu, G. V. “Different Techniques of Structural Health Monitoring' International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development (IJCSEIERD) ISSN 2249-6866 Vol. 3, Issue 2, Jun 2013, 55-66.
4. Suhendro, B. (September 2012) “The Role of Structural Health Monitoring in Sustainability of Civil Engineering Structures' in Proceedings of the 1st International Conference on Sustainable Civil Engineering Structures and Construction Materials., At Yogyakarta – Indonesia: Department of Civil & Environmental Engineering, Universitas Gadjah Mada, pp 16-25.
5. Dalton, S., Atamturktur, S., and Juang, H. (2013) “Structural Health Monitoring for Sustainable and Resilient Infrastructure Management' International Journal of Building, Urban, Interior and Landscape Technology, Vol. 2, pp. 56-67.
6. Chang, P. C., Flatau, A., and Liu, S. C. (2003) “Health Monitoring of Civil Infrastructure” Structural Health Monitoring 2003; 2; 257
7. Cuc, A. and Giurgiutiu, V. (2005) “Embedded Non-Destructıve Evaluatıon For Damage Detectıon Usıng Pıezoelectrıc Wafer Actıve Sensors” The 11th International Conference on Vibration Engineering Timisoara, Romania, September 27- 30, 2005.

YÜKSEK GERİLİM TEKNİĞİ İÇİN YENİ BİR EĞİTİM ARACI TASARIMI

(Sunu)

Serdal ARSLAN[1]

[1]Birecik Meslek Yüksekokulu, Harran Üniversitesi, 63400,Birecik, Türkiye

*Sorumlu yazar: e-mail: serdalarslan@harran.edu.tr

ÖZET

Eğitim bilimleri açısından derslerin verimli ve etkili biçimde verilebilmesi öğrencilerin öğrenme kabiliyetlerini geliştirdiği bilinen bir olgudur. Özellikle mesleki ve mühendislik alanında yetişen öğrencilerin uzmanlık alanlarındaki bilgilerini arttırılması ve kalıcı hale gelmesi elzemdir. Bu amaçla günümüzde; geleneksel eğitim araçlarının yanı sıra görsel benzetim araçları, sanal gerçeklik araçları, vb. yaygınlaşmıştır. Bu araçlar genellikle anlaşılması güç, karmaşık, zahmetli, tehlikeli vb. olan uygulamaların öğretilmesinde genellikle tercih edilmektedir.

Bu çalışmada Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elektrik Mühendisliği ve ilgili bölümlerde okutulan yüksek gerilim tekniği dersi için bir eğitim aracı tasarlanmıştır. Yüksek gerilim tekniği dersinde yaygın olarak yer alan elektrot sistemleri için geliştirilen arayüz, hem analitik eşitliklerin kullanımı (Matlab GUI) hem de elektrot sisteminin sonlu elemanlar yöntemiyle çözümünü (Ansys Maxwell) içermektedir. Geliştirilen arayüz analitik ve nümerik analizi birleştiren yapısı nedeniyle bu alanda özgün bir çalışmadır. Ele alınan elektrot sistemlerinin çözüm bölgesindeki alan dağılımlarının analitik olarak incelenmesi zahmetlidir. Bu nedenle çözüm bölgesindeki alan dağılımları inceleyebilmek amacıyla Ansys Maxwell yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle Matlab GUI'de ele alınan sistemin genel analitik eşitlikleri tanımlanmıştır. Daha sonra ele alınan elektrot sisteminin Ansys Maxwell'de çözülebilmesi amacıyla Matlab Gui'de arayüz oluşturulmuştur ve Matlab Gui-Ansys Maxwell haberleşmesi sağlanmıştır. Böylece ele alınan sistemin otomatik olarak Ansys Maxwell'de çizilmesi, çözülmesi ve sonuçların değerlendirilmesine kolayca imkân sağlamaktadır. Geliştirilen arayüz programı; kullanıcıların matematik ve programlama bilgisine ihtiyaç duymaksızın, analitik ve nümerik hesaplama sonucu bulunan alan büyüklüklerinin değerlendirilmesine imkân sunmaktadır. Ayrıca Ansys Maxwell'deki ele alınan problem üzerinde değişikliklerin (malzeme özelliklerinin değiştirilebilmesi, malzeme veya ek çizim eklenebilmesi vb.) yapılabilmesi açısından uygundur. Böylece farklı elektrostatik problemlerin incelenebilmesini sağlamaktadır. Elektrot sistemleri alan büyüklükleri, dağılımları, alan değişimlerinin kolay, anlaşılır hale getirilmesiyle bu alanda çalışan veya çalışacak uzman kişiler için kullanışlı öğrenme aracı olarak katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: yüksek gerilim tekniği, elektrik alan, arayüz, Matlab Gui, Ansys Maxwell,

DESIGN OF A NEW TRAINING TOOL FOR HIGH VOLTAGE TECHNIQUE

ABSTRACT

In terms of educational sciences, efficient and effective teaching of the lessons is a phenomenon known to improve students' learning abilities. In particular, it is essential to increase the knowledge of the students who are professional and engineering in their fields of expertise and to become permanent. For this purpose; traditional educational tools as well as visual simulation tools, virtual reality tools, etc. has become widespread. These tools are often difficult to understand, complex, laborious, dangerous, etc. are generally preferred for teaching applications.

In this study, a training tool was designed for the high voltage technique course in Electrical and Electronics Engineering, Electrical Engineering and related departments. The interface developed for electrode systems commonly used in the high-voltage technique course includes both the use of analytical equations (Matlab GUI) and the solution of the electrode system by the finite element method (Ansys Maxwell). The developed interface is an original study in this area due to its structure combining analytical and numerical analysis. The analytical analysis of the field distributions of the electrode systems discussed in the solution area is inconvenient. For this reason, Ansys Maxwell software was used in order to examine the distribution of area in the solution area. Firstly, the general analytical equations of the system discussed in Matlab GUI are defined. In order to solve the electrode system which was discussed in Ansys Maxwell, interface was created in Matlab Gui and Matlab Gui-Ansys Maxwell communication was provided. This allows the system to be automatically drawn to Ansys Maxwell, solved, and easily evaluated. Developed interface program; allows the evaluation of the field sizes which are found as a result of analytical and numerical calculation without the need of knowledge of mathematics and programming. It is also suitable for making changes to the problem (eg changing material properties, adding material or additional drawing etc.) to the problem addressed in Ansys Maxwell. Thus, different electrostatic problems can be examined. Electrode systems are considered as a useful learning tool for the experts working or working in this field by making field sizes, distributions, field changes easy and understandable.

Keyword(s): high voltage technique, electric field, interface, Matlab Gui, Ansys Maxwell,

1. Giriş

Yıllardır eğitimciler; bilgi birikimini verimli ve etkili biçimde aktarabilmek amacıyla bir çok yöntem ve çalışma gerçekleştirmişlerdir. Birçok eğitim modeli, aracı, metodu geliştirilmiştir. Ancak bireyin yaparak ve/veya yaşayarak öğrenmesi diğer öğrenme yöntemlerine (okuyarak, dinleyerek, vb.) nazaran daha yüksektir. Uygulamalı bilimlerde yaygın olarak tercih edilen bu yöntem uygulama alanına göre farklılaşmıştır. Özellikle tehlikeli, zahmetli ve maliyetli uygulama alanları için sanal gerçeklik, görsel eğitim araçları vb. tercih edilmektedir. Ayrıca

uygulamalı derslerin etkin olarak verilebilmesi açısından görsel tabanlı eğitim araç tasarımları önemlidir. Ulusal alan yazında elektrik-elektronik mühendisliği alanında gerçekleştirilen eğitim araçları aşağıda sıralanmıştır:

- Üç fazlı transformatör tasarımı için bir arayüz programı[2], AC servo motor eğitim seti tasarımı ve konum kontrolü [14], Asenkron motor benzetimi için web tabanlı bir eğitim aracı[10]
- Eğitim amaçlı mikrobilgisayar sistemleri için I2C seri haberleşme protokolü ile analog arayüz tasarımı[1], Sinyal temelleri için bir yazılımsal eğitim aracı tasarımı[3], Fourier seri analizi için bir arayüz programı[11],
- Mantık devreleri dersine yönelik internet destekli uzaktan eğitim uygulaması[16]
- Güç elektroniği dönüştürücü modelleri eğitim modülü[5], Bulanık mantık denetimli da-da çeviricileri için geliştirilen bir eğitim seti[4], Bir fazlı tetikleme devreleri için eğitim amaçlı kullanıcı arayüzü tasarımı[12], RLC filtre devrelerinin eğitimine yönelik grafiksel arayüz tasarımı[8]
- Kontrol sistemleri dersi için Matlab Builder ne ve Asp.net tabanlı web laboratuarı tasarımı[6], YSA tabanlı sistemler için görsel bir arayüz tasarımı[7]
- Eğitim amaçlı bir elektrik dağıtım otomasyonunun scada ile denetimi[9], Matlab Gui yardımıyla enerji iletim sistemlerinin modellenmesi[13], güneş enerji sistemleri için bir eğitim aracı[15]

Yaklaşık 200 yıl boyunca elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı önemli konular arasındadır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak her bir konu yıllar içinde ayrılmış hatta uzmanlık alanı haline gelmiştir. Benzer şekilde yıllar içinde gerilim sınıfları alçak, orta, yüksek gerilim ve çok yüksek gerilimler olarak ayrılmıştır. Elektrik enerjisini daha uzun mesafelere ekonomik olarak taşıyabilmek için yüksek gerilimli enerji iletim hatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Gerilim seviyeleri yükseldikçe (belirli bir değeri aşarsa), elektrik alan değişimi önemli hale gelir ve teknik problemler oluşmaya başlar [17]. Bu nedenle orta ve yüksek gerilmde çalışacak malzeme ve donanımların statik alan dağılımlarının veya geçici alan dağılımlarının incelenerek tasarlanması elzemdir. Bilindiği gibi lisans, yüksek lisans ve hatta doktora da yüksek gerilim tekniği ile ilgili dersler; elektrik-elektronik mühendisliği alanındaki öğrencilere verilmektedir. Bu dersler elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı ile ilgili sınıflandırılmakta ve bu derslerle doğrudan ilgili yüksek gerilim tekniği dersi üniversitelerin çoğunda okutulmaktadır. Yüksek gerilim tekniği dersi konuları [17-18];

- Statik elektrik alanlar
- Boşalma olayları (Katı, sıvı ve gaz)
- Temel elektrot sistemleri
- Yüksek gerilimde kullanılan malzeme, donanım ve cihazlar
- Aşırı yüksek gerilimler ve koruma
- Korona kayıpları, dielektrik kayıpları ve kapasite ölçme
- Yüksek gerilim üretimi, ölçümü
- Geçici elektrik alanlar

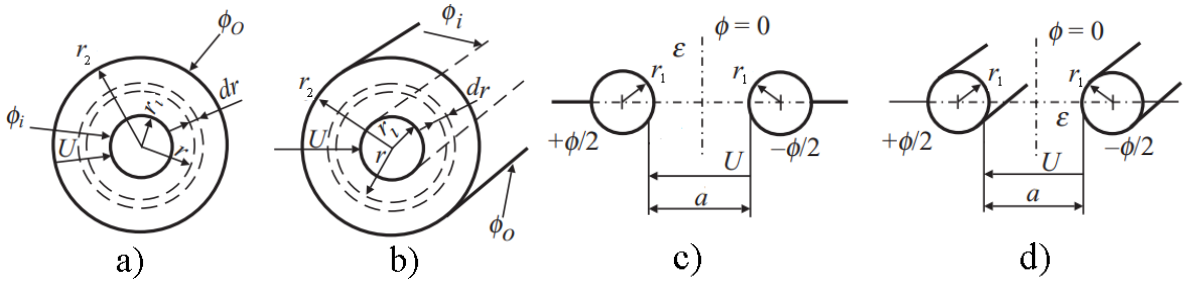
olarak sıralanabilir. 17-18 referanslarda yüksek gerilim tekniği detaylı olarak incelenmiştir. Literatürde iletim hatları çeşitleri ve çözümlü örnek içeren bir eğitim aracı tasarlanmıştır[13]. Bu eğitim aracı Matlab Gui ile oluşturulmuştur. Çalışmalarında analitik eşitlikler yardımı ile hat çeşidine göre hesaplamalar gerçekleştirebilmektedir. Daha önceki çalışmamızda [19] Ansys Maxwell- Matlab Gui haberleşmesi tüp tipi lineer jeneratör için önerilmiştir. Elektrik makinaları dersleri için bir eğitim ve tasarım aracı olarak düşünülmüştür. Geliştirdiğimiz bu yöntem diğer dersler için uygulanabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca bu tasarım yöntemi literatürde yüksek gerilim elektrot sistemlerine yönelik eğitim aracı maalesef bulunmamaktadır. Bu çalışma; yüksek gerilimde kullanılan malzeme ve donanımların tasarımlarının anlaşılabilmesine yönelik, bazı temel elektrot sistemleri için analitik ve nümerik hesaplamaları içeren dinamik bir eğitim aracı sunmaktadır. Bu eğitim aracı aşağıdaki sıralanan genel kazanımları sağlayacağı düşünülmektedir:

- Temel elektrot sistemlerini kavrayarak düzgün veya düzgün olmayan elektrik alan değişimlerini inceleyebilme
- Malzeme özelliklerini (dielektrik sabiti, iletkenlik, vb.) kavrayabilme
- Temel elektrot sistemleri için kapasitans hesaplamalarını kavrayabilme
- Zorlanma, delinme ve boşalma kavramlarını öğrenebilme
- Malzeme ve sistem üzerindeki potansiyel değişimlerini inceleyebilme
- Statik alan ve temel kanunları kavrayabilme

olarak sıralanabilir. Ayrıca Ek 1'de verilen kod dönüşümü kullanılarak farklı eğitim aracı çalışmaları gerçekleştirilebilir.

2. Temel Elektrot Sistemleri

Arayüz tasarımı için ele alınan elektrot sistemleri Şekil 1'de verilmiştir.



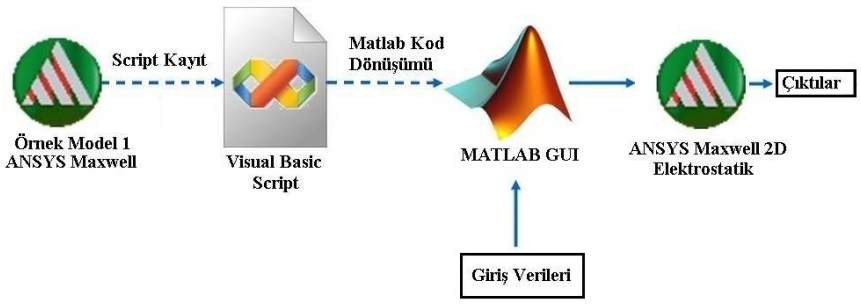
Şekil 1. Bazı elektrotların görünüşü; a) Eş merkezli küre, b) Eş merkezli silindir, c) Küre-Küre Elektrot Sistemi, d) Silindir-Silindir Elektrot Sistemi

Tablo 1. Bazı elektrotlar için elektrik alan ifadesi ve açıklamalar

Ele alınan sistemler	**E (V/m)** [18,20]	**Açıklama**
Eş Merkezli Küre	$E = \frac{Ur_1r_2}{r^2(r_2 - r_1)}$	Figure 1(a) küresel-düzlem elektrot sistemine dönüştürülürken r2-r1=a olarak alınır. Uygulanan gerilim U olmak üzere ($r_1 \le r \le r_2$) aralığı boyunca eş merkezli küresel elektrot sisteminde elektrik alan şiddeti hesaplanabilir [18].
Eş Merkezli Silindir	$E = \frac{U}{r \ln \frac{r_2}{r_1}}$	Şekil 1(b)'da görüldüğü üzere r1, r2 yarıçaplar, elektrotları arasına uygulanan gerilimi U olmak üzere ($r_1 \le r \le r_2$) aralığı boyunca eş eksenli silindiriksel elektrot sisteminde elektrik alan şiddeti hesaplanabilir [18].
Küre-Küre Elektrot Sistemi	$E \approx k\frac{U[r + (a/2)]}{ra}$	Figure 1(c) küresel-küresel elektrot sistemine dönüştürülürken r2-r1=a olarak alınır. İki elektrot arasındaki en dar bölge arasında elektrik alan maxsimum değerini almaktadır. Uygulanan gerilim U ve sisteminde k düzeltme faktörü (0.85-0.94 arasında değişmekte) olarak verilmiştir. [18].
Silindir-Silindir Elektrot Sistemi	$E = \frac{U/2}{r \ln \frac{r + (a/2)}{r}}$	Şekil 1(d)'de görüldüğü gibi yarıçapları (r1) eşit ve elektrotları arasına uygulanan gerilimi U olan silindir-silindir elektrot sisteminde k düzeltme faktörü (0.85-0.94 arasında değişmekte) olmak üzere elektrik alan şiddeti hesaplanabilir [18].

3. Matlab-Ansys Mawell Haberleşme Arayüzü

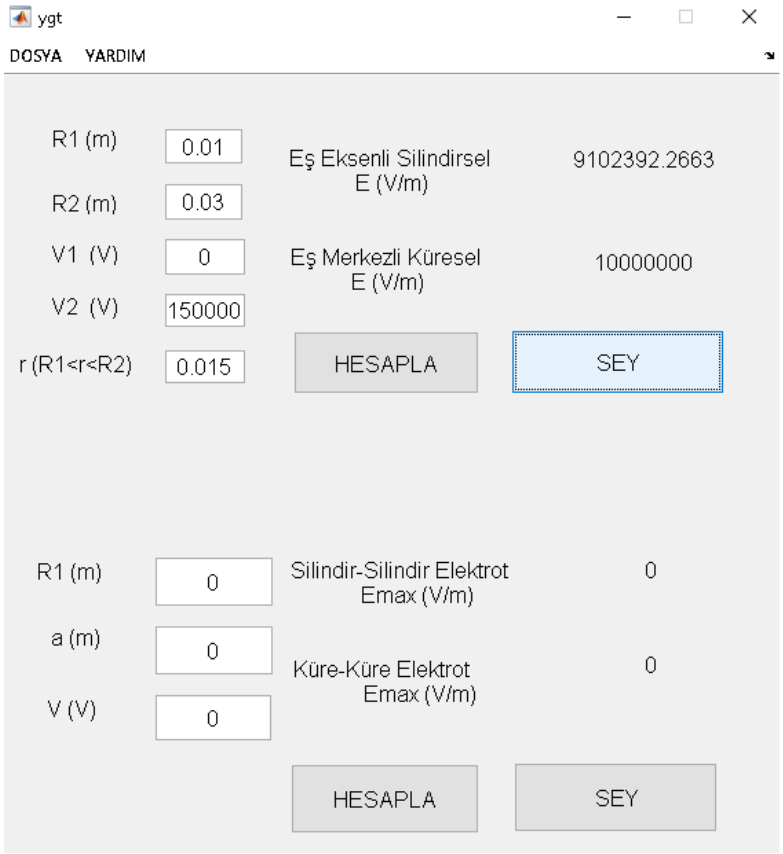
Bu bölümde eğitim aracının oluşum süreci ve tanıtımı yapılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü üzere arayüz tasarım süreci, sırasıyla Ansys Maxwell-Visual Basic Script Kodu-Matlab ve Ansys Mawell olarak verilmiştir.



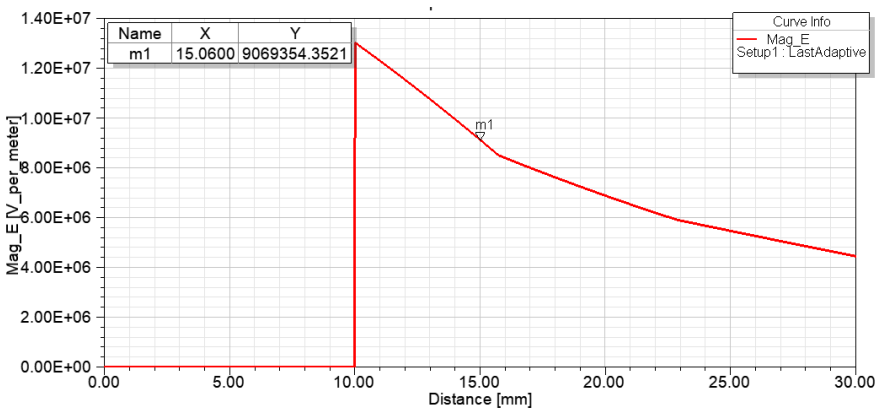
Şekil 2. Eğitim aracı oluşturma süreci

Şekil 2'de eğitim aracı oluşturma süreci; Ansys Maxwell'de ele alınan örnek model için Visual Basic Script dosyası ve yeni proje oluşturulması ile başlar. Model çizilir ve model tanımlamaları (uygulanan gerilim, toprak kısmı vb.) gerçekleştirilir. Ayrıca model için

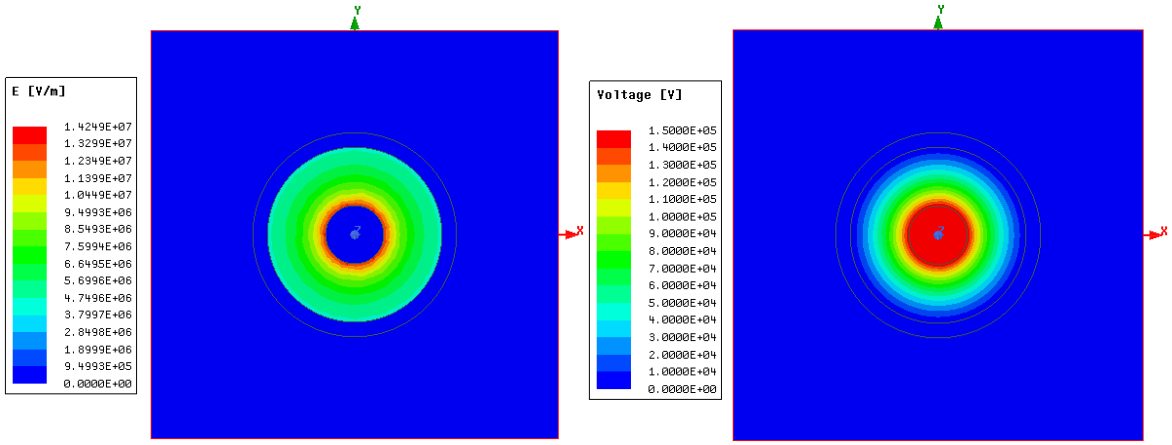
hesaplanması istenilen diğer büyüklükler (kapasitans, elektrostatik kuvvet) tanımlanır. Sonlu elemanlar probleminin çözümü için ağ (mesh) atamaları ve çözüm hata toleransı girilerek çözüm başlatılır. Daha sonra Visual Basic Script kaydı durdurulur. Visual Basic Script dosyası Matlab koduna dönüştürülür. Burada dikkat edilmesi en önemli olan noktalardan biri Ansys Maxwell ayarlar kısmından Matlab ile iletişim kurulması için gerekli düzenlemenin yapılmasıdır. Matlab Gui açılır. Ansys Maxwell içindeki giriş verileri Matlab Gui'de giriş olarak ayrı ayrı tanımlamalar gerçekleştirilir. Giriş verileri; tanımlanan elektrot sistemi yukarıda verilen ilgili eşitlikler veya referans 17-18'de yer alan eşitlikler kullanılarak analitik olarak hesaplanarak ekranda gösterilir. Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile çözüm SEY butonuna tanımlanmıştır. Model kodu (örneğin Ek 1'de verilen) ile Ansys Maxwell 2D elektrostatik çözücü otomatik açılarak giriş verilerine bağlı olarak çözümü gerçekleştirir. Ansys Maxwell ile modelin elektrik alan değişimi, potansiyel değişimi, sistemin kapasitans değeri hesaplanır. Şekil 3'te tasarlanan eğitim arayüzü verilmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan eğitim arayüzü



Şekil 4. Yarıçap boyunca elektrik alan değişimi



Şekil 5. Elektrik alan ve potansiyel dağılımı

Şekil 4-5'te görüldüğü üzere dış elektrot ve içteki elektrot elektrik alan değeri sıfırdır. İç elektrota uygulanan gerilim dış elektrot yüzeyine kadar azalması elektrik alan değerinde de azalma görülmektedir. Elektrik alan dağılımı analitik yöntemle hesaplanan değer ile sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplanan alan değeri arasındaki hata -%0,3 olarak hesaplanmıştır. Analitik yöntemlerde düzeltme faktörü ile uygulama veya sayısal sonuçlara yakın veriler elde edilebilmektedir. Ayrıca sistemde tanımlanan toprak ve uygulanan gerilim tanımlamaları ile kapasitans hesaplamaları yapılmaktadır. Verilen örnek için birim uzunluk başına kapasitans değeri SEY ile 287,88 pF, analitik hesaplama ile 288,63 pF'tır. Hata değeri -%0,26 olarak bulunmuştur.

Sonuçlar

Yaparak-yaşayarak uygulama içeren deneylerin öğrenme üzerine etkisi bilinmektedir. Özellikle yüksek gerilim tekniği dersinin deneysel uygulamaları için bir şalt sahasına ihtiyaç

vardır. Ayrıca deneysel çalışmalarda elektrik alan etkileri, değişimlerini tamamen gözlemlemek imkânsızdır. Bu açıdan yüksek gerilim dersinin temelini oluşturan durağan alanlar ve değişimi, malzeme dielektrik katsayıları, kapastans ve potansiyel değişiminin yanısıra elektrot sistemlerinin iyi şekilde öğrenilmesi elzemdir.

Bu çalışmada, Matlab paket programı ile Ansys Maxwell haberleştirilerek elektrot sistemlerinin benzetimi için bir arayüz programı geliştirilmiştir. Bu arayüz farklı amaçlar içinde kullanılabilir. Bu açıdan Ek 1'de eş merkezli sistem için kod örneği verilmiştir. Ayrıca arayüz programının kullanımı ve geliştirilmesi kolaydır. Temel elektrostatik bilgisine sahip olan bir tasarımcı için elektrot sistemlerin benzetimi için tercih edebileceği bir arayüz programıdır. Bu arayüzün tercih edilmesini sağlayacak özellikler şunlardır:

- Bireysel uygulama sunmaktadır.
- Tasarım için gerekli tüm girdiler üzerinden hesaplamalar yaparak sonuçları tasarımcıya sunar.
- Girdi üzerinden boyutlandırma yaparak Ansys Maxwell programı iki boyutlu durağan alan çözücüsünde otomatik çözümleme yapabilmektedir. Mevcut örnekte değişiklik yapabilmesine imkan tanımaktadır. Bu değişiklikler; malzeme özellikleri, gerilim değerleri olabilir ve kullanıcı bilgisine bağlı olarak parametrik-optimizasyon analizi tanımlanabilir.
- Hesaplama ve analiz süresinin kısa olması nedeniyle daha fazla örnekler yapabilmesine imkan tanımaktadır.
- Ansys Maxwell 2D durağan alan çözücüsü; elektrik alan ve potansiyel değişimlerini renklendirme yaparak dikkat arttırmanın yanı sıra konunun anlaşılabilmesine imkan sağlamaktadır.

Kısacası; geliştirilen arayüzün mesleki ve teknik eğitimde eğitim aracı olarak kullanılabilmesinin yanı sıra yüksek gerilim tekniği alanında çalışan öğrenci, eğitmen ve araştırmacılara yararlı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazar; 18060 nolu proje desteğinden dolayı Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'ne teşekkür etmektedir.

EK 1. EŞ EKSENLİ SİLİNDİR VE EŞ MERKEZLİ KÜRESEL İÇİN KOD ÖRNEĞİ

HESAPLA BUTONU KODU

```
global R1 R2 V1 V2 Ekmax Esmax Ekmaxx Esmaxx r
R1=str2num(get(handles.edit1,'string'));
R2=str2num(get(handles.edit2,'string'));
V1=str2num(get(handles.edit3,'string'));
V2=str2num(get(handles.edit4,'string'));
r=str2num(get(handles.edit5,'string'));
Ek=((V2*R1*R2)/(R2-R1))/(r*r);
Ekm=num2str(Ek);
set(handles.text9, 'String', Ekm);
Es=(V2/r)/(log(R2)-log(R1));
```

```
Esm=num2str(Es);
set(handles.text8, 'String', Esm);
```

SEY BUTONU KODU

```
iMaxwell=actxserver('Ansoft.ElectronicsDesktop');
Desktop=invoke(iMaxwell,'GetAppDesktop');
Desktop.NewProject
Project =Desktop.GetActiveProject();
invoke(Project,'InsertDesign','Maxwell 2D', 'Maxwell2DDesign2',
'Magnetostatic', '')
Design = Project.GetActiveDesign();
invoke(Design,'SetSolutionType', 'Electrostatic', 'XY')
DefinitionManager=Project.GetDefinitionManager()
Desktop.CloseAllWindows()
Editor = Design.SetActiveEditor('3D Modeler');
global R1 R2 V1 V2
invoke(Editor,'CreateCircle',{'NAME:CircleParameters', 'IsCovered:=', true,
'XCenter:=','0mm',  'YCenter:=',  '0mm',  'ZCenter:=',  '0mm',  'Radius:=',
'0.8mm',  'WhichAxis:=',  'Z',  'NumSegments:=',  '0'},{'NAME:Attributes',
'Name:=',  'Circle1',  'Flags:=',  '',  'Color:=',  '(143  175  143)',
'Transparency:=',  0,  'PartCoordinateSystem:=',  'Global',  'UDMId:=',  '',
'MaterialValue:=', ' "vacuum" ' , 'SolveInside:=', true})
invoke(Design,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:LocalVariableTab',{'N
AME:PropServers','LocalVariables'},{'NAME:NewProps',{'NAME:R1',
'PropType:=', 'VariableProp', 'UserDef:=', true, 'Value:=', R1}}}})
invoke(Editor,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:Geometry3DCmdTab',{'N
AME:PropServers','Circle1:CreateCircle:1'},{'NAME:ChangedProps',{'NAME:Radi
us', 'Value:=', 'R1'}}}})
invoke(Editor,'CreateCircle',{'NAME:CircleParameters', 'IsCovered:=', true,
'XCenter:=','0mm',  'YCenter:=',  '0mm',  'ZCenter:=',  '0mm',  'Radius:=',
'2.6mm',  'WhichAxis:=','Z',  'NumSegments:=',  '0'},{'NAME:Attributes',
'Name:=',  'Circle2',  'Flags:=','',  'Color:=',  '(143  175  143)',
'Transparency:=',  0,  'PartCoordinateSystem:=','Global',  'UDMId:=',  '',
'MaterialValue:=', ' "vacuum" ' , 'SolveInside:=',true})
invoke(Design,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:LocalVariableTab',{'N
AME:PropServers','LocalVariables'},{'NAME:NewProps',{'NAME:R2',
'PropType:=', 'VariableProp', 'UserDef:=',true, 'Value:=', R2}}}})
invoke(Editor,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:Geometry3DCmdTab',{'N
AME:PropServers','Circle2:CreateCircle:1'},{'NAME:ChangedProps',{'NAME:Radi
us', 'Value:=', 'R2'}}}})
invoke(Design,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:LocalVariableTab',{'N
AME:PropServers','LocalVariables'},{'NAME:NewProps',{'NAME:a','PropType:=',
'VariableProp', 'UserDef:=',true, 'Value:=', R2-R1}}}})
invoke(Editor,'Copy',{'NAME:Selections', 'Selections:=', 'Circle1'})
invoke(Editor,'Paste')
invoke(Editor,'Subtract',{'NAME:Selections','Blank  Parts:=',  'Circle2',
'Tool  Parts:=','Circle1'},{'NAME:SubtractParameters','KeepOriginals:=',
false})
invoke(Editor,'CreateCircle',{'NAME:CircleParameters', 'IsCovered:=', true,
'XCenter:=','0mm',  'YCenter:=',  '0mm',  'ZCenter:=',  '0mm',  'Radius:=',
'3mm',  'WhichAxis:=','Z',  'NumSegments:=',  '0'},{'NAME:Attributes',
'Name:=',  'Circle4',  'Flags:=','',  'Color:=',  '(143  175  143)',
'Transparency:=',  0,  'PartCoordinateSystem:=','Global',  'UDMId:=',  '',
'MaterialValue:=', ' "vacuum" ' , 'SolveInside:=', true})
invoke(Editor,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:Geometry3DCmdTab',{'N
AME:PropServers','Circle4:CreateCircle:1'},{'NAME:ChangedProps',{'NAME:Radi
us', 'Value:=', 'R2+R1/2'}}}})
invoke(Editor,'Copy',{'NAME:Selections', 'Selections:=','Circle3,Circle2'})
invoke(Editor,'Paste')
```

```
invoke(Editor,'Subtract',{'NAME:Selections','Blank Parts:=', 'Circle4',
'Tool Parts:=','Circle2,Circle3'},{'NAME:SubtractParameters',
'KeepOriginals:=', false})
invoke(Editor,'AssignMaterial',{'NAME:Selections','Selections:=','Circle4,C
ircle6'},{'NAME:Attributes','MaterialValue:=','"steel_stainless"','SolveIns
ide:=', true})
invoke(Project,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:ProjectVariableTab',
{'NAME:PropServers', 'ProjectVariables'},{'NAME:NewProps',{'NAME:$epsilon',
'PropType:=', 'VariableProp', 'UserDef:=', true, 'Value:=', '6'}}}})
invoke(Editor,'AssignMaterial',{'NAME:Selections', 'Selections:=',
'Circle5'},{'NAME:Attributes','MaterialValue:=','"porcelain"','SolveInside:
=', true})
invoke(Editor,'CreateRegion',{'NAME:RegionParameters','+XPaddingType:=','Pe
rcentage Offset', '+XPadding:=', '50', '-XPaddingType:=', 'Percentage
Offset', '-XPadding:=','50', '+YPaddingType:=','Percentage Offset',
'+YPadding:=', '50', '-YPaddingType:=','Percentage Offset', '-YPadding:=',
'50', '+ZPaddingType:=','Percentage Offset', '+ZPadding:=','0','-
ZPaddingType:=','Percentage Offset','-ZPadding:=', '0'},{'NAME:Attributes',
'Name:=','Region', 'Flags:=', 'Wireframe#', 'Color:=', '(255 0 0)',
'Transparency:=', 0, 'PartCoordinateSystem:=', 'Global', 'UDMId:=', '',
'MaterialValue:=', ' "vacuum" ' , 'SolveInside:=', true})
invoke(Design,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:LocalVariableTab',{'N
AME:PropServers','LocalVariables'},{'NAME:NewProps',{'NAME:V1','PropType:='
, 'VariableProp', 'UserDef:=', true, 'Value:=', V1}}}})
Module = Design.GetModule('BoundarySetup')
invoke(Module,'AssignVoltage',{'NAME:Voltage1','Objects:=',{'Circle4'},'Val
ue:=', 'V1', 'CoordinateSystem:=', ''})
invoke(Design,'ChangeProperty',{'NAME:AllTabs',{'NAME:LocalVariableTab',{'N
AME:PropServers','LocalVariables'},{'NAME:NewProps',{'NAME:V2','PropType:='
, 'VariableProp', 'UserDef:=', true, 'Value:=', V2}}}})
invoke(Module,'AssignVoltage',{'NAME:Voltage2','Objects:=',{'Circle6'},'Val
ue:=', 'V2', 'CoordinateSystem:=', ''})
Module = Design.GetModule('MaxwellParameterSetup')
invoke(Module,'AssignMatrix',{'NAME:Matrix1',{'NAME:MatrixEntry',{'NAME:Mat
rixEntry','Source:=','Voltage2','NumberOfTurns:=','1'}},{'NAME:MatrixGroup'
}, 'GroundSources:=', 'Voltage1'})
Module = Design.GetModule('MeshSetup')
invoke(Module,'AssignLengthOp',{'NAME:Length1','RefineInside:=',false,'Enab
led:=',true, 'Objects:=',{'Circle5','Circle4','Circle6'}, 'RestrictElem:=',
false, 'NumMaxElem:=', '1000', 'RestrictLength:=', true, 'MaxLength:=',
'(R2-R1)/5'})
Module =Design.GetModule('AnalysisSetup')
invoke(Module,'InsertSetup', 'Electrostatic',{'NAME:Setup1', 'Enabled:=',
true,'MaximumPasses:=',10,'MinimumPasses:=', 2, 'MinimumConvergedPasses:=',
1, 'PercentRefinement:=',30, 'SolveFieldOnly:=', false, 'PercentError:=',
1, 'SolveMatrixAtLast:=', true, 'PercentError:=', 1})
invoke(Editor,'CreatePolyline',{'NAME:PolylineParameters','IsPolylineCovere
d:=',true,'IsPolylineClosed:=',false,{'NAME:PolylinePoints',{'NAME:PLPoint'
,'X:=','0mm','Y:=','0mm','Z:=','0mm'},{'NAME:PLPoint','X:=',R2,'Y:=','0mm',
'Z:=','0mm'}},{'NAME:PolylineSegments',{'NAME:PLSegment','SegmentType:=','L
ine','StartIndex:=',0,'NoOfPoints:=',2}},{'NAME:PolylineXSection','XSection
Type:=','None','XSectionOrient:=','Auto','XSectionWidth:=','0mm','XSectionT
opWidth:=','0mm','XSectionHeight:=','0mm','XSectionNumSegments:=','0','XSec
tionBendType:=', 'Corner'}},{'NAME:Attributes','Name:=', 'line', 'Flags:=',
'','Color:=','(132 132 193)','Transparency:=',0,'PartCoordinateSystem:=',
'Global','UDMId:=','', 'MaterialValue:=','"vacuum"','SolveInside:=', true})
invoke(Project,'SaveAs', 'C:\Users\yamtar\Desktop\ek.aedt', true)
invoke(Design,'Analyze', 'Setup1')
Design.AnalyzeAllNominal
```

```
Project.Save
delete(iMaxwell);
```

Kaynaklar

1- Köksal, R., Öztekin, H., & Temurtaş, F. Eğitim Amaçlı Mikrobilgisayar Sistemleri İçin I2c Seri Haberleşme Protokolü İle Analog Arayüz Tasarımı Analog Communication Interface Designing For Educational Purpose Microcomputer Systems With I2c Serial Communication Protocol.

2 Altıntaş, A. (2008). Üç Fazlı Transformatör Tasarımı İçin Bir Arayüz Programı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 37-45.

3- Aydogan, Ö. G. H., & Beyhan, S. Sinyal Temelleri İçin Bir Yazılımsal Eğitim Aracı Tasarımı.

4- Güvenç, U., Sönmez, Y., & Biroğul, S. (2007). Bulanık Mantık Denetimli Da-Da Çeviricileri İçin Geliştirilen Bir Eğitim Seti. Politeknik Dergisi, 10(4).

5- Karagül, A. B., Başol, D., & Yücedağ, İ. (2014). Güç Elektroniği Dönüştürücü Modelleri Eğitim Modülü. Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 2(1), 79-87.

6- Sönmez, E., & Kaçar, S. (2016). Kontrol Sistemleri Dersi İçin Matlab Builder Ne Ve Asp. Net Tabanlı Web Laboratuarı Tasarımı. Sakarya University Journal Of Science, 20(2), 155-165.

7- Bayındır, R., & Sesveren, Ö. Ysa Tabanlı Sistemler İçin Görsel Bir Arayüz Tasarımı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), 101-109.

8- Çankaya, İ., Vatansever, F., & Akgün, D. Rlc Filtre Devrelerinin Eğitimine Yönelik Grafiksel Arayüz Tasarımı Graphıcal User Interface Desıgn For Rlc Fılter Cırcuıts Educatıon.

9- Erdem, E., Keleş, C., Hamamcı, S. E., & Tan, N. Eğitim Amaçlı Bir Elektrik Dağıtım Otomasyonunun Scada İle Denetimi.

10- Demirbaş, Ş., Irmak, E., & Çolak, İ. (2006). Asenkron Motor Benzetimi İçin Web Tabanlı Bir Eğitim Aracı. Politeknik Dergisi, 9(4), 233-239.

11- Vatansever, F., Yılmaz, E., & Dilaveroğlu, E. (2011). Fourier Seri Analizi İçin Bir Arayüz Programı. Iats, 11, 138-141.

12- Muhlis, A. K., Murat, T. U. N. A., & Ayşe Ergün, A. M. A. Ç. Bir Fazlı Tetikleme Devreleri İçin Eğitim Amaçlı Kullanıcı Arayüzü Tasarımı.

13- Güven, Ö. G. A. F., Keleş, Z., & Yalçın, İ. B. Matlab Gui Yardımıyla Enerji İletim Sistemlerinin Modellenmesi.

14- Güllü, A., Sur, Y. F., & Kaplanoğlu, E. (2009). Ac Servo Motor Eğitim Seti Tasarımı Ve Konum Kontrolü. Sdü Uluslarası Teknolojik Bilimler Dergisi, 1(2), 74-81.

15- Yavuz, A., Başol, D., Ertay, M. M., & Yücedağ, İ. (2013). Güneş Pili Modelleri Eğitim Seti. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2(2), 14-21.

16- Hüseyin, E. K. I. Z., Bayam, Y., & Hüseyin, Ü. N. A. L. (2003). Mantik Devreleri Dersine Yönelik Internet Destekli Uzaktan Egitim Uygulamasi. Tojet: The Turkish Online Journal Of Educational Technology, 2(4).

17. Özkaya, M., & Cilt, Y. G. T. (2008). Statik Elektrik Alanı Ve Boşalma Olayları. Birsen Yayınevi, İstanbul.

18. Kalenderli, Ö., Kocatepe, C., Arıkan, O., & Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği, B. (2015). Yayınevi, İstanbul, 3.
19.Arslan S, Gürdal O, Akkaya Oy S. "Communication of Matlab Gui and Ansys Maxwell: An Education Tool For Tubular Linear Generator", J. Fundam. Appl. Sci., 11(1), 117-141 (2019).
20. Arora, R., & Mosch, W. (2011). High voltage and electrical insulation engineering (Vol. 69). John Wiley & Sons.

Kentsel Dönüşüm Projelerinde Kullanıcı Memnuniyetlerinin Belirlenmesi: Adana Örneği (Sözlü)

Sinem ÖZYURT ÖKTEN[1], Cihan ALAŞ[2], Nuriye SAY[3]

[1] İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Türkiye
[2] Alaş Peyzaj & Mimarlık, Türkiye
[3]Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Türkiye
sinem.okten@iste.edu.tr, cihanalass@gmail.com, nursay@cu.edu.tr

Özet

Şehirler tarih boyunca değişen dinamik yapılardır. Tüm dünyada olduğu gibi, değişen ve gelişen kentsel yapılaşma süreçleri Türkiye'deki planlama süreçlerine yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Kentsel dönüşüm, kentsel sorunlara çözüm bulmak için değişmekte olan bir bölgenin ekonomik, fiziksel, sosyal ve çevresel koşullarına kalıcı bir çözüm sağlamayı amaçlayan kapsamlı bir vizyon ve eylem olarak ifade edilmektedir **[**1**].** Bu süreçlerin başarılı bir şekilde tamamlanması ancak uygulamaları sürdürülebilir planlara koyarak ve konut sakinlerinin memnuniyet düzeylerini artırarak sağlanabilir. Bu amaçla sosyolojik yapı dikkatlice analiz edilmeli ve halkın ihtiyaçları göz önünde bulundurularak şehir odaklı uygulamalar yapılmalıdır.

Bu çalışmada, Adana Barış Mahallesi kentsel dönüşüm alanında, konut sakinlerinin proje öncesi ve sonrası görüşleri alınmış, gelecekte hayata geçecek olan projelerdeki memnuniyet düzeyini artırmaya yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kentsel dönüşüm, kullanıcı memnuniyeti, kentleşme

Resident Satisfaction For Sustainable Urban Regeneration in Case of Adana

Abstract

Cities are dynamic structures that have been constantly changing throughout history. As in all over the world, developing and changing urban construction approach has brought a new perspective to planning process in Turkey. Urban regeneration is expressed as a comprehensive vision and action that seeks to provide a permanent solution to the economic, physical, social and environmental conditions of a region undergoing change in order to find solutions to urban problems **[**1**]**. Successful completion of these processes can only be achieved by putting the practices on sustainable plans and increase the satisfaction levels of residents. For this purpose sociological structure should be analyzed carefully and city-oriented practices should be implemented with considering the needs of the people.

In this study, resident satisfaction in urban regeneration projects were examined in case of Adana and suggestions were given for better practices.

Keyword(s): Urban regeneration, resident satisfaction, urbanization

1. Giriş

Sanayi devrimi sonrasında kentler sanayileşmenin merkezi haline gelmiş, özellikle 20.yüzyılda Avrupa'da iş olanaklarının artmasıyla, kırsaldan kente göçler artmaya başlamıştır. Bu sürece II. dünya savaşı sonrasında kentlerin yeniden inşa ve yenileme dönemleri de dahil edildiğinde, 21. yüzyılı mekânsal ve sosyolojik boyutlarıyla kentleşmenin -yüzyılı olduğunu ifade etmek mümkündür. Kentleşme bir değişim sürecidir. Gelişmekte olan ülkeler kentleşmeyi, ileriye dönük kalkınma hedeflerine varmada hızlandırıcı ve yön verici bir araç olarak kullanmakta ve bunun yanında kentleşme sonucu meydana gelen sorunları ve olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için büyük çaba harcamaktadırlar.

Kentsel yaşam kalitesi; toplum, ekonomi ve çevre ekseninde, yaşam kalitesi ve çevre kalitesinin karşılıklı etkileşiminde gerçekleşen nesnel ve öznel değerlendirme ölçütleri ile ifade edilmektedir. Kentsel yaşam kalitesinin algıya dayalı, esenlik, sağlık, güvenlik, huzur vb. değerleri öznel bileşenlerini oluştururken; yapılı çevre, doğal çevre, ekonomik ve sosyal fonksiyon alanları gibi somut değerler ise nesnel bileşenlerini oluşturmaktadır [2]. Kentsel mekanın kalitesi, kişinin yaşam kalitesinin de belirleyicisidir. Kentsel yaşam kalitesinin sağlanması için önemli olan sağlıklı bir kent yapısının oluşturulmasıdır. Bunun için de ekonomik, kültürel, çevresel, toplumsal ve siyasal ihtiyaçların karşılanması ve bunların birer hak olarak görülüp, "uygulanması, korunması ve olarak canlandırılması ve özellikle kent merkezinde yerel yönetimlerin olanaklarının arttırılması amacıyla uygulanmaktadır [3].

Kentsel dönüşüm ile kent mekanı, kent kültürü ve kent yaşamının yeniden yapılandırılması ve kent ekonomisinin çevre ile birlikte canlandırılması amaçlanmaktadır. Yalnız fiziksel mekanın yeniden düzenlenmesi değil, aynı zamanda yerel halkın da katılımını sağlayarak, kentin yeniden canlandırılması ve küreselleşen dünyada, kentlere yeni bir form kazandırılması hedeflenmektedir. Bu süreçte, küresel olarak yeniden yapılanmanın odağında kentler yer almakta ve kentler arasında artan rekabet, fiziksel mekanda dönüşümü/yenileşmeyi de beraberinde getirmektedir. Kentsel dönüşüm;

- ✓ Kent içindeki terk edilmiş çöküntü alanlarını canlandırmakta,
- ✓ Kenti, sağlıklı ve etkili bir şekilde geliştirmekte,
- ✓ Kent ekonomisini güçlendirmekte,
- ✓ Kentsel yaşam kalitesini ve toplumsal gönenci artırmaktadır.
- ✓ Kentsel dönüşümün hedeflerine ulaşabilmesi yani yörede yasam ve çevre koşullarının iyileştirilmesi, sosyal ve ekonomik zeminin güçlendirilmesine, eksik yönlerin giderilmesine, kent sakinlerinin katılımına ve özel sektör ile kamunun işbirliği yapmasına bağlıdır [4]. Kısaca kentsel dönüşüm projelerinin amacı, kent planlarında alınan kararların uygulanmadığı bölgelere ulaşmak ve bu işleyişi engelleyen ya da tehdit eden öğeleri ortadan kaldırarak o bölgeleri tekrar kent ekonomisi açısından üretken hale getirmek, sosyal sorunların önüne geçmek ve kentin fiziki mekânını çağdaş yaşam koşullarına uygun hale dönüştürmektir.

2. Materyal ve Metot

Araştırma alanı olarak Adana kent merkezinin kuzey batısında yer alan Barış Mahallesi seçilmiştir. 379 0' 13.80"-379 0' 41.85" kuzey enlemleri ve 35916'17.01"-35916'51.68" doğu

boylamları arasında yer alan alanda ilgili ilçe belediyesi (Seyhan Belediyesi) ve Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) işbirliği ile gerçekleştirilen kentsel dönüşüm projesi, 2012 Ekim ayında başlamıştır. Bu proje içerisinde yer alan araştırma alanı, Adana merkez otogarına yakın ve kent içi ulaşımda önemli bir paya sahip kıyı boyu caddesinin güneyinde yer almaktadır.

Şekil 1. Araştırma Alanının Konumu **[**5**]**

Araştırma alanının yer aldığı Seyhan ilçesi, Adana Büyükşehir Belediyesi'nin beş merkez ilçesinin nüfus bakımından en büyük olanıdır. 2015 yılı verilerine göre 788,722 toplam nüfus sayısına sahiptir [6]. 501,59 km² yüzölçümü ve 1572,44 kişi/km² nüfus yoğunluğuyla Seyhan, Adana ilinin en yoğun ilçesini oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında öncelikle kentsel yaşam kalitesi kavramı üzerinde durulmuştur. Kentsel dönüşüm sürecinin Barış Mahallesi yaşam kalitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla hem mekansal kullanım hem de konut ölçeğinde halkın memnuniyet düzeyini belirlemek amacıyla, tamamlanan 1. Etap kısmında anket çalışması yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında kentsel dönüşüm projelerinin kentsel yaşam kalitesine katkısı değerlendirilmiştir.

3. Araştırma Bulguları

Kent içindeki bazı alanların zamanla kullanım ve estetik olarak işlevini yitirmesi, kullanım yoğunluğunu kaybetmesi, bu kentsel alanların ekonomik, sosyal ve fiziksel boyutlarda köhneleşmesi, kent içinde sağlıksız, yaşam konforunun oldukça düşük olduğu alanlar ortaya çıkmasıyla sonuçlanmaktadır. Hızlı ve plansız kentleşme nedeniyle, iş ve konut arzının yetersiz kalması, gecekondulaşma, doğal kaynakların sorumsuzca tüketimi, trafik sorunu, toplumdaki sosyal dengesizliğin giderek artması gibi sorunlar kentlerde yaşayan insanların yaşam kalitesini düşürmekte ve kentsel yaşamı güçleştirmektedir [7].

Dünyanın gelişmiş ülkelerinde olduğu gibi, Türkiye'de de bireylerin yaşamlarından ne derece hoşnut oldukları, şikayetleri kısaca kaliteli bir yaşamın bileşenleri sıkça tartışılır olmuştur [8]. Hızlı ve çarpık kentleşmenin yaşam kalitesini azalttığının tespit edilmesiyle birlikte "kent" ve "yaşam kalitesi" kavramları birlikte ele alınmaya başlanmıştır [7].

Küreselleşme ile dünyanın küçülmesi ve kentleşmenin hızla artması, kentsel yaşam kalitesinin güncel bir sorun haline gelmesine neden olmuştur. Değişen yaşam şartları ve bireylerin tercihleri kentsel mekânda da ilişkilerin yeniden sorgulanmasını gerektirmiştir. Dünyanın gelişmiş ülkelerinde olduğu gibi, Türkiye'de de bireylerin yaşamlarından ne derece hoşnut oldukları, nelerden şikayet ettikleri kısaca kaliteli bir yaşamın bileşenleri sıkça tartışılır olmuştur [8].

Bu çalışma kapsamında incelenen Adana- Barış Mahallesinin kentsel dönüşüm öncesi durumu Şekil 2'de, kentsel dönüşüm proje önerisi Şekil 3'de, kentsel dönüşüm sonrası proje alanı ise Şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 2. Kentsel dönüşüm öncesi Barış Mahallesi

Şekil 3. Barış Mahallesi kentsel dönüşüm proje önerisi

Şekil 4. Barış Mahallesi kentsel dönüşüm sonrası proje alanı

Yukarıda verilen görseller incelendiğinde, Barış Mahallesi sakinlerinin sosyal donatı ve yeşil alanlara sahip, kaliteli yaşam alanlarında yaşamlarını sürdürmeleri hedeflenmiştir. Hazırlanan proje hedeflerine birebir uyum sağlamasa da, gerçekleşen proje görsellerinde de görüldüğü gibi Barış Mahallesi düzenli, sistemli, nitelikli konut ağına sahip bir yaşam alanına dönüşmüştür.

Anket Çalışması

Araştırmada uygulanan anket çalışmasının evrenini, kentsel dönüşüm projesi kapsamında 1.Etabı tamamlanan İsmetpaşa-Barış Mahallesi'nde yaşayan hane sakinleri oluşturmaktadır. Evrendekilerin tamamına erişmek mümkün olmadığından (yaklaşık 10.179 kişi), veriler evreni temsil eden örneklemden toplanmıştır. En uygun örneklem büyüklüğü, araştırmanın amaçlarına göre ve mevcut sınırlandırıcı faktörlere göre değişir. Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2004 [9] ile Aksoy, 2010 [10] kaynakları temel alınarak bu çalışmada 0,05 anlamlılık düzeyi ve %95 güven düzeyi, d=±0.05 örnekleme hatası, kabul edilmiştir. Örneklemi oluşturan bireylerin homojen olmaması ve çok farklı özellikler göstermesi nedeniyle p=0,8/q=0,2 kabul edilmiştir. Bu istatistiksel varsayımlara karşılık gelen örneklem büyüklüğü 240'dır. Bu nedenle, çalışma alanında yaşayan toplam 250 katılımcıya birebir görüşmeler ile anket uygulanmıştır.

Anket katılımcılarının sosyo-ekonomik yapısına dair Çizelge 1 aşağıda verilmiştir. Çizelge incelendiğinde özellikle yaş dağılımlarına dikkat edildiği görülmüştür. Araştırma alanında genel olarak eğitim ve gelir düzeyi düşük, çekirdek aile olarak yaşamını sürdüren bireylerden oluşmaktadır.

Çizelge 1. Anket katılımcılarının sosyo-ekonomik yapısı

Sosyo-ekonomik ve demografik değişkenler	Değişkenleri oluşturan grupların açıklaması	%	Sosyo-ekonomik ve demografik değişkenler	Değişkenleri oluşturan grupların açıklaması	%
Cinsiyet	Erkek Kadın	48 54	Hane halkı büyüklüğü	1-2 3-4 5-6 6<	21 57 19 3
Yaş	18-25 26-40 41-55 56-70	13 35 27 25	Gelir	<1300 1300-2500 2500-4000 4000<	28 62 6 4
Eğitim düzeyi	Okuryazar değil İlkokul Ortaokul Lise Üniversite	5 62 19 11 3	Meslek dağılımları	İşsiz İşçi Esnaf Tüccar Çiftçi Memur Emekli Ev hanımı Öğrenci	2 26 4 5 5 4 14 39 1

Anket katılımcılarının konuta dair yaklaşımları Çizelge 2'de verilmiştir. Katılımcıların çoğunluğunun kentsel dönüşüm sürecinden önce, gecekondu ve müstakil evler gibi az katlı yapılarda oturduğu, çok katlı binalara geçişle sağlamlık ve depreme dayanıklılık kaygısı çektiği ortaya çıkmıştır. Çoğu katılımcının konutlarından memnun olmadığı, aidatın olmasından ve alışık oldukları mahalle düzenindeki komşulardan daha çok sayıda kişiyle iletişim içerisinde olmaktan şikâyetçilerdir. Tüm bu şikâyetler ve memnuniyetsizliğe rağmen katılımcıların %87'si 13'ü konutu kullanmaya devam edeceğini belirtmiştir. Bu kararda sosyo-ekonomik yapıda incelenen gelir ve eğitim seviyelerinin düşük olma durumu da etkili olabilir. Ekonomik bağlayıcılık dolayısıyla konutta yaşamaya devam kararı da verilmiş olabilmektedir.

Çizelge 2. Anket katılımcılarının konuta dair yaklaşımları

Kentsel dönüşümden önce oturulan konut tipleri	Gecekondu	39
	Müstakil	42
	Lojman	1
	Apartman	18
Yeni konuttan memnuniyet durumu	Memnunum	18
	Memnun değilim	82
Yeni yapılan konutların en önemli avantajı nedir?	Daha fazla sosyal tesis olması	14
	Daha sağlam ve depreme dayanıklı olması	65
	Konutun ve mahallenin değerlenmesi	21
Yeni yapılan konutların en önemli dezavantajı nedir?	Mahalle ve komşuluk ilişkilerinin değişecek olması	4
	Evin müstakil olmaması	12
	Apartman aidatının olması	48
	Tanımadığı kimselerin gelmesi	36
Evinizi ileride ne yapmayı düşünüyorsunuz?	Çocuklarıma vereceğim	22
	Kiraya vereceğim	2
	Satacağım	11
	Oturmaya devam edeceğim	65

Kentsel dönüşüm süreçlerinin en zor kısmını hiç şüphesiz sosyal uyum oluşturmaktadır. Alıştıkları ortamdan farklı yapıdaki bir mekanı kullanmaya başlayan bireyler, sosyal ilişkilerinde de kopukluklar yaşamaktadır. Çizelge 3'te görüldüğü gibi verilen yanıtlar bu görüşe örnek oluşturmaktadır. Komşuların kentsel dönüşüm öncesi ve sonrasındaki görüşme sıklıkları tamamen tersine bir hal almak, önceden her gün görüşen çoğunluk ayda bir görüşmeye başladıklarını ifade etmiştir. Yeni çevre düzenlemesinden memnun olmadıklarını belirtmelerine rağmen komşularla en fazla zamanı park ve bahçede geçirdiklerini ifade etmişlerdir.

Çizelge 3. Anket katılımcılarının sosyal ilişkiler ve çevreyle ilgili yaklaşımları

Kentsel dönüşümden önce ve sonra komşularla bir araya gelme sıklığı nedir?	Önce	Hergün	54
		Haftada birkaç kez	43
		Ayda bir	3
	Sonra	Hergün	4
		Haftada birkaç kez	32
		Ayda bir	64

Komşularınızla nerede bir araya gelirsiniz?	Evde	38
	Parkta/bahçede	42
	Diğer	20
Yeni çevre düzenlemesinden memnuniyet durumu	Memnunum	26
	Memnun değilim	74
Dönüşüm projesiyle ekonomik açıdan kazançlı çıktığınızı düşünüyor musunuz?	Evet	46
	Hayır	54

Gerçekleşen projeyle ilgili olarak iyileştirme çalışmaları yapılabilmekte fakat en verimli etki oluşturulacak yeni kullanım alan karar süreçlerinde verilebilmektedir. Genel olarak kullanıcıların projeyle ilgili görüşleri daha önce olumsuz olarak ifade edilmiştir. Bu bölümdeki cevaplar da memnuniyetsizliği pekiştirir yönde dile getirilmiştir (Çizelge 4). Konuttan memnun olmadıkları kadar çevre düzenlemeleri ve proje öncesi bilgilendirme faaliyetlerinden de memnuniyet düzeyi oldukça zayıftır. Projeye dahil olmak istediğini fakat yetkililere ulaşamadığını söyleyen %66'lık bir kesim varken, projeye halk toplantılarıyla ve ilan, broşür gibi bilgilendirme materyalleriyle destek verildiği ortadadır. Eğitim ve sağlık hizmetleri, her yerleşim alanında olduğu gibi, araştırma alanında da öncelikle tamamlanması gereken hizmet alanları olarak ilk sıraya yerleşmiştir. Kaliteli bir yaşam algısı, belediye önceliği, mahalle ihtiyacının irdelendiği sorularda ise genel talep yeşil alan ihtiyacına yöneliktir.

Çizelge 4. Anket katılımcılarının genel olarak projeyle ilgili görüşleri

Kentsel dönüşüm algılaması	İyileştirme	13
	Koruma	7
	Yenileme	80
Proje gerçekleşmeden önce ön bilginin ne şekilde verildiğine dair yanıtlar	İlan, broşür vb.	38
	Halk toplantıları	62
Projeye dair verilen bilginin yeterlilik düzeyi	Yeterliydi	7
	Yeterli değildi	46
	Kısmen yeterliydi	47
Proje süresince öneri sundunuz mu?	Öneri sunmadım	34
	Yetkililere ulaşamadım	66
Eviniz ve çevresi verilen bilgiler doğrultusunda eksiksiz teslim edildi mi?	Evet	15
	Hayır	85
Projeye dair öneriler	Aylık toplantı olması	6
	Merkezi ısınmanın kalkması	15
	Güvenlik	38
	Kamera	14
	Bayanlar için kurslar	15
	Görüşüm yok	12
Belediyenin öncelikli yapması gereken hizmet nedir?	Spor tesisleri	4
	Ulaşım	5
	Sağlık hizmetleri	44
	Eğitim hizmetleri	29
	Yeşil alan	18

Mahallede öncelikli olarak yapılması gereken sosyal tesis nedir?	Cami	15
	Okul	43
	Kreş	12
	Çocuk bahçesi, park	12
	Sağlık ocağı	18
Kaliteli yaşamdan ne anlıyorsunuz?	Geçim zorluğu olmayan bir hayat yaşamak	30
	Güvenli bir kentte yaşamak	20
	Çevre kirliliği olmayan bir kentte yaşamak	8
	Sağlık imkanları iyi olan bir kentte yaşamak	10
	Park ve yeşil alanın çok olduğu bir kentte yaşamak	24
	Sosyal imkanları çok olan bir kentte yaşamak	8

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan değerlendirmeler ile elde edilen sonuçlar özetle şu şekildedir;

- Kullanıcı analizlerinden yola çıkarak kullanıcıların kentsel dönüşüm süreçlerine katılımlarının bir tercihten çok ekonomik bir zorunluluk olarak ortaya çıktığı görülmüştür.

- Konutlardan memnuniyetsizlik düzeyinin yüksek olmasının temel nedeni kullanılan malzemenin kalitesiz olması olarak ifade edilmiştir. Ailede ikamet eden kişi sayıları da, yeni konutların genişliklerinin istenilen düzeyde olmamasından dolayı memnuniyetsizlik yaratmıştır.

- Aynı memnuniyetsizlik çevre düzenlenmesi için de geçerlidir. Çevre düzenlemesine ilişkin beklentiler, daha fazla fiziksel donatının mahallede yer almasına yöneliktir. Projede yeşil alan miktarının, kentsel dönüşüm öncesine göre önemli oranda artış gösterdiği söylenebilir fakat memnuniyet durumunun beklenen düzeyde olmaması, diğer anket soruları da dikkate alındığında, kentsel yeşil alan tasarım sürecinde yerel halkın taleplerinin dikkate alınmamasından kaynaklanmaktadır.

- Mahallede kentsel dönüşüm sonrasında komşuluk ilişkilerinin zayıfladığını söylemek mümkündür. Bu sonucun oluşmasına dairelerin kura sistemiyle belirlenerek insanların birbirinden uzaklaşmaları etken olmuştur. Dönüşen alanlardaki yeni kullanıcılar ile yıllardır burada yaşayan insanların konut dağılımında dikkate alınan seçim kriterlerinin daha hassas bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

Kentsel dönüşüm projelerinin, yaşam kalitesinin artması açısından önemi büyüktür. Yıllardır tartışılan fakat bir türlü üzerine gidilmeyen çarpık kentleşmenin önlenmesi ve kentsel yaşam kalitesinin artırılması konularında politikalar geliştirilmesi, bunların hukuki düzenlemelerle desteklenmesi ve uygulamaya yansıtılması Türkiye için önemli bir kazanımdır. Ancak, AB'ye uyum sürecini hızlandırmak ve yabancı sermayeyi çekmek adına reformların

akademik, siyasi ve toplumsal ortamlarda yeterince tartışılmadan hızla uygulamaya geçirilmesi bazı aksaklıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Gerçekleşmiş kentsel dönüşüm uygulamaları için uygulamalara bitmiş birer proje olarak bakmamak gerekmektedir. Bu alanlardaki dinamizmi aktif tutmak, halkın etkin kullanımına yönelik düzenlemelerle de düzenlemeler yapılabilecektir. Bir bütün olarak değerlendirildiğinde, araştırma bulgularından edinilen sonuçlardan hareketle, karşılaşılan olumsuzları gidermek, olumlu görüşlerdeki memnuniyet düzeylerini ise artırmak gerekmektedir. Gerekli çalışmalar yapılmadığı takdirde kullanıcı memnuniyetinden söz edilemeyecek, bireylerde yer değiştirme eğilimi ortaya çıkacak ve bu durum da bölgeler arası dengesizlik ve göç sorununa neden olacaktır. Sonuç olarak, karar vericilerin kentsel dönüşüm projelerinde başarıya ulaşmaları, uygulamaları yerel halka doğru bir şekilde anlatmalarından, onları dönüşüm sürecine dahil etmelerinden, sosyal ve ekonomik programlar geliştirmelerinden geçmektedir.

Teşekkür

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2016-5658 proje numarasıyla desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

[1**]** Dostoğlu, N. ve Polat, S., 2007. "Kentsel Dönüşüm Kavramı Üzerine: Bursa'da Kükürtlü ve Mudanya Örnekleri". Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 12, Sayı 1, Bursa.

[2**]** Emür, S.H., ve Onsekiz D., 2007. "Kentsel Yaşam Kalitesi Bileşenleri Arasında Açık ve Yeşil Alanların Önemi-Kayseri/Kocasinan İlçesi Park Alanları Analizi", Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı 22, Yıl 2007/1, ss. 367-396.

[3**]** Keleş, 2000.

[4**]** Özden, P. P. 2008. Kentsel Yenileme. İmge Yayınevi, s.14-180, Ankara.

[5] Google Earth, 2016. Google Earth uydu görüntüsü.KELEŞ, R., 2000. Kentleşme Politikası, İmge Kitabevi, Ankara.

[6] TÜİK, 2015. Türkiye İstatistik Kurumu Nüfus İstatistikleri.

[7] Görün, M. ve Kara M., 2010. Kentsel Dönüşüm ve Sosyal Girişimcilik Bağlamında Türkiye'de Kentsel Yaşam Kalitesinin Artırılması. Yönetim Bilimleri Dergisi (8:2) Jaurnal of Administrative Sciences.

[8] Demirkaya, Y., 2010. Çekmeköy'ün Sosyo-Ekonomik Yapısı Ve Kentsel Yaşam Kalitesi T.C. Çekmeköy Belediye Başkanlığı 140 Sayfa. İstanbul.

[9] Yazıcıoğlu, Y., ve Erdoğan, S., 2004. SPSS Uygulamalı Bilimsel Araştırma Yöntemleri. Ankara: Detay Yayıncılık.

[10]Aksoy, H. H., 2010. Örneklem Seçimi ve Hesaplaması. 80.251.40.59/ education.ankara.edu.tr/aksoy/eay/eay/.../delmaci.doc

Akıllı Büyüme Kavramı ve Türkiye'de Uygulanabilirliği (Sözlü)

Asuman AYSU[1], Sinem ÖZYURT ÖKTEN[2]

[1]İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Türkiye
[2]İskenderun Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Türkiye
Emails: asuman.aysu@iste.edu.tr, sinem.okten@iste.edu.tr

Özet

90'lı yıllardan itibaren, kontrolsüz nüfus artışı ve sanayileşmenin insan üzerinde bıraktığı negatif izlenimlerin en aza indirgenmesi için Yeşil Kent, Eko Kent, Yaşanabilir Kent, Dijital Kent, Akıllı Kent ve Akıllı Büyüme gibi planlama yaklaşımları ortaya çıkmıştır. Bu kavramlar arasında "Akıllı Büyüme" birçok yaklaşımın temel niteliklerini içinde barındırarak gelişen bir kavram olarak öne çıkmaktadır.

Akıllı Büyüme, kentsel planlama ve kentlerin dağınık gelişimini önlemek, odaklı ulaşım ağları oluşturmak, yürünebilir mahalleler yaratmak, açık mekân, tarım alanı, doğal güzellikler ve kritik çevresel alanları korunmak ve karma kullanım teorisi gibi temel prensipler içermektedir. Aynı zamanda, uzun dönemde etkileri görülecek sürdürülebilirlik prensiplerinin küçük bir alanda daha kısa sürede detaylı incelemeye alınması ile oluşan bir değerlendirme türüdür. Ulaşım, işyeri ve konut bağlantılarını çözmenin yanında, fayda ve maliyetlerin kentsel mekânda eşitlikçi dağılımına ve doğal kaynakların, kültürel mirasın, halk sağlığının korunmasına kadar birçok nokta üzerinde hassasiyet gösteren planlama kararları içermektedir.

Türkiye'de yaşam standartlarının iyileştirilmesi adına yapılacak çalışmalar oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla hazırlanan çalışmada, akıllı büyüme kavramı incelenmiş, Türkiye'de sürdürülebilir kalkınmaya hizmet edecek bu yeni kavramın uygulanabilirliği üzerine kentsel gelişim önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akıllı büyüme, planlama, kentleşme

SMART GROWTH APPLICATIONS IN TURKEY

Abstract

Green City, Eco City, Livable City, Digital City, Smart City and Smart Growth planning approaches have emerged for minimizing negative impressions of uncontrolled population growth and industrialization on human beings since 1990's. Among these concepts, Smart Growth stands out as a new developing concept that including basic qualities of many approaches.

Smart Growth supports theory of mixed use and includes basic principles such as urban planning and avoiding the scattered development of cities, creating focused transportation networks and walkable neighborhoods, conserving open space, agricultural area, natural beauties and critical environmental areas. At the same time, it is a type of evaluation which is formed in a short time with a detailed examination of the sustainability principles that will be seen in long term. It includes planning decisions that are sensitive to many aspects from the

equitable distribution of benefits and costs to urban space and to the conservation of natural resources, cultural heritage, and public health.

The studies to be done of improving the standard of living in Turkey have a great importance. In this study, the applicability of the smart growth concept is examined and urban development proposals are presented in order to reach sustainable development in our developing cities.

Keyword(s): Smart growth, planning, urbanization

1. Giriş

Ulusal kalkınmanın alt basamağını bölgesel kalkınma oluştururken, bölgesel kalkınmanın alt basamağını ise yerel kalkınma oluşturmaktadır [1]. Yüksel ve Zafir [2], yerel kalkınmanın, yerel kaynakları harekete geçirerek kalkınmanın ekonomik, siyasi, sosyal, kültürel ve çevresel boyutların sürdürülebilirliğinin sağlandığı, yerel aktörlerin tümünün karar süreçlerine katıldığı, aşağıdan yukarıya doğru bir kalkınma anlayışına dayalı olduğunu savunmaktadır. Bir diğer ifadeyle yerel kalkınma, tüm kentlerin kendine yetebilen sistemler içerisinde fiziksel, sosyal, kültürel, ekonomik ve siyasal dengelerinin sağlandığı dinamik bir ortamda sağlanabilir. Bu dengelerin sağlanması etkin aktörlerin süreçlere dahil olmasına ek olarak doğru planlama araçlarının seçilmesiyle gerçekleşir.

Dünya nüfusunun hızlı artışıyla birlikte teknolojideki gelişmelerin de etkisiyle kentleşmenin etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Kentsel yayılma doğa üzerindeki müdahalelerin artmasına neden olmuş, ormanlar, su kaynakları ve kentsel alanları çevreleyen mekânlar üzerinde artan baskı çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Kentleşme olgusunun dünya genelinde artması nedeniyle konut ihtiyacı karşılanamamakta ve bu nedenle verimli araziler üzerinde yatay olarak gelişen yerleşim alanlarıyla oluşan konut talebi karşılanmaya çalışılmaktadır. Bu durum ekolojik açıdan ciddi sorunlara neden olmaktadır. Ekolojik yıkım, Türkiye'de oldukça fazladır ve bunun en büyük örneği; İstanbul'da, merkezi kentsel alanların sıkışması ve yükselme çabaları sonucunda kültürel mirasın tahribatı, çeperlerde doğal alanların işgali ve orman, havza, tarım arazileri gibi bu doğal varlıkların yok edilmesi, şeklinde kendini göstermektedir.

Bu doğrultuda, kentsel yaşam kalitesinin yükseltilmesi amacıyla geliştirilen planlama yaklaşımlarından biri olan akıllı büyüme kavramı incelenmiş ve Türkiye' deki uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Akıllı Büyüme Kavramı

Küresel çevre problemleri ile karşı karşıya olan ülkelerin temel sorunu insan eliyle yaratılan yapılı çevrelerdir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde kentlerin refah seviyeleri olumsuz yönde ilerlerken, tahrip edilen doğal çevrenin gördüğü zararı en aza indirmek, engellemek ve yavaşlatmak için uzmanlar bugün uygulanan kent planlama yöntemlerinin yanlışlığını vurgulamakta, bunun yerine öneri modeller geliştirmektedirler. Bu modellerden

birisi olan "Akıllı Büyüme" kentlerin daha da yaşanabilir hale gelmesi, bütüncül ve çağdaş kentsel tasarım ihtiyaçlarını karşılama açısından umut vericidir [3].

Akıllı büyüme kavramı 1997 yılında kentsel yayılmanın önüne geçmek amacıyla Amerika'nın Maryland kasabasında ortaya çıkmıştır. Kasaba valisi Parris Glendening tarafından ortaya atılan kavramın temelini ikinci dünya savaşından sonra kentlerde yaşanan sorunların giderilmesi ve şehirlerin büyürken gelişimlerini yeni bir bakış açısıyla tamamlamalarını oluşturmaktadır. Bu yeni şehircilik anlayışı, şehirlerin ve mahallelerin tasarımları yapılırken yol kavramının temel alınmasına dayanmaktadır. Bu tasarımlarda arabalara olan bağımlılığı azaltmak amacıyla iş ve ticari alanlarla yaşam alanları yürünebilir mesafede tasarlama fikri yatmaktadır. Bu mantıkla hareketle Amerika'nın Kaliforniya, Connecticut, New Jersey, New York, Massachusetts, Maryland, Pennsylvania, North Carolina Virginia eyaletleri akıllı büyüme kavramını benimsemiş ve planlama politikalarında bu konuda reform yapmaya yönelmiştir ve toplam 27 eyalette akıllı büyüme ile ilgili 100 kanun yürürlüğe girmiştir [4].

Akıllı büyüme, yaygınlaşma olarak adlandırılan dağınık, otomobil bağımlı kalkınmanın aksine mevcut kentsel alanların dışındaki kompakt ve erişilebilir bir gelişim alternatifidir. Gelecek ihtiyaçlarını değerlendirerek, şehirlerin ve özellikle mahallelerin gelişmesiyle yaşam kalitesi arasında bağlantı kurar ve şehir gelişimi için fırsatlar yaratır [5], [6]. Sınırı belirsiz ve düşük yoğunluklu bir şekilde kent dışına doğru genişlemeyi ifade eden gelişigüzel kentsel yayılma karşısında bir önlem olarak ortaya çıkmıştır. Zira yatayda yaşanan plansız genişleme, doğal hayatı ve tarım alanlarını tehdit ederken; düşük yoğunluklu yayılmadan ötürü araba kullanımı teşvik edilmektedir. Bu sebeple yaklaşım, gelişigüzel kentsel yayılmaya karşı verimlilik temelli rasyonel kentsel gelişme tercihlerine; araba bağımlılığına karşı yürünebilir ve çeşitli toplu taşıma olanaklarına sahip kentsel alanlara; arazi tüketimine karşı kompakt ve karma alan kullanımlarına odaklanmaktadır [7].

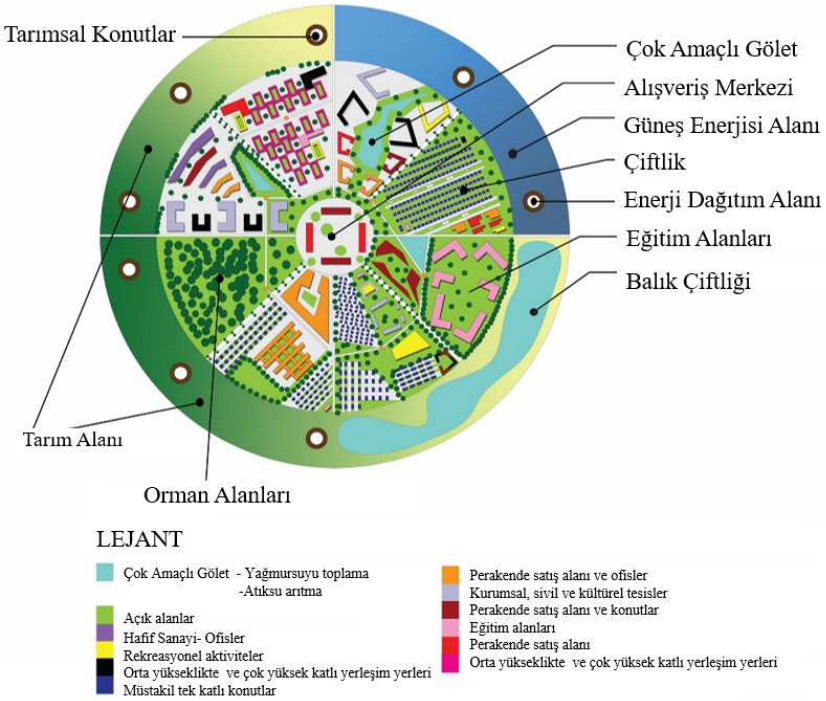
Reeds [8].'e göre akıllı büyüme, Akıllı büyüme kent içi, banliyö ve kırsal alanlardaki konut, iş yerleri, dükkân ve okullara yakın ulaşım seçenekleri ile kentleşme anlamına gelmekte, yerel ekonomiyi destekleyerek doğayı korumayı amaçlamaktadır. Çevre alanlarının yenilenmesi, kırsal ve açık alanların korunması, konut ekonomisinin uygun bir seviyede tutulması, geçirimsiz tabakaların azaltılması, hassas çevresel alanların korunması, kentsel saçaklanmanın azaltılması, doğal çevre ile uyumlu altyapının sağlanması ve daha fazla ulaşım seçeneklerinin sağlanmasını öngören gelişme stratejilerini ifade etmektedir.

Başka bir tanımlama ise Fodor [9] tarafından yapılmıştır. Fodor'a göre akıllı büyüme, arazi, karayolları, otopark ve kamu hizmetleri için geliştirici maliyetlerini düşürerek gelişimi daha karlı hale getirme potansiyeline sahip olan akıllı büyüme, karma kullanımlar arasında ilişkiler kurarak yoğun gelişmeyi çekici hale getirmeye yardımcı olan mahalle tasarım stratejileri toplamıdır.

Akıllı büyümenin, ülkesel, bölgesel ve yerel yönetimlerin bölgesel planlama kararları alırken kullanılması amacıyla ve ekonomiye, topluma, çevreye ve halk sağlığına yararlı olacak on temel ilkesi bulunmaktadır. Esnek ve uyarlanabilir nitelikte olan ABD'deki şehirlerde, banliyölerde, küçük kasabalarda ve kırsal alanlarda başarıyla uygulanmış olan bu ilkeler aşağıda sıralanmıştır [10].

1. Karma kullanımlar yaratmak,
2. Kompakt gelişimler sağlamak,
3. Farklı konut edinim fırsatları ve seçenekler üretmek,
4. Yürünebilir komşuluk birimleri üretmek,
5. Özgün, çekici, güçlü mekânlar oluşturmak,
6. Doğal ve tarımsal alanlar oluşturmak,
7. Mevcut yapılaşmayı güçlendirmek ve geliştirmek,
8. Ulaşım alternatifleri sağlamak,
9. Eşitlikçi, düşük maliyetli ve mevcut yapı ile uyumlu gelişim kararları oluşturmak,
10. Planlama sürecinde tüm paydaşlar arasındaki iş birliğini güçlendirmek.

Bu ilkeler kapsamında Gana- Suhum'da şehir ölçeğinde uluslararası Tasarım yarışması kapsamında hazırlanan öneri "Akıllı Büyüme Planlama Master Planı" Şekil 1' de plana ait modellemeler ise Şekil 2' de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 1. Öneri Akıllı Büyüme master planı [11].

Şekil 2. Öneri Akıllı Büyüme master plan görselleri [11].

Ortaya konulan bu maddeler ile sağlanmaya çalışılan yarar, öncelikle kanun yapıcılar tarafından değerlendirilmeli ve gerekli maddeler zorunluluk haline getirilmelidir. Yasalar ne kadar net olursa olsun bu uygulamaların başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi ancak yerel yönetimlerin desteğiyle sağlanabilecektir. Yerel yönetimlerin desteği ise uygulamalar sonucunda elde edilecek kazanımlarla alınabilir. Akıllı büyüme kriterlerinin fayda sağlayabileceği alanlar Litman [12] tarafından ortaya koyulmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Akıllı büyümenin faydaları [12].

Ekonomik	Sosyal	Çevresel
• Altyapı tasarrufu • Kamu hizmet tasarrufu • Ulaşımda esneklik • Ekonomik iyileşme • Yüksek kalitedeki çevresel etkenlere bağlı olan işletme olanakları (turizm, çiftçilik, vb.) • Toplu yerleşim kazanımları	• Çeşitli ulaşım alternatifleri • Çeşitli konut seçenekleri • Toplumsal uyum • Fiziksel egzersiz olanakları ve sağlıklı ortamlar • Kültürel kaynakların korunması (tarihi yerler, geleneksel mahalleler vb.)	• Doğayı ve habitatı koruma • Enerji tasarrufu • Hava kirliliğini azaltma • Su kirliliğin azaltma • Azaltılmış “sıcak ada” etkisi

Kontrolsüz kentsel gelişim beraberinde birçok sorun getirmektedir. Downs [13] ve Tekin [3], bu sorunlar hakkındaki görüşlerini belirtmişlerdir. Bu görüşlere göre,

- Düşük yoğunluklu gelişme alanlarının, her geçen gün plansız bir şekilde yayılmakta olduğu ve kent yerleşim planları dışına çıktığı görülmektedir.
- Doğal ve açık alanlar kentsel alanlara dönüşmektedir.
- Konut planlarında tekdüzelik görülmektedir.
- Yüksek oranda motorlu araç kullanılmakta, hava kirliliği gün geçtikçe artmaktadır.
- Sağlıklı altyapı ağı oluşturulmadan hazırlanan ulaşım ağları, oluşan sorunlar neticesinde yerel yönetimlere yüklü maliyetler çıkarmaktadır.
- Kentsel dönüşüm alanlarında başarılı uygulamalar gerçekleşmemektedir.
- Çeşitli alan kullanımları birlikte planlanarak ulaşım yükü en aza indirgenmelidir.

2. Türkiye' de Akıllı Büyüme

Günümüzde yenilikçi kent yaklaşımlarının ortaya çıkması ve bunun üzerine birçok tartışma üzerinden yeni kavramlar gündemimize gelmektedir. Akıllı kent (Smart City), Akıllı büyüme (Smart Growth), Dijital kent (Digital City) gibi teknoloji odaklı kentlerin yanında 90'lardan beri gündemde olan sürdürülebilir-ekolojik kentler ve çözüm arayışları da söz konusudur. Genel olarak bakıldığında teknoloji, kent odaklı çözümler üretme üzerinde irdelenmektedir ve temelinde de sürdürülebilirlik ilkesine dayandırılmaktadır. Türkiye'de son yıllarda sürdürülebilir kent özelinde akıllı kent sistemleri yaygınlaşmıştır. Ülkemizde "Akıllı Şehirler" ile ilgili yasal mevzuat gün geçtikçe zenginleşmekte ve kamusal altyapılar bu yönde hazırlanmaktadır. Aşağıda Akıllı Şehirler çerçevesinde hazırlanan bazı kamu mevzuatları ve ilgili maddeleri verilmiştir [14].

- 2014-2018 / 10. Kalkınma Planı – Madde 656, 731, 841, 973 ve 987.
- 2015-2018 / Bilgi Toplum Stratejisi ve Eylem Planı – 42. Akıllı Kentler Programı Geliştirilmesi , 44. Yaşayan Labaratuar Programı Geliştirilmesi
- Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı- Ulaşım ve İletişim Stratejisi – Akıllı Ulaşım Sistemleri
- Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı/2017-2021 Stratejik Plan
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı bünyesinde 2017 yılında " Akıllı Şehir Müdürlüğü" kurulmuştur.

2025 yılına kadar Türkiye'de 26'dan fazla akıllı kent olacağı tahmin edilmektedir. Akıllı kent kriterleri olarak sayılan alanların çoğunda olmasa dahi birkaçında yatırım yapan şehirler ise "sürdürülebilir şehir" (sustainable city) olarak adlandırılmaktadır. Türkiye'den bu rapora giren 8 şehrin (İstanbul, Bursa, Ankara, Eskişehir, İzmir, Denizli, Antalya ve Adana), sürdürülebilir şehir seviyesinde olacağı öngörülmektedir [15]. Türkiye'de akıllı şehirleşme yolunda adımlar atılırken akıllı büyüme modeli henüz hayata geçmemiştir. Akıllı şehirleşmeyi sürdürülebilir kentsel uygulamalar açısından genel bir çatı olarak görürsek, akıllı büyüme akıllı

şehirleşmenin bir parçasıdır diyebiliriz. Bu bağlamda Türkiye akıllı büyüme kavramını da içeren uygulamalara geçmiştir.

3. Değerlendirme

EPA tarafından belirlenen akıllı büyüme ilkeleri kentsel sürdürülebilir planlamanın temel hedefleriyle örtüşmektedir. Kriterler incelendiğinde, bu kadar çok faktörün sağlandığı bir planlama sürecinin sağlanmasının zorluğu dikkat çekmektedir. Planlama süreçlerinde dönemsel ihtiyaçlardan çok gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılamaya ve sağlıklı bir kentsel yaşam ortamı oluşturmaya yönelik uygulamaların gerçekleşmesi oldukça önemlidir.

Çalışma kapsamında akıllı büyümenin ortaya çıkış süreci, amacı, kriterleri gibi kavramsal tanımlamalar üzerinde çalışılmış olsa da dünya çapında gerçekleşen sağlıklı uygulamalar, kavramın başarısını ortaya koymaktadır. Akıllı büyüme gibi planlama süreçlerine hizmet eden araçları birbirlerinden ayrı düşünmek olanaksızdır. Özellikle yerel yönetimlerin destekleyeceği uygulamalar sürdürülebilir kentsel planlamalar için büyük önem taşımaktadır.

Akıllı büyüme kavramı ve ilkelerinin Türkiye'de ihtiyaç duyulan bütünsel planlama yaklaşımına hizmet edeceği görülmektedir. Bu nedenle kavram plan yapıcılar başta olmak üzere yerel yönetimler ve kent aktörlerine doğru yöntemlerle anlatılmalı, mevcut uygulamalarla kullanımında sağlayacağı katkılar açıklanmalıdır. Bu tür planlama araçlarının kullanımındaki en büyük sıkıntı uygulayıcılar tarafından benimsenmeyen kavramların, yönetimler tarafından uygulamaya zorunlu kılınmasıdır. Kentsel planlamada sürdürülebilir uygulamaların sağlanması amacıyla ele alınan akıllı büyüme kavramı Türkiye'de karar vericiler tarafından en kısa zamanda benimsenmeli ve uygulamalara yansıtılmalıdır.

4. Kaynaklar

[1] Zengin, E., Başkurt M., Es, M., 2014. "Yerel Yönetimler ve Yerel Kalkınma" Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, Cilt:3, Sayı:2, ISSN:1624-7215, http://journals.manas.edu.kg/mjsr/archives/Y2014_V03_I10/ef270d3f02ccb3ec3b53e54dc005654e.pdf, Erişim: 20.02.2019.

[2] Yüksel, E., Zafir, Z. (2014). Sürdürülebilirlik ve Yerel Kalkınma, Marmara Üniversitesi İİBF- İktisat Bölümü

[3] Tekin, H. A. (2010). *Kentsel Tasarımda Yeni Şehircilik Yaklaşımı ve Kadıköy–Yeldeğirmeni Örneği* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

[4] Sınmaz, S. (2013). Yeni gelişen planlama yaklaşımları çerçevesinde akıllı yerleşme kavramı ve temel ilkeleri. *Megaron*, *8*(2), 76-86.

[5] Handy, S. (2005). Smart growth and the transportation-land use connection: What does the research tell us?. *International regional science review*, *28*(2), 146-167.

[6] Sarıçayır, A., 2019. http://www.arkitera.com/haber/15018/yeni-sehircilik-ve-akilli-buyume, Erişim: 28.03.2019

[7] Gürsoy, O. (2019). Akıllı Kent Yaklaşımı Ve Türkiye'deki Büyükşehirler İçin Uygulama İmkânları, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara

[8] Reeds, J., 2011. Smart Growth: From Sprawl to Sustainability. Green Books; 1st edition, ISBN-10: 190032282X, ISBN-13: 978-1900322829

[9] Fodor, E. (2012). *The Myth of Smart Growth*, Fodor & Associates LLC

[10] U.S. Environmental Protection Agency, 2011. Local Government Climate And Energy Strategy Series ,Smart Growth A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reductions Program.

[11] Anonim, 2019a, http://www.canvasarc.com/portfolio/smart-growth-suhum/,10.04.2019.
[12] T. Litman, (2014). *Smart Growth Savings: What We Know About Public Infrastructure and Service Cost Savings, And How They are Misrepresented By Critics*, Victoria Transport Policy Institute
[13] Downs, A. (2005). Smart growth: Why we discuss it more than we do it. *Journal of the American Planning Association, 71*(4), 367-378.
[14] Anonim, 2019b. http://akillisehir.bursa.bel.tr/akilli-sehir/, Erişim: 14.04.2019.
[15] Anonim, 2019c. https://www.emlaksayfasi.com.tr/guncel/2025-yilina-kadar-turkiye-de-26-akilli-kent-olusacak-h25620.html, Erişim: 06.05.2019.

MİMARLIKTA UYGULAMALI TAŞIYICI SİSTEM EĞİTİMİ: AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ

Hilal Tuğba ÖRMECİOĞLU[1], Aydın UÇAR[2],

[1] Department of Architecture, Akdeniz University, Turkey
[2]Department of Interior Architecture, Akdeniz University, Turkey
E-posta: ormecioglu@akdeniz.edu.tr , aucar@akdeniz.edu.tr

Özet

Tarihin ilk önemli mimarlık teorisyeni sayılan Vitruvius mimarlık mesleğini sağlamlık-işlevsellik-estetik diye çevirebileceğimiz firmitas-utilitas-venustas üçlemesi ile anlatır. Mimarlık eğitiminde ise genellikle tasarım stüdyoları utilitas ve venustasa yoğunlaşırken firmitas kavramı yapı derslerinin içerikleri ile karşılanmaya çalışılır. Ancak bu derslerin sıklıkla tasarım stüdyolarından ayrı olarak işlenmesi nedeniyle öğrencilerin bu bilgileri kullanarak öğrenmeleri ve yeterince özümsemeleri mümkün olamamaktadır. Özellikle strüktür derslerinde yoğun hesaplama bilgileri arasında, mimarlık öğrencilerinin tasarım yaparken bilmesi gereken yük aktarma prensiplerini tam olarak aktarılmaması; mekanın ayrılmaz bir parçası olan taşıyıcının öğrenciler tarafından, tasarım sürecinde düşünülmeyen ancak sonradan inşaat mühendisleri tarafından eklenen, zorunlu bir yapı bileşeni olarak algılanmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde 2012 yılından beri uygulanmakta olan proje tabanlı strüktür eğitimi tanıtılacaktır. Proje tabanlı bu yeni modelde teorik eğitimin yanı sıra verilen projeler, bu projelerin tasarlanması ve yükleme testlerinden oluşan bir deneysel çalışma yapılmaktadır. Böylelikle öğrenciler farklı strüktürel tasarımların yükleme altındaki davranışlarını deneyerek görme imkanı yakalamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Proje Tabanlı Eğitim, Uygulamalı Strüktür Eğitimi

Duyduğumu Unuturum, Gördüğümü Hatırlarım, Yaptığımı Anları
Konfüçyus

Giriş

Tarihin ilk önemli mimarlık teorisyeni sayılan Vitruvius mimarlık mesleğini sağlamlık-işlevsellik-estetik diye çevirebileceğimiz "firmitas-utilitas-venustas" üçlemesi ile tanımlamıştır. Mimarlık eğitiminde ise Vitrivius'un bu üçlemesi genellikle tasarım stüdyolarında "utilitas ve venustas" ile temsil edilirken "firmitas" yani sağlamlık kavramı yapı derslerinin içerikleri ile karşılanmaya çalışılmaktadır. Zaten, Mimarlık alanında ilk örgün eğitim kurumlarından biri olarak kabul edilen Ecolé de Beaux-Art'da da, klasik dönemdeki gibi cephe tasarımı öncelikli olarak ele alınmış; taşıyıcı sisteminin çözümü, mühendislerin yapıyı

bir şekilde ayakta tutacakları inancıyla, göz ardı edilmiştir (Salvadori, 1958)[1]. Başlangıcından beri binayı ön plana çıkarırken, yapısal yeterlilikleri ikinci plana atmakta olan bu yaklaşım nedeniyle, mimarlar yapım işlerinin sanatsal tarafını yansıtan meslek adamları olarak görülmüş; mühendisler ise kendi alanlarında yeni yapı malzemeleriyle oluşturdukları harika strüktürlerle popüler hale gelmişlerdir. Ancak bu durum, zamanla Beaux-Art stili mimarlığın sonunu getirmiş; 20 yüzyılda modernist mimarlık akımı ile azalan detay ve malzemelerle sadeleşen biçimler, betonarme ve çelik gibi kullanılmaya başlanan yeni malzemeler, strüktürü her zamankinden daha fazla görünür kılmıştır. Çelik ve betonarme kullanımının yaygınlaşmasıyla hafifleyen ve yerden kopan mimari, strüktür bilgisini daha da önemsenmesine neden olmuştur.

Resim 1- Resmin sol yanında kagir strüktürlü New York Tenis Kulübü yapısı ve ortasında Lever House yapısı (https://www.som.com/projects/lever_house)

Bir yapının en olmazsa olmaz kısmı strüktürü veya onu ayakta tutan sistemidir. Strüktür aynı zamanda, tektoniklik adı verilen bir olguyla ve yapının sağlamlık algısı nedeniyle doğrudan yapı görselliği ile bağlantılıdır. Örneğin; SOM tarafından projesi yapılan Lever House yapısının strüktürü cam giydirme cephe nedeniyle hemen algılanmaz; ancak izleyici yapının sahip olduğu büyük kütlenin yatayda bir diğer kütle ile -gerilimli bir ilişkide konumlanmış olsa da- yük aktarma ilişkisi olduğunu, bu yatay kütlenin de ayaklar ile yere yükünü aktardığını okuyabilir. Yan tarafında yer alan, projesi McKim, Mead & White tarafından yapılan, New York Tenis klübü yapısının kagir duvarı ise kütlenin yük aktarımına dair bir his yaratmadan, aşırı sağlam ve ağır olarak algılanır (Resim 1). Tektonikliğin ötesinde ana mekan kurucu olarak taşıyıcı sistemlerin kullanıldığı örnekleri ile Nervi, Torroja, Freysinette, Calatrava gibi mimar-mühendisler strüktürü önplana çıkarmışlardır.

[1] Ecolé de Beaux Art'daki eğitimi anlattığı makalesinde Salvodori şöyle der: *"Öğrenciler olarak, hocalarımız bize strüktürü göz ardı etmemizi, çünkü mühendislerin sürüsüne bereket olduğu ve herhangi birinin yapıyı nasıl ayakta tutacağını bize söyleyebileceğini söylerlerdi*". Salvadori, M., 1958. Teaching Structures to Architects. Journal of Architectural Education, 13(1), pp.5–8

Strüktürün mimarinin ayrılmaz parçası olarak kabul edilmesi, zamanla mesleki eğitimde de bu derslerin verilmeye başlanmasına neden olmuştur. Modern mimarlığın öncülerinden olan W. Gropius, kurmuş olduğu Bauhaus adlı mimarlık okulunun eğitim programında strüktür dersine doğrudan yer vermezken; daha sonra Amerika'ya göç etmiş ve emekliliğine kadar aralıksız on dört yıl görev aldığı Harvard üniversitesinde mekanik, statik ve strüktür derslerini programa katmıştır (Salvadori, 1958). Günümüzde de UNESCO / UIA Mimarlık Eğitimi Tüzüğü (2004), mimarlık eğitiminin yapı, malzeme ve strüktür teknik bilgilerini anlama yeteneklerinin edinilmesini içermesi gerektiğini belirtmektedir.

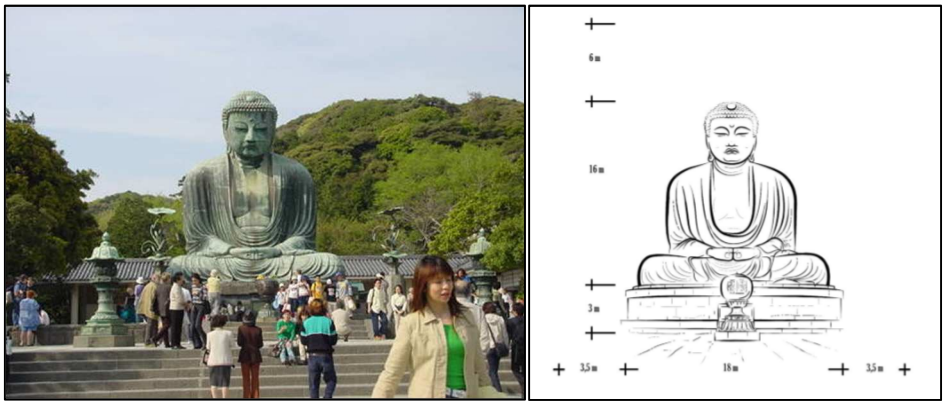
Akdeniz Üniversitesinde Taşıyıcı Sistem Eğitimi

Birşeyi görerek ya da tecrübe ederek öğrenmek insan aklına doğrudan doğrudan hitap etmektedir. Bu nedenle yaparak öğrenme eğitimde önemli öğrenme metodlarından biri olarak görülmekte ve özellikle mühendislik alanında birçok okulda uygulanmaktadır (Carlson, Sullivan; 1991). Bu bağlamda, diğer mimarlık okullarında sayısal bir tabanda ve çözümlü problem örnekleri ile işlenen statik derslerine karşılık, Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Bölümünün kuruluşunda bu dersler farklı bir şekilde kurgulanmıştır. Bu nedenle Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Bölümünde eğitimin başladığı 2012 yılından beri proje tabanlı bir strüktür eğitimi modeli uygulanmaktadır. Türkiye'de ilk kez bölümümüzde başlatılan proje tabanlı strüktür eğitimi modelin yurtdışında yapılan benzer derslerin incelenerek ülkemizdeki eğitim sistemine uyarlanması ile hazırlanmıştır.

Bölümümüzde uygulanmakta olan proje tabanlı bu yeni sistemde iki dönem ardarda devam eden derslerde öncelikle yük, kuvvet ve deformasyon kavramları ile vektörel sistemler ile ilgili kapsamlı teorik bilgiler verilmekte; ikinci dönemde farklı morfolojideki yük aktarımı sistemleri ve bunların açıklık geçmedeki etkinliği tanıtılmaktadır. Bu teorik eğitimler dönem boyunca devam ederken her dönemde bir adet olmak üzere 8 haftalık iki adet "Strüktürel Tasarım Projesi" verilmiştir. Bu projelerde öğrencilerden "minimum malzemeyi kullanarak, maksimum açıklığı geçerken aynı zamanda maksimum ağırlığı taşıyabilecekleri en optimal strüktürü tasarlamaları" istenmiştir. Öğrenciler grup çalışması ile yaptıkları tasarımların ölçekli modellerini hazırlamışlar ve bu maketler sınıfta yükleme testine tabi tutulmuştur. Bir tasarım yarışması formatında düzenlenen bu etkinliklerde öğrenciler daha hafif stürüktürü üretmek için risk almak durumunda kalmakta ve bu onları taşıyıcı sistemi düşünerek geliştirmek zorunda bırakmaktadır.

Bu eğitim modelinde, Le Ricolais'in (1973) de belirttiği gibi, fiziksel model yapımı "yük etkilerinin doğasını" keşfetme sürecinde merkezi bir rol oynamaktadır ve temel bir metodolojik araç haline gelmektedir. Böylece öğrenciler teorik eğitimin yanı sıra verilen projeler sayesinde farklı strüktürel tasarımların yükleme altındaki davranışlarını deneyerek görme imkanı yakalamaktadırlar. Bu aracın kontrollü test edilebilmesi için bütün grupların aynı kalitede maket yapmaları sağlanmalıdır. Bu nedenle maket malzemeleri, yapıştırıcı türü, yapım tekniği konusunda farklı grupları ortak bir şekilde değerlendirmeyi sağlayacak kurallar dizgesinin yanı sıra, yükleme testi prosedürü de tasarlanmış ve proje föylerinde detaylı olarak tanımlanmıştır. Sınıfta gerçekleştirilen yükleme testleri kaydedilerek öğrencilerin kırılma anını tespit etmeleri

ve bununla ilgili rapor hazırlamaları istenmiştir. Bunlara ek olarak hazırlanan strüktürleri doğru şekilde değerlendirmesi ve test sonuçlarının hassas bir sonuç verebilmesi için hafiflik, dayanıklılık ve hacim çarpan tabloları oluşturulmuştur.



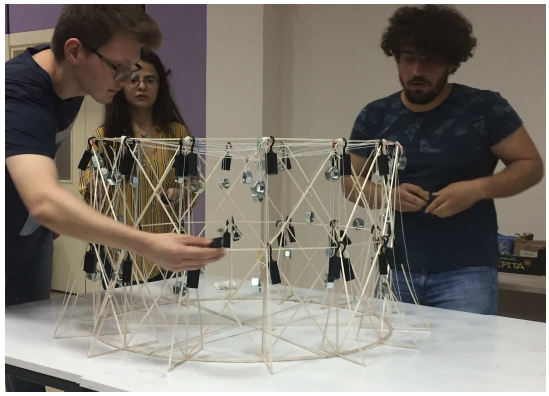
Şekil 2- Büyük Kamakura Budası, Kamakura-Japonya

Bu kurallarla, iki dönem için ayrı ayrı olmak üzere, biri doğrusal açıklık geçme, diğeri düzlemsel açıklık geçme tecrübesi yaratmayı amaçlayan iki Strüktürel Tasarım Projesi-STP tasarlanmıştır. Her dönem 5. haftadan itibaren verilen bu projelerle, öğrencilerden ilk dönem STP1:Köprü Projesi ve ikinci dönem STP2:Örtü Projesi tasarlamaları istenmiştir. Proje konuları sekiz haftalık süre içerisinde öğrencilerin geliştirebileceği ölçektedir. İlk projede ders kapsamında öğrenilen yük aktarma ve vektörel strüktürlerle ile ilgili prensipler temelinde en çok yükü taşıyan en hafif düzlem kafes köprü yapılırken; ikinci projede verilen boyutları verilen Büyük Kamakura Budası heykelinin üzerini örtecek bir tapınak yapısı için en büyük hacmi örten en hafif ve en yüksek taşıma kapasitesine sahip örtüyü tasarlanmaktadır.

STP 1 projesi kapsamında on ya da on beş kişilik gruplara ayrılan öğrencilerden, kendilerine verilen proje föyünde belirtilen özellikleri göz önünde bulundurarak çubuk elemanlardan 50 metre açıklık geçen bir köprü tasarlamaları ve daha sonra tasarladıkları bu köprünün 1/50 ölçekli balsa çubuklardan modelini yapmaları istenmiştir. Süreç ödevin verilmesinden itibaren sekiz haftayı kapsamaktadır. 4. haftada grup çalışması ile tasarlanan bu projeler ilk yükleme testine tutulduktan sonra, gruplardan mevcut önerilerinin neden yıkıldığını analiz edip SAP2000 programını geliştirmeleri beklenmektedir. 10 ve 11 haftada yapılan sınıf için kritikler ile geliştirlen modeller sunulmuş ve tartışılmış, önerilere göre revize edilerek yeniden fiziksel modeli yapılmış ve tekrar yükleme testine tabi turulmuştur. İkinci testteki gelişme miktarına göre gruplar arasında bir sıralama yapılarak çalışma notlandırılmıştır.

Benzer şekilde, ikinci dönemde STP 2 projesi kapsamında öğrenciler çubuk elemanları kullanarak bir strüktür tasarlarlar. Ancak bu sefer STP 1 projesinde olduğu gibi açıklık sabit tutulmadığı gibi, aynı zamanda örtü de iki boyutlu düzlemsel kafes sistemler kullanmak zorunlu değildir. Öğrenciler verilen proje föyünde belirtilen Buda heykelini örtecek ve içeride dua etme için yer sağlayacak şekilde istedikleri hacimde bir örtü strüktürü tasarlarmakta serbesttir. Tıpkı ilk dönemde olduğu gibi grupların tasarladıkları örtünün balsa çubuklardan yapılan modelleri

iki defa yükleme testine tabi tutulur ve yük taşıma kapasitesi, yük aktarım prensibi, kırılma tipi, elemanlardaki gerilme ve basınçları yorumlayan bir rapor hazırlarlar.



Şekil 3 ve Şekil 4- Yükleme testinden görüntüler. Sol STP1: köprü yüklemesi (2013), sağ STP2: örtü yüklemesi (2019)

Tüm grupların modellerinin aynı gün içerisinde, tüm sınıfın önünde, kırılma noktasına kadar yüklendiği (mode-to-failure) bir teste tabi tutulması ve gruplar arasında şeffaf ve eşit bir yarışma ortamının kurulmasını sağlamaktadır. Rekabet eden gruplar hafiflik, açıklık, taşıma kapasitesinin birlikte değerlendirildiği bu yarışmada aldıkları derecelere göre not alırlar.

Yükleme testinden hemen sonra grup üyelerinden bireysel olarak yük taşıma kapasitesi, yük aktarım prensibi, kırılma tipi, elemanlardaki gerilme ve basınçları yorumlayan bir rapor hazırlamaları ve kırılmanın nedenlerini irdelemeleri istenir. Böylece vektörel sistemleri kullanarak strüktürel morfolojinin taşıyıcı sistem tasarımındaki rolünün deneyimlenmesini sağlanmaktadır.

Mimarlık ve Strüktürel Sistemler 1 ve 2 derslerinin amacı mimarlığın temel özelliği olan yapının ayakta kalması durumun sağlanmasında yük aktarma prensipleri ve geometri arasındaki ilişkinin kavranmasını sağlamaktır. Bu bağlamda yapılan proje çalışmaları ile öğrencilere strüktürlerin çalışma prensipleri konusunda deneyim kazandırılması amaçlanmıştır. Çeşitli görsel ve üç boyutlu materyaller desteğinde işlenen teorik dersler yapılan grup çalışmalarıyla deneyimlenmek ve öğrenciler tarafından içselleştirilmesi için sınıfta kritikler yapılmaktadır.

Sonuç

Mimarlık eğitiminin merkezi stüdyo olarak tanımlansa da mesleki bilgilerin büyük çoğunluğu teorik derslerde verilmektedir. Bu nedenle sağlıklı bir eğitim için teorik derslerin stüdyolara etki etmesi beklenmektedir. Ancak statik, mukavement, taşıyıcı sistemler gibi bazı teorik derslerin öğrencilerin sadece dinleyerek öğrenemeyeceği kadar yoğun bilgi ve hesaplama yöntemi içermesi, çoğu zaman bu teorik derslerin projelere yansıtılmamasıyla sonuçlanmaktadır. Oysa ki taşıyıcı, mimarlığın göz önüne çıkmasa da olmazsa olmaz bir parçasıdır. Özellikle 20. yüzyılda yeni malzemelerin ortaya çıkmasıyla birlikte görünür hale gelmiş ve estetik olarak da ön plana çıkmıştır. Mimarlık öğrencilerinin taşıyıcı sistemi sadece

hesaplanan değil tasarlanan bir proje olarak görmesi, teorik bilgileri kullanmasıyla mümkündür. Bu nedenle teknik bilgilerini tasarım çalışmalarına en etkili biçimde entegre etme becerisi göstermeleri, gelecek kuşak mimarları için çok önemlidir.

Severud (1961) öğrencinin strüktür dersinde ne olup bittiğini kavraması için "bir strüktür yapın ve sonra yıkın, daha sonra neler olup bittiğini görün" biçiminde bir yaklaşımın en iyisi olduğunu belirtir. Bu inançla Akdeniz Üniversitesi Mimarlık Bölümü kurulurken öğrenciler tarafından lisans düzeyinde mimarlık eğitimin en zor alanlarından biri olarak tanımlanan statik derslerinin uygulamalı olarak gerçekleştirilmesi karar verilmiştir. Oluşturulan yeni ders içeriği kapsamında bir dönem içinde iki adet strüktürel tasarım projesi gerçekleştirilmekte ve bu tasarımları yaparken öğrencilerin ağırlık, açıklık ve yük taşıma kapasitesi optimizasyonu yapması istenmektedir. Tasarlanan strüktürler hem fiziksel hem dijital olarak modellenmekte ve yükleme testlerine tabi tutulmaktadır. Böylelikle, öğrencilerin soyut kavramlar olarak algıladıkları yük aktarımı, deformasyon ve morfoloji ilişkisini daha kolaylıkla kavrayabildikleri gözlemlenmektedir. Ayrıca, bu yöntemin klasik eğitim metodlarına göre öğrenciyi daha katılımcı bir şekilde ders dahil etmesi sayesinde derse katılım ve geçme oranlarının da arttığı tespit edilmiştir.

Kaynaklar

1. Alakavuk, E., 2016. SHS Web of Conferences 26, "Integration of building construction courses in the architecture education programme", DOI: 10.1051/shsconf/20162601036
2. Carlson L. E. ve Sullivan J. F., 1999, "Hands-on Engineering: Learning by Doing in the Integrated Teaching and Learning Program"Int. J. Engng Ed. Vol. 15, No. 1, pp. 20-31
3. Salvadori, M., 1958. "Teaching Structures to Architects.", Journal of Architectural Education, 13(1), pp.5–8.
4. Severud, F.N., 1961. "Structures—The Feel of Things.", Journal of Architectural Education, 16(2), pp.18–22.
5. Vitruvius, P., 1993, Mimarlık Üzerine On Kitap, ç. M.H. Moran, Şevki Vanlı Yayınları.

iSTE-CE'2019- International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering
13-15 June, 2019, Iskenderun, Hatay / TURKEY

YAPICI MESLEKLERİN EĞİTİMİNDE DİSİPLİNLERARASI İLİŞKİLER

Aslı ER AKAN[1], Hilal Tuğba ÖRMECİOĞLU[2]

[1] Department of Architecture, Çankaya University, Turkey
[2]Department of Architecture, Akdeniz University, Turkey
Emails: aslierakan@cankaya.edu.tr, ormecioglu@akdeniz.edu.tr

Özet

Mimarlık ve inşaat mühendisliği, yapı yapma sanatının bir bütün olarak algılandığı kadim zamanlardan sonra 19. yüzyıl ile birlikte özelleşmeye, kendi alanlarını oluşturmaya başlamışlardır. Bu süreç içinde yavaş yavaş faaliyet alanları, eğitim sistemleri değişmiş, mesleki örgütlenmeler ortaya çıkmaya başlamıştır. 20. yüzyıl başlarına kadar devam eden bu meslekleşme ve uzmanlaşma sürecinde her iki meslek arasında farklılaşmalara bağlı olarak ortaya çıkan ayrımın, zaman içinde eğitim sistemlerinin içeriklerindeki yanlış yönlenmelerle bir uçuruma dönüşmeye başladığı söylenebilir. Oysaki her iki meslek de birbirine ihtiyaç duyan, iletişimde bulunmaları gereken mesleklerdir. Ancak her iki meslek grubu da bu iletişimin nasıl kurulacağını lisans eğitimi boyunca yeterli düzeyde öğrenememektedirler.
Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de mimarlık ve inşaat mühendisliği eğitiminde disiplinler arası ilişkilerin ve iletişimin ne kadar ve ne düzeyde öğretildiğini tespit etmeye çalışmak ve buna yönelik çözüm önerileri oluşturmaktır. Bu amaçla bünyesinde hem mimarlık hem de inşaat mühendisliği bulunan üniversitelerin ders katalogları incelenerek, mevcut durum analiz edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Öğretimde Disiplinler Arası Çalışmalar, Mimarlık Eğitimi, İnşaat Mühendisliği Eğitimi.

INTERDISCIPLINARY RELATIONS IN THE EDUCATION OF CONSTRUCTIVE PROFESSION

Abstract

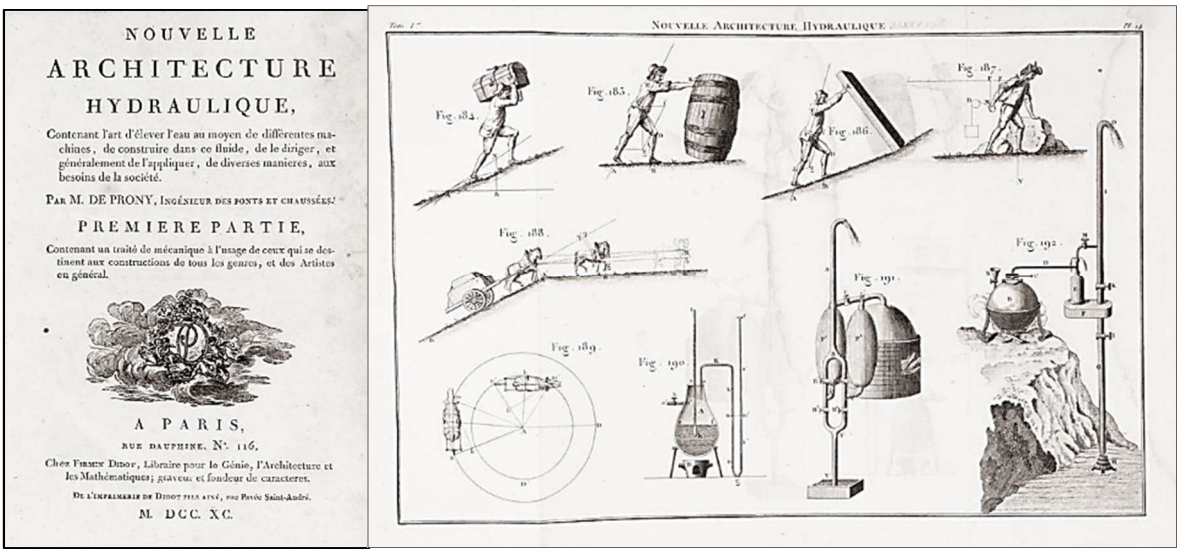
After the ancient times when the art of building was perceived as a whole, architecture and civil engineering began to specialize and create their own study fields in the 19th century. Educational systems and areas of action had been altered in this process and professional organizations started to emerge. It can be stated that in this process of professionalization and specialization, which continued until the beginning of the 20th century, the distinction depending on the differentiations berween the two professions, started to turn into an abyss with the misdirections in the contents of the educational systems. However, both professions need each other and there should be interaction between them. Neverthelesd, both professional groups cannot learn how to establish this interaction or communication during their undergraduate education.
The aim of this study is to determine how much and to which level the interdiciplinary communication and interaction is taught in training of architecture and civil engineering in Turkey and try to create solutions for it. Therefore on this purpose, the course catalogs of the universities which has both architecture and civil engineering departments will be examined and the current curriculums will be analyzed through the study.

Keywords: Interdisciplinary Studies in Higher Education, Architectural Education, Civil Enginering Education.

1.Giriş

18. yüzyılın ortalarına kadar ardarda yaşanan akıl çağı ve aydınlanma çağı, Batı'da aklın, bilginin ve bilimin yüceltildiği bir dönemi başlatmakla birlikte, bu dönemde bilim, teknoloji, uygulamalı bilimler vb. birçok kavram henüz muğlak bir halde ve içiçe geçmiş durumdaydı. Benzer bir karmaşa yapıcı mesleklerin tanımlarında da yaşanıyordu. Yüzyılın sonunda halen mühendislik ve mimarlık tek bir meslek olarak varlığını sürdürmekteydi. Öyle ki 1875 yılında basılan hidrolik ile ilgili bir kitabın başlığı "Nouvelle Architecture Hydraulique" [1], yani yeni su mimarisi olarak adlandırılabiliyor, ancak kitapta verilen örnekler sondaj kuyuları, su aktarma kuleleri gibi bugün mühendislik yapısı diye algıladığımız yapıları içeriyordu (Şekil 1).

1850'li yıllara kadar İzgilizce kaynaklarda bugün mühendis anlamında kullanılan "engineer" kavramının daha çok makine (engine) kullanan, makinist anlamında kullanıldığı görülmektedir. Bu döneme kadar yazılan kitaplarda mimar (architect) sözcüğünün mühendis(engineer) kelimesinden daha sık kullanıldığı, ancak bu tarihten itibaren artan bir popülarite ile mimarlıktan ayrı bir kavram haline geldiği görülür. Bu dönem aslında 18. yüzyılın son çeyreğinden itibaren mimarlık ve mühendisliğin kendi uygulama alanlarını ve eğitimlerini de özerkleştirmek için başlayan hareketin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.

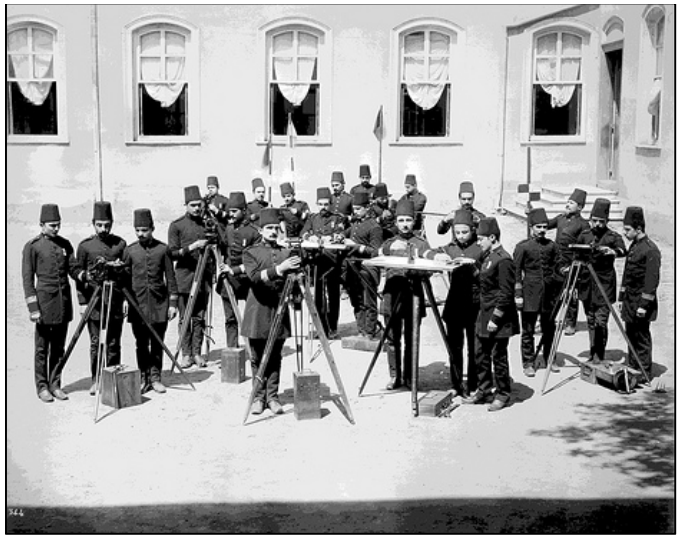


Şekil 1. Yeni Su Mimarlığı Kitabının Kapak ve İç Sayfaları [1].

Mimarlığın bir mesleki cemiyet olarak ilk 1671'de Academie Royale d'Architecture'ün kurulmasıyla kendini farklılaştırması zamanla mesleki bir eğitim oluşturma girişimine dönüşür. Bununla birlikte gerçek anlamda bir meslek eğitimi kurgulanabilmesi 18. Yüzyılın sonlarına doğru gerçekleşir. 1762 yılında Blondel'in Cours d'architecture adlı ilk mimari ders kitabını yazmasından kısa bir süre sonra mühendisler de 1747'den itibaren Jean–Roudolphe Perronet'nin kuruculuğunda École des Ponts et Chaussées ile formel eğitime başlamıştır. Mimarlık bu süreçte tarihten ve gelenekten gelen biçimleri analiz etmeye ve usta-çırak ilişkisi içinde öğretmeye dayalı bir eğitimi benimserken, mühendislik eğitimi yerçekimi, statik, optik

gibi doğanın düzenini analiz etmeye ve hesaplamaya yönelik matematik tabanlı bambaşka bir yaklaşım ile kurgulanmıştır. Eğitimin kurgulanması aslında yeni bir meslek modeli ortaya koyması açısından önemlidir. Ampirik bilgi-deneysel öğrenme mimarlık alanında kalırken matematiksel bilgi-rasyonel öğrenme mühendisliği tanımlamıştır. Bu eğitim modelleri nedeniyle bir zamanlar aynı olan iki meslek 18. yüzyılın sonundan itibaren birbirinden ayrılmaya başlamıştır.

Ülkemizde ise mimarlık ve mühendislik alanındaki ilk formel eğitim girişimleri geç Osmanlı döneminde, Mühendishane-i Berri Hümayun'un 1773'de kurulması ile orduda başlamış (Şekil 2), daha sonra Cumhuriyet döneminde teknik elemana duyulan ihtiyaç nedeniyle bu okullara yenilerinin eklenmesi ile hızla artmıştır. Ancak bu gerçekleşirken önce Fransız Ecolé des Pont et Chaussées, sonra Alman Politeknik okullarının sistemleri örnek alınmış, bu kapsamda farklı üniversitelerde farklı içerikler oluşturulmuştur [2]. Hatta İTÜ gibi teknik okullarda bir süre "Mimar-Mühendis" diploması verilmiş ancak mesleki ayrımların keskinleştiği 20. yüzyılın ortalarından sonra bu uygulama sonlandırılmıştır. Bu uygulamanın sonlandırılmasıyla birlikte iki disiplin birbirinden ayrışmaya başlamış ve ortak derslerin daha az olduğu uygulamara yönelinmiştir.



Şekil 2. Mühendishane-i Berri Hümayunda ölçme dersi.[16]

2. Modern Mimarlık ve Mühendislik Eğitimi

Globalleşen dünyada üniversite eğitim sistemini incelediğimizde hem mimarlık hem de mühendislik alanında herkesin bu işi daha iyi yapmanın arayışı içerisinde olduğunu görmekteyiz. Üniversiteler, yükseköğretim alanına yol gösteren mevzuatları yürüten kurum kuruluşlar, meslek odaları, konseyler gibi yapılanmalar ortak akıl üreterek eğitimdeki değişiklikleri daha iyi yönetebilmenin yollarını aramaktadırlar.

Üniversite eğitiminin temel amacı; orta öğretimde olduğu gibi öğrenciye bilgi yüklemek değil, onu araştırmaya, düşünmeye ve sorgulamaya yönlendirmektir. Bu süreç sadece temel bilimler ve teknoloji ile kısıtlı olmamalıdır. Geleceği planlayacak ve inşa edecek olan mimarlar ve

mühendislerin genel kültürünün de belirli bir düzeyde olması gereklidir. Gerçeklerin araştırıldığı ve bilimin üretildiği üniversitede dersler monolog değil, diyalog biçiminde sürdürülür. Öğrenci araştırmaya ve tartışmaya yönlendirilerek mesleğe hazırlanır. [3]. Mimarlık ve inşaat mühendisliğinin profesyonel hayatına bakıldığında lisans eğitiminde öğrenciye araştırma ve sorgulama yeteneği kazandırılmasının yanısıra disiplinlerarası çalışma kabiliyetinin de kazandırılmasının son derece önemli olduğu gözlenmektedir.

Mühendislik ve mimarlık eğitiminde geçmişteki durumumuzu, mevcut durumumuzu ve gelecekte bizi neler beklediğini anlayabilmek için nesiller (X, Y, Z kuşakları) arasındaki birtakım değişimleri incelemek gerekmektedir. Bu kuşakların beklentileri, teknolojik gelişmeler, ülkemizin ve dünyanın geldiği teknolojik seviye öğrenme şekillerinin de değişimine sebep olmuştur. Teknoloji sayesinde gelişen sunu araçları ve dijital ortam dünyanın her yerinden bilgi edinimini ve karşılıklı proje geliştirilmesini kolaylaştırmıştır. Kara tahta ile başlayan eğitim süreci büyük bir dönüşüme uğramıştır. Erken yaşta teknoloji ile tanışan öğrencilerin öğrenme şekilleri, beklentileri ve bakış açıları değişmiştir. Küreselleşen dünyada bu değişimlere ayak uydurabilmek ve rekabet edebilmek için tüm ülkelerde geçerliliği olan, nereye giderse gitsin iş bulabilecek ve söz sahibi olabilecek mühendisler ve mimarlar yetiştirilmelidir. Bunun için, mimarın ve mühendisin disiplinlerarası çalışabilmesi, ortak akıl yürütebilmesi, teknolojiyi sorunların çözümü için etkin kullanabilmesi, sosyal bilimlere açık olması, yerel değerleri göz ardı etmemesi, çevreyi sorgulaması, birlikte karar alması, birlikte üretmesi ve birlikte yönetmesi gerekmektedir. Böyle bir gelişim de bu özelliklerin dikkate alındığı bir eğitim sistemi doğrultusunda gerçekleştirilebilir.

Dünyadaki mimarlık eğitiminde; Avrupa Mimarlık Okulları Birliği ile Amerikan Mimarlık Okulları Birliği arasında farklı iki model uygulanmaktadır. Avrupa'da mimarlık okullarının eğitim süresi 5 yıldır (lisans ve yüksek lisans eğitimi birlikte). Amerika'daki mimarlık eğitimi ise genel olarak, 4 ya da 5 yıl süreli lisans ve 2 yıl süreli yükseklisans olmak üzere iki kademelidir [4].Ülkemizde ise mimarlık lisans eğitimi 4 yıldır.

Mimarlık eğitiminde, mimarlığın kültürel ve sanatsal bir eylem olma özelliği öncelik taşımakta, ilgili bilim dalları ve teknik alanlarla farklı yoğunluklarda bağlantıları bulunmaktadır. Mimarlık eğitimi birinci sınıf ağırlıklı olarak temel tasarım ve üç boyutlu algılama üzerine kurulu olup, ilerleyen sınıflarda bina yapma süreci üzerine yoğunlaşmakta bu da stüdyo ortamında bire bir kritik veya panel kritik metodu üzerinden yapılmaktadır. Projelerde öğrencilerden, gerçek arazi verileri ile belirlenen ihtiyaç programını karşılayan özgün çözümler üretmeleri beklenmekte ve desteklenmektedir [5]. Temel tasarımda öğrenilen parça bütün ilişkisi, üç boyutlu düşünme becerisi ve kütle kompozisyonlarının ilerleyen sınıflarda mimari proje üretim sürecine yayılması beklenir. Bireysel projelerin yanısıra grup çalışmaları ile yürütülen proje konuları da verilmektedir.

Mühendislik eğitimine baktığımızda ise, Ersoy, çok sayıda bilinmeyeni bulunan inşaat mühendisliği uygulamaları için çok sayıda varsayım yapılması gerektiğini söyler. Ersoy [3], mühendis, kesin olmayan sonuçlarla bir karara varmak zorunda olduğu için inşaat mühendisliği

hiçbir zaman salt bilim olmadığını ve olamayacağını ifade etmiştir [3]. Buradan anlaşılacağı gibi inşaat mühendisliği de tıpkı mimarlık gibi bilim dalı olmakla birlikte aynı zamanda sanattır. Dolayısıyla inşaat mühendisliği ve mimarlık eğitimi tartışılırken, bu özellikleri de dikkate alınmalıdır. İnşaat mühendisliği eğitimi; yapım, hidrolik, malzeme, zemin, yapı analizi ve boyutlama, ulaşım ve deprem gibi konuları kapsamaktadır. Yeni malzemelerin ortaya çıkması, yapısal analiz ve imalat tekniklerinin değişmesi ve gelişmesi mimarlık eğitimini etkilediği gibi inşaat mühendisliği eğitimini de etkilemiştir. Bu nedenle nano teknoloji, akıllı yapılar, hızlı ulaşım, raylı ulaşım, var olan yapıların değerlendirilmesi, bakımı, tamiri, onarımı, güçlendirilmesi, risk analizi gibi birçok güncel konu da inşaat mühendisliği müfredatlarına girmiştir.

İnşaat mühendisinin projenin uygulama aşamasında en yoğun etkileşimde olduğu disiplin mimarlıktır. Mimari proje tasarlanırken en önemli noktalardan biri olan taşıyıcı sistemin tasarlanması ve projede yapılacak değişikliklere göre modifikasyonlarının sağlanması, mimarların ve inşaat mühendislerinin birlikte çalışma kültürünü geliştirmesine bağlıdır. Bu nedenle her iki disiplinin erken tasarım aşamasında ortak bir dil ve terminoloji geliştirmeleri projenin ilk aşamasından sonuç ürüne kadar disiplinlerarası bir çalışma yürütmeleri gerekir.

Li ve diğ. (2015) disiplinler arası çalışmayı; temel anlayışı geliştirmek, uzmanlaşmış bilgiye ulaşmak ve tek bir disiplinin kapsamı dışındaki sorunları çözmek için bilgiyi, veriyi, teknikleri, araçları, bakış açılarını ve kavramları iki veya daha fazla disiplinden alarak entegre etmek olarak tanımlamıştır [6]. Disiplinlerarası öğretimi ise Jacobs, bir temanın, kavramın, problemin incelenmesi için birden fazla disiplinin yöntem ve bilgisinden yararlanan program anlayışıdır şeklinde tanımlarken [7], Erickson ise "bir kavramın farklı disiplinlerdeki kavramsal bütünleşmesi" olarak tanımlamaktadır [8]. Disiplinlerarası öğretime ilişkin çalışmaların gerekliliği son yıllarda daha çok farkına varılan bir konudur. Örneğin, Saliksis ve ark. (2009), mimarlık ve mühendislik öğrencilerinin stüdyolarında yürüttükleri çalışma sonucunda öğrencilerin tasarım değerleri, tasarım etiği ve disiplinlerarası çalışmalar konusunda teşvik edilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır [9]. Yazarlar çalışmalarında, Robert Maillart, Felix Candela, Pier Luigi Nervi and Fazlur Khan gibi son yüzyılın parlak yapı tasarımcıları için yaptıkları yapısal mantık tanımlarıyla ilham alma ve ilham verme gücünü hala ellerinde tuttuklarını da vurgulamışlardır [9]. Söz konusu tasarımcıları ve kurdukları yapısal mantığı incelediğimizde mimarlığın ve inşaat mühendisliğinin birbirinden ayrı düşünülemez birer disiplin olduğunu görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, Türkiye'de mimarlık ve inşaat mühendisliği eğitiminde disiplinlerarası ilişkilerin ne kadar ve ne düzeyde öğretildiğini tespit etmeye çalışmak için üç farkı üniversitenin ders katalogları incelenmiştir.

3.Materyal ve Metot

Çalışmanın bu aşamasında Türkiye'deki mimarlık ve inşaat mühendisliği eğitimi İTÜ, Akdeniz Üniversitesi ve Çankaya Üniversitesi üzerinden değerlendirilecektir. Bir teknik üniversite, bir devlet üniversitesi ve bir de vakıf üniversitesi olmak üzere üç eğitim süreci incelenmiştir. Bu incelemeler, üniversitelerin internet sitelerinde yayınladığı bilgiler doğrultusunda elde edilen

veriler üzerinden yapılmıştır. Disiplinlerarası ders sayısının belirlenmesi için mimarlık ve inşaat mühendisliği eğitim müfredatları taranmış, ders ismi ve içeriklerinde belirlenen anahtar sözcüklere bağlı olarak bir ayrıştırmaya gidilmiştir [10-15]. İsminde ve içeriğinde bu anahtar sözcüklere sahip olan dersler, disiplinlerarası olarak kabul edilip, çalışma bu temel kabul üzerine şekillendirilmiştir (Tablo1-Tablo 4).

4. Bulgular

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa üç üniversitede de mimarlık ve inşaat mühendisliği bölümlerinde Matematik, Yabancı Dil, Türk Dili ve Edebiyatı, Atatürk İlkeleri ve İnkilap Tarihi ortak dersler olarak görünmektedir. Meslek dersleri kapsamında inceleme yapılacak olursa İTÜ'de ortak olarak görülen zorunlu dersler Statik, Mukavemet, Betonarme, Yapım Yönetimi Ve Yapı Malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Her iki bölümün seçmeli ders havuzu incelendiğinde ise ortak ders olmadığı görülmüştür. Ancak her iki havuzda da her iki bölüm öğrencilerinin birbirlerinin bölümünden (nondepartmental elective) alabileceği seçmeli dersler bulunmaktadır. Bunlar sırayla mimarlıkta; Yapı Malzemesi, Mimarlıkta Beton Teknolojileri, Yüksek Yapılar, Dış Duvar Sistemleri, Mimarlıkta Yapı Sistemleri, Bina Alt Yapısı ve Zemin, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Bina Yapım Teknikleri iken İnşaat Mühendisliği Bölümünde ise Yapıların Yalıtımı ve Korunması, Ahşap Yapılar, Yapısal Yangın Güvenliği, Bina Tasarım Yönetimi, Yapı Sistemlerinde Enerji Metodlarıdır. Akdeniz Üniversitesi'ni incelediğimizde zorunlu dersler arasında ortak olarak Statik dersi bulunmaktadır. Seçmeli ders havuzunda ise ortak olarak Proje Yönetimi dersi yer almaktadır. Ayrıca yine her iki bölüm öğrencilerinin birbirlerinin bölümünden alabileceği dersler listelenecek olursa mimarlıkta; Malzeme ve Taşıyıcı Sistemler, Geleneksel Yapı Konstrüksiyonu, Asma-Germe Sistemler, Yapı Konstrüksiyonu, Bina Maliyeti Yönetimi, Çağdaş Yapı Sistemleri iken İnşaat Mühendisliği Bölümünde ise; Sanat Tarihi, Uygarlık Tarihi, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği, Mimarlık Bilgisi, Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım İlkeleri dersleri bulunmaktadır. Son olarak Çankaya Üniversitesi incelendiğinde zorunlu dersler arasında ortak olanlar; Teknik Çizim, Statik, Mukavemet ve Yapı Malzemesi iken, seçmeli ders havuzunda ortak olan Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımıdır. Yine seçmeli dersler havuzlarında birbirlerinden alabilecekleri derslere bakılacak olursa Mimarlık bölümünde Yeşil Bina Sertifika Sistemleri iken, İnşaat Mühendisliği Bölümünde ise Yüksek Binaların Tasarımı ve Proje Yönetimi dersleridir.

nbul Teknik Üniversitesi		Akdeniz Üniversitesi		Çankaya Üniversitesi	
156 240	**TOPLAM KREDİ :** 156.5 **TOPLAM AKTS :** 237	**TOPLAM KREDİ :** 166 **TOPLAM AKTS :** 227	**TOPLAM KREDİ:** 181 **TOPLAM AKTS :** 240	**TOPLAM KREDİ :** 163 **TOPLAM AKTS :** 240	**TOPLAM** **TOPLAM**
	1.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	1.Yarıyıl Mimarlık	1.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	1.Yarıyıl Mimarlık	1.Yarıyıl İ
z.&Tch.Dr sual Arts Course(IT	**Ders Adı** Physics I Physics I Laboratory General Chemistry I General Chemistry I Lab Int to Comp and Inf Systems Mathematics I Technical Drawing English Course I	**Ders Adı** Atatürk lkeleri ve İnkılap Tarihi I Mimari Tasarım I ve İfade Teknikleri Temel Tasarım Mimarlıkta Bilgisayar Uygulamaları-I Mimarlığa Giriş Matematik Türk Dili 1 Yabancı Dil	**Ders Adı** Temel Bilgisayar Ve Algoritma Bilgisayar Uygulamalı Teknik Resim İnşaat Mühendisliğine Giriş Fizik I Genel Kimya Matematik Türk Dili İngilizce	**Ders Adı** Basic Design Introduction to Architecture Technical Drawing Free-Hand Drawing Academic English I Turkish I Principles of Kemal Atatürk I Geometry for Architects	**Ders Adı** İnşaat Müh Bilgisayar Kimya I Fizik I Mühendisl Matematik Etik ve So Türkçe I Akademik
	2.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	2.Yarıyıl Mimarlık	2.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	2.Yarıyıl Mimarlık	2.Yarıyıl İ

Systems struction s zation&Pe	**Ders Adı** Physics II Physics II Lab Statics Mathematics II Intr. to Sci. & Eng.Computing 2thSmstr ElectiveCourse(ITB) English Course II	**Ders Adı** Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi II Mimari Tasarım II Mimari Desen Ve Perspektif Mimarlıkta Bilgisayar Uygulamaları II Yapı Bilgisi Mimari Ölçme Bilgisi Türk Dili 2 Yabancı Dil	**Ders Adı** Statik Bilgisayar Programlama İnşaat Mühendisliğinde Jeoloji Fizik II Lineer Cebir Ve Vektör Analizi Matematik II Türk Dili II İngilizce II	**Ders Adı** Introduction to Architectural Design Architectural Drawing Architectural History I Introduction to Engineering Mechanics Academic English II Turkish II Principles of Kemal Atatürk II	**Ders Adı** İnşaat Müh Mühendisl Fizik II Mühnedisl Matematik Bilgisayar Giriş Türkçe II Akademik

Tablo 1. İTÜ, Akdeniz Üniversitesi ve Çankaya Üniversitesi Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği 1. ve 2. Yarıyıl Lisans Müfredatları

anbul Teknik Üniversitesi		**Akdeniz Üniversitesi**		**Çankaya Üniversitesi**	
	3.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	3.Yarıyıl Mimarlık	3.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	3.Yarıyıl Mimarlık	3.Yarıyıl İ

chitecture on	**Ders Adı** Differential Equations Dynamics Materials Science Strength of Materials I Türk Dili I Geology for Civil Engineers 3rd Sem. Elective Courses	**Ders Adı** Mimari Tasarım III Mimari Alan Araştırması Stajı Mimarlık Tarihi I Yapı ve Yapım Yöntemleri I Mimarlık ve Strüktürel Sistemler I	**Ders Adı** Mukavemet I Dinamik Sayısal Analiz Ölçme Bilgisi Yapı Elelmanları Diferansiyel denklemler Atatürk İlkeleri ile İnkilap Tarihi I	**Ders Adı** Architectural Design Studio I Construction Systems I Architectural History II Behavior and Analysis of Structures Building Science I Computer Aided Design I Materials of Architectural Construction	**Ders Adı** Mühendisl Mühendisl Malzeme Vektörel A Cebir Sosyal Bili Coğrafi Bi
	4.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	4.Yarıyıl Mimarlık	4.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	4.Yarıyıl Mimarlık	4.Yarıyıl İ
rchitecture IV esign rol Studio	**Ders Adı** Fluid Mechanics Strength of Materials II Surveying Türk Dili II Building Materials English III 4thSemester Elective Courses	**Ders Adı** Mimari Tasarım IV Peyzaj Tasarımı Mimarlık Tarihi II Yapı ve Yapım Yöntemleri II Mimarlık ve Strüktürel Sistemler II Rölöve Uygulama Teknikleri	**Ders Adı** Mukavemet II Yapı Malzemeleri Akışkanlar Mekaniği Yapı Statiği I Toprak İşleri ve Demiryolu Mühendislikte İstatistik Ekonomi Atatürk İlkeleri ve İnkilap Tarihi II	**Ders Adı** Architectural Design Studio II Construction Systems II Architectural History III Innovative Structural Applications Building Science II Computer Aided Design II Summer Practice: Building Site I	**Ders Adı** Cisimlerin Mühendisl Dinamik Olasılık ve Yapı Malz Akışkanlar Diferansiy Giriş

Tablo 2. İTÜ, Akdeniz Üniversitesi ve Çankaya Üniversitesi Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği 3. ve 4. Yarıyıl Lisans Müfredatları

Tablo 3. İTÜ, Akdeniz Üniversitesi ve Çankaya Üniversitesi Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği 5. ve 6. Yarıyıl Lisans Müfredatları

anbul Teknik Üniversitesi		**Akdeniz Üniversitesi**		**Çankaya Üniversitesi**	
	5.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	5.Yarıyıl Mimarlık	5.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	5.Yarıyıl Mimarlık	5.Yarıyıl İ
n V Systems tecture ing Law ld.&Sites	**Ders Adı** Hydraulics Earthwork and Railway Eng Theory of Structures I Construction Management Soil Mechanics I Probability and Statistics 5thSemester Elective Courses	**Ders Adı** Mimari Tasarım V Kentsel Planlama Mimarlık Tarihi III Mimari Uygulama Projesi I Mekanik Sistemler Koruma ve Restorasyon	**Ders Adı** Zemin Mekaniği I Yapı Statiği II Betonarme I Hidrolik Yapı İşletmesi Karayolu Mühendisliği Hidroloji	**Ders Adı** Architectural Design Studio III Construction Systems III Architectural History IV Principles of City Planning Heritage Consciousness and Conservation Departmental Elective	**Ders Adı** Hidrolik Yapı Statiğ Geoteknik İnşaat Müh Sayılsal Yö Yapım İşle Atatürk İlk Tarihi I Yapı Stajı
	6.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	6.Yarıyıl Mimarlık	6.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	6.Yarıyıl Mimarlık	6.Yarıyıl İ

VI Restrtn Std nt &	**Ders Adı** Reinforced Concrete I Foundation Engineering I Hydrology Highway Engineering Theory of Structures II Health&Safety in Construction 6thSemester Elective Courses	**Ders Adı** Mimari Tasarım VI Kentsel Tasarım Mimari Uygulama (ŞANTİYE) Stajı-I Mimari Uygulama Projesi II Enerji ve İletişim Sistemleri Fiziksel Çevre Kontrolü	**Ders Adı** Betonarme II Çelik Yapılar Temel İnşaatı Su Kaynakları Şantiye Tekniği ve iş Güvenliği	**Ders Adı** Architectural Design Studio IV Urban Design Contemporary Architectural Theories Heritage Documentation Elective Courses Summer Practice: Building Site II	**Ders Adı** Su Kaynak Betonarme Temel Mü Ulaşım Mü Sosyal Bili Atatürk İlk CE Teknik

İstanbul Teknik Üniversitesi		**Akdeniz Üniversitesi**	
7.Yarıyıl Mimarlık	7.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	7.Yarıyıl Mimarlık	7.Yarıyıl İnşaa
Ders Adı Atatürk İlk & İnkılap Trh I Architectural Design VII Construction Project 7th Elective Courses	**Ders Adı** Atatürk İlk & İnkılap Trh I Reinforced Concrete II Economics Water Resources Water Sup.and Environ.San. Steel Structures I 7thSemester Elec.Courses	Ders Adı Mimari Tasarım VII Mimari Uygulama (OFİS) Stajı-II İmar Mevzuatı	**Ders Adı** Su Temini ve Seminer Çalış
8.Yarıyıl Mimarlık	8.Yarıyıl İnşaat Mühendisliği	8.Yarıyıl Mimarlık	8.Yarıyıl İnşaa

Ders Adı Atatürk İlk & İnkılap Trh II Graduation Project 8th Elective Courses	**Ders Adı** Atatürk İlk & İnkılap Trh II Engineering Design Pro. İş Hukuku Engineering Ethics 8th Elective Courses	**Ders Adı** Mimari Tasarım VIII (Bitirme Projesi) Proje ve Yapım Yönetimi	**Ders Adı** Bitirme Çalışm İş Hukuku Birim Dışı Uyg
İlgili Seçmeli Dersler	İlgili Seçmeli Dersler	İlgili Seçmeli Dersler	İlgili Seçmeli
Ders Adı Concrete Tech.in Arch Tall Building Structures External Wall Systems Roof Systems Buildng Sub-Structure & Ground Earthquake Res. Building Dsg.	**Ders Adı** Yapıların Yalıtımı & Korunması Ahşap Yapılar Yapısal Yangın Güvenliği Bina Tasarım Yönetimi Yapı Sistem. Enerji Metodları	**Ders Adı** Malzeme ve Taşıyıcı Sistemler Geleneksel Yapı Konstrüksiyonu Asma-Germe Sistemler Yapı Konstrüksiyonu Bina Maliyet Yönetimi Çağdaş Yapı Sistemleri Proje Yönetim Stratejileri	**Ders Adı** Sanat Tarihi Uygarlık Tarih İşçi Sağlığı Ve Mimarlık Bilg Depreme Daya Tasarım İlkele Proje Yönetim

Tablo 4. İTÜ, Akdeniz Üniversitesi ve Çankaya Üniversitesi Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği Lisans 7. ve 8. Yarıyıl Müfredatları

5. Sonuç ve Öneriler

Tüm bu verilere göre incelenen üç üniversitede disiplinlerearası derslerin kredisinin toplam krediye oranına baktığımızda İTÜ de bu oran %13.65, Akdeniz Üniversitesi'nde %10.84 ve Çankaya Üniversitesi'nde ise %14.11'dir. Elde edilen bu oranların profesyonel hayatta birbiriyle çok yakın etkileşim içinde olacak olan mimarlar ve inşaat mühendisleri lisans eğitimleri için düşük oranlar olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Disiplinlerarası Derslerin Krerdilerinin Toplam Kredilere Oranları

	İTÜ	Akdeniz Üniversitesi	Çankaya Üniversitesi
Toplam Ortak Ders Kredisi	21.5	18	23
Toplam Kredi	156	166	163
Ortak ders kredi toplamının toplam krediye oranı	%13.65	% 10.84	% 14.11

Yapıcı mesleklerin yüksek öğretiminin ülkemizde ilk kurulduğu zamanlarda ortak derslerin çok daha fazla olduğu hatta iki mesleğin ortak eğitim ve diploma aldığı modeller uygulanmaktayken, zaman içinde eğitim sistemlerinin içeriklerindeki yanlış yönlenmelerle bir uçuruma dönüşmeye başladığı söylenebilir. Oysaki her iki meslek de birbirine ihtiyaç duyan, iletişimde bulunmaları gereken mesleklerdir. Ancak söz konusu analizlerden de görüldüğü gibi bu iletişimin nasıl kurulacağını lisans eğitimi boyunca yeterli düzeyde öğrenememektedirler. Gelecekte daha sağlıklı bir yapılı çevrenin üretilmesi için öğrencilerin disiplinlerarası ilişkileri okul döneminde deneyimleyebileceği kısmen ortak bir eğitim kurgusunun geliştirilmesi gereklidir. Disiplinlerarası derslerin arttırılması, ortak seçmeli ders havuzu oluşturulması, ortak stüdyoların planlanması gibi takım çalışmasını güçlendiricek ve öğrencileri profesyonel hayata hazırlayacak ortamların sağlanması her iki disiplin için de faydalı olacaktır.

6. Kaynakça

1. De Prony, M. (1796). *Nouvelle Architecture Hydraulique*, Didot Press: Paris.
2. Nair, G. (2008). *Bilgi Toplumu ve Türkiye*, Gündoğan Yayınları, İstanbul.
3. Ersoy, U. (2009). *İnşaat Mühendisliği Eğitiminde Sorunlar, Nedenleri Ve Çözüm Yolları*, 1. İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Antalya.

4. K. T. McPeek, (2009). *Collaborative Design Pedagogy: A naturalistic Inquiry of Architectural Education,* Texas A&M University.
5. Güney, D. (2009). *İnşaat Mühendisliği Eğitiminde Disiplinlerarası Çalışma Eksikliğinin Giderilmesi*, 1. İnşaat Mühendisliği Eğitimi Sempozyumu, Antalya.
6. Li, T., Raghunath, N., Otto, K., Arpak, A., Nanayakkara, S., Telenko, C. (2015). *Teaching Interdisciplinary Design Between Architecture And Engineering: Finding Common Ground While Retaining Disciplinary Expertise*, Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conference & Computers and Information in Engineering Conference IDETC, Boston, MA, USA.
7. Jacobs, H.H. (1989). *Design Options For An Integrated Curriculum,* H.H. Jacobs (Ed). Interdisciplinary Curriculum: Design and Implementation. Alexandria, VA: ASCD.
8. Erickson, H.L. (1995). *Stirring the Head, Heart, and Soul (Redefining Curriculum and Instruction),* California: Corwin Press, Inc.
9. Saliklis, E. P., Arens, R. and Hanus., J. (2009). *Teaching architects and engineers: Up and down the taxonomy,* American Society for Engineering Education, AC 2009-2.
10. Akdeniz Üniversitesi, *Mimarlık Bölümü Ders Planı*, http://mimarlikbolumu.akdeniz.edu.tr/ders-katalogu/, Erişim tarihi: 19.05.2019
11. Akdeniz Üniversitesi, *İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders Planı*, http://insaat.akdeniz.edu.tr/wp-content/uploads/2019/03/2018-19-YILI-L%C4%B0SANS-DERSLER-KATALOGU-%C4%B0N%C5%9EAAT-son.pdf, Erişim tarihi: 19.05.2019
12. Çankaya Üniversitesi, *Mimarlık Bölümü Ders Planı*, http://arch.cankaya.edu.tr/lisans-mufredatlari/, Erişim tarihi: 19.05.2019
13. Çankaya Üniversitesi, *İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders Planı*, http://ce.cankaya.edu.tr/ders_programi_2017.html, Erişim tarihi: 19.05.2019
14. İTÜ, *Mimarlık Bölümü Ders Planı*, http://www.sis.itu.edu.tr/tr/dersplan/plan/MIM/201810.html, Erişim tarihi: 19.05.2019
15. İTÜ, *İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders Planı*, http://www.sis.itu.edu.tr/tr/dersplan/plan/INS/201310.html, Erişim tarihi: 19.05.2019
16. *Mühendishane-i Berri-i Hümayun Sahra Topçu Talebeleri*, https://www.flickr.com/photos/sunumer/3653888848, Erişim Tarihi: 22.05.2019

Ofis Binalarında İç Mekan Hava Kalitesi ve Kullanıcı Memnuniyetinin Değerlendirilmesi

Işılay Tekçe [1], Esin Ergen [2], Deniz Artan [3]

[1]Mimarlık Fakültesi,Özyeğin Üniversitesi, Türkiye
[2,3]İnşaat Mühendisiği Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
Eposta: isilay.tekce@ozyegin.edu.tr, esin.ergen@itu.edu.tr, artande@itu.edu.tr

Özet

Bu araştırma, ofis kullanıcılarının iç mekan hava kalitesini nasıl algıladıkları ile ilgili tasarımcılara, tesis yöneticilerine ve karar vericilere fikir vermeyi amaçlamaktadır. İlk adımda, ofis binalarında iç mekan hava kalitesini ölçmek için kullanılabilecek ana kriterleri belirlemek için ayrıntılı bir literatür analizi yapılmıştır. İkinci adımda, 12 ofis binası yöneticisi ile görüşmeler yapılmış ve iç mekan hava kalitesi ilgili iş emirleri tesis bakım/onarım yönetimi yazılım sistemlerinden derlenmiştir. Sonuç olarak, iç mekan hava kalitesiyle ilgili olarak kullanıcı geri bildirimlerinin ve şikayet sebeplerinin bir listesi belirlenmiş ve hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur. Üçüncü adımda, (1) iç hava kalitesi kriterlerindeki önem ve memnuniyet seviyelerini ve (2) her şikayet türünde şikayeti olan katılımcı sayısını belirlemek için 61 ofis çalışanı ile bir anket yapılmıştır. Bulgular, iç mekan hava kalitesi rahatsızlığının ardındaki ortak şikayet sebeplerini ve düşük iç mekan hava kalitesinin memnuniyet değerlendirmesi açısından sonuçlarını göstermektedir. Kullanıcıların en çok ofis binalarında doğal havalandırma bulunmamasından memnun olmadığı ve koku kriterinde ise diğer koku kaynakları ile karşılaştırıldığında yemek kokusundan en çok rahatsız olunduğu belirlenmiştir.

Keyword(s): Indoor air quality, office buildings, occupant satisfaction.

1. Giriş

İç Mekan Hava Kalitesi, ofislerde kullanıcıların konforunun ve memnuniyetinin dolayısıyla ofis binası tasarımının en önemli bileşenlerindendir. Ayrıca, iç mekân hava kalitesinin, insan (TS CR Standart-1752, 2002) sağlığı üzerinde hem kısa vade de (akut) hem de uzun vade de (kronik) olumsuz etkileri olabilmektedir (BS ISO Standart-16814, 2008). (BS ISO Standart-16814, 2008) standartı, kabul edilebilir hissedilen iç mekân hava kalitesini, ortamda bulunan insanların büyük bir çoğunluğunun duyusal rahatsızlıklardan ve kokudan kaynaklanan tatminsizlik belirtmediği hava kalitesi olarak tanımlar.

Bu araştırmanın amacı, ofis kullanıcılarının iç mekan hava kalitesi ile ilgili memnuniyet düzeylerini belirlemek ve ilişkili şikayet sebeplerini analiz ederek, tasarımcılar, tesis yöneticileri ve karar vericiler için kullanışlı bilgiler elde etmektir. Çalışmada, iç mekandaki taze hava miktari/hava kalitesi, doğal havalandırma (pencereden gelen hava) ve koku konularının önem dereceleri ve memnuniyet değerlendirmeleri sorgulanmıştır. Ayrıca, ofisler

için iç mekan hava kalitesi kriterleri ve şikayet türleri belirlenerek, kötü iç mekan hava kalitesi ve konforsuzluğun ardındaki ortak nedenler ortaya konmuştur.

2. İç Mekan Hava Kalitesi ve Kullanıcı Memnuniyeti

İç mekan hava kalitesi, kullanıcıların sağlığı üzerindeki kısa ve uzun dönemli etkileri açısından önemli bir husustur (Wargocki et al., 2002). Kabul edilebilir "iç ortam hava miktarı ve hava kalitesi"nin gereksinimlerinin karşılanması için iki temel strateji bulunmaktadır. İlki havalandırma miktarını arttırarak kirleticilerin konsantrasyonunu azaltarak, solunan havanın sağlık riskinin ihmal edilebilir hale getirilmesi; ikincisi ise kirletici kaynağını kontrol altına alarak konsantrasyonu belirli bir seviyenin altına düşürmek ya da kaynağı ortadan kaldırmaktır (Daisey ve diğ., 2003).

Havalandırma, mekanik veya doğal olarak ortama hava sağlanması veya ortamdan hava emilmesi olarak tanımlanmaktadır (BS ISO Standart-16814, 2008). Brager ve Borgeson (2010), mekanik havalandırmanın yanında manuel ya da otomatik "doğal havalandırma"ya olanak sağlayan binalardaki kullanıcı konforunun, doğal havalandırmaya olanak sağlamayan binalara göre genellikle daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Düzgün tasarlanmış bir doğal havalandırma, sistemin uygun şekilde tasarlanması durumunda soğutma açısından önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlarken; (Brager ve Borgeson, 2010) doğal olarak havalandırılan ofislerin kullanıcılarının yapay havalandırılan ofislere kıyasla da daha az hasta bina sendromu belirtileri göstermektedirler (Seppanen ve Fisk, 2002).

Kullanıcıların fizyolojik ve psikolojik durumları ve kişisel farklılıklarınında iç ortamdaki çevresel faktörlere bağlı memnuniyet düzeylerini yüksek oranda etkilediği hatırda tutulmalıdır (Wyon, 1997). Bu duruma örnek olarak, kendilerini düşük iç mekan hava kalitesine karşı daha hassas olarak niteleyen kişilerin, algılanan iç mekan hava kalitesinden daha çok şikayetçi olmaları (Wargocki, 1998) verilebilir. Ayrıca, iç mekân hava kalitesine bağlı iş performansındaki değişimin zihinsel verimlilik gerektiren işlerin örneğin yazı yazmak gibi fiziksel bir işe göre daha yüksek oranda etkilendiği belirlenmiştir (Kosonen ve Tan 2004b).

Ofis ortamlarındaki, bina havalandırma sistemi yoluyla gelen araç egzozu, duman, ısıtma radyatörleri sızıntısı, bina içi veya yakındaki dış mekan inşaat faaliyetleri, bina hava girişleri yakınında sigara içilmesi, duvarların içindeki su sızıntılarından veya küflenme, bozulmuş yiyecekler ve yüksek uçucu organik bileşenler (VOC) değeri içeren malzeme seçimine bağlı olmaya kadar çeşitlenebilen kalıcı veya kronik rahatsız edici kokular iç mekan hava kalitesini etkilerler. Ofis kullanıcılarının farklılık gösteren psikolojik ve fizyolojik durumları insan vücudunun iç ortam hava kalitesine de farklı tepkiler vermesi sonucunu doğurur (Bluyssen ve diğerleri, 2011). Bu durum, iç mekan hava kalitesi parametreleri ile birlikte kullanıcı memnuniyetini dikkate alan kullanıcı memnuniyeti anketlerinin de geliştirilmesine yol açmıştır (Andersen ve ark., 2009). Bununla birlikte, farklı mevcut yaklaşımları ve kullanıcılar için standart anketleri daha fazla değerlendirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

3. Metodoloji/Yöntem

Metodolojinin ilk adımı, ofis binalarında iç mekan hava kalitesinin ölçümünde kullanılabilecek ana kriterleri belirlemek için ayrıntılı bir literatür analizini içerir. Bu analiz kapsamında, bina performans değerlendirme sistemleri ve kullanım sonrası değerlendirme anketlerinden iç mekan hava kalitesi kriterleri belirlenmiştir. Bulguların analizinde frekans/sıklık analizi ve normatif çıkarsama teknikleri kullanılmıştır. Kulanılan kriterler ve ilişkili referansları literatür bölümünde verilmiştir.

İkinci adımda, 12 ofis binası yöneticisi ile görüşmeler yapılmış ve iç mekan hava kalitesi ilgili iş emirleri tesis bakım/onarım yönetimi yazılım sistemlerinden derlenmiştir. Sonuç olarak, iç mekan hava kalitesi ile ilgili kullanıcı geri bildirimleri ve şikayet türleri belirlenerek 1. adımda belirtilen kriterler de kullanılarak hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur. İç Mekan Hava Kalitesi kriterleri için kullanıcı geri bildirimi / şikayetleri listesi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ofis Kullanıcıları İç Mekan Hava Kalitesi Şikayet Sebepleri

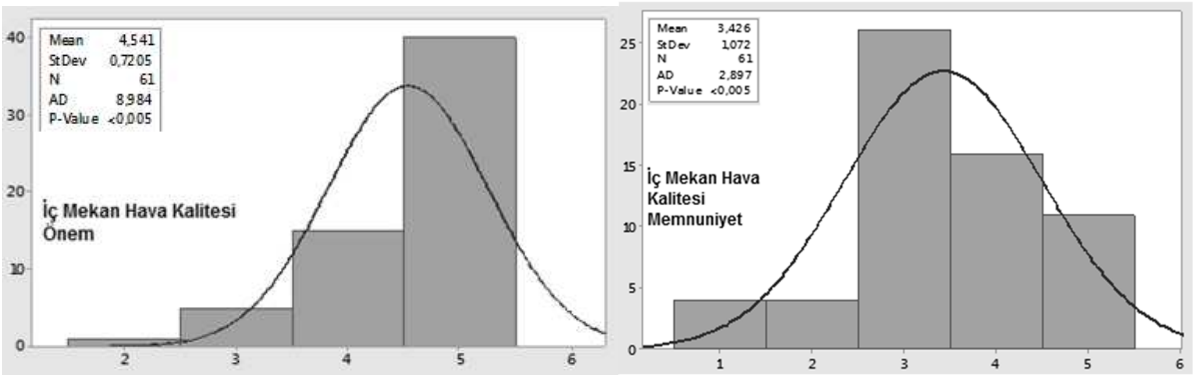
Referanslar	**İç Mekan Hava Kalitesi Kriterleri**	**Ofis Kullanıcıları Şikayet Sebepleri**
(Ackerly ve Brager, 2013; Ahn ve Pearce, 2013; Atkins ve Emmanuel, 2014; Azar ve Menassa, 2016; Brown ve Gorgolewski, 2014; Brown ve Cole, 2009; Calis ve diğ., 2015; Candido ve diğ., 2016; Goins ve Moezzi, 2013; Gou ve diğ., 2014; Gultekin ve diğ., 2014; Hauge ve diğ., 2011; Heerwagen ve Zagreus, 2005; Jazizadeh ve diğ., 2013; Kato ve diğ., 2009; Kavgic ve diğ., 2008; Langston ve diğ., 2008; Leaman ve Bordass, 2001; Leder ve diğ., 2016; Lee ve diğ., 2015; Meir ve diğ., 2009; N. Driza ve Park, 2014; Newsham ve diğ., 2013; Paul ve Taylor, 2008; Pheng Low ve diğ., 2014; Preiser ve Vischer, 2006; Rashid ve diğ., 2012; Salleh ve diğ., 2015; Seshadhri ve Topkar, 2014; Singh ve diğ., 2010; Voelker ve diğ., 2013; Zagreus ve diğ., 2004; Zalejska-Jonsson, 2014)	İç mekandaki taze hava miktarı / hava kalitesi	Havalandırma sisteminden gelen hava kalitesi Dış ortamdan gelen havanın kalitesi
(Afacan ve Demirkan, 2016; Ahn ve Pearce, 2013; Azar ve Menassa, 2016; Brager ve Baker, 2009; Brown ve Gorgolewski, 2014; Calis ve diğ., 2015; Chen ve Ahn, 2014; Gou ve diğ., 2014; Gultekin ve diğ., 2014; Hajdukiewicz ve diğ., 2013; Hauge ve diğ., 2011; Healey ve Webster-Mannison, 2012; Heerwagen ve Zagreus, 2005; Kavgic ve diğ., 2008; Laquatra ve diğ., 2008; Leaman ve Bordass, 2001; Meir ve diğ., 2009; Menadue ve diğ., 2014; Mishra ve Ramgopal, 2015; Paul ve Taylor, 2008; Preiser ve Vischer, 2006; Singh ve diğ., 2010; Voelker ve diğ., 2013; Wilkinson ve diğ., 2011)	Doğal havalandırma (Pencereden gelen hava)	Yeteri kadar doğal havalandırma sağlanamaması Doğal havalandırmanın kontrol edilememesi
(Brown ve Gorgolewski, 2014; Kavgic ve diğ., 2008; Meir ve diğ., 2009; Nahmens ve diğ., 2014; Voelker ve diğ., 2013; Zalejska-Jonsson, 2014)	Koku	Dış ortam kokusu Hava kirliliği kokusu Malzemelerin kokusu Yemek kokusu Tuvalet kokusu Rutubet kokusu

İç mekan hava kalitesi ilgili kriterler ve olası şikayet türlerini belirledikten sonra, üçüncü adımda (1) iç mekan hava kalitesi konfor kriterlerinde önem ve memnuniyet seviyelerini ve (2) şikayette bulunan katılımcıların sayısını belirlemek için İstanbul'da yer alan 12 ofisin 61 ofis çalışanı ile anket yapıldı.

Çalışmada, kullanıcıların iç mekandaki taze hava miktarı / hava kalitesi, doğal havalandırma (pencereden gelen hava) ve koku kriterlerinin memnuniyetlerini belirlemedeki önem dereceleri (1: Hiç önemli değil - 2: Önemli Değil - 3: Nötr - 4: önemli 5: Çok önemli) ve memnuniyet düzeyleri (1: Hiç memnun değilim - 2: Memnun değilim - 3: Nötr - 4: Memnunum - 5: Çok memnunum) şeklindeki 5 puanlık Likert Ölçeği kullanılarak sorgulanmıştır. Kullanıcılara son olarak ofislerindeki iç mekan hava kalitesinden genel memnuniyet düzeyleri sorulmuştur. Elde edilen verilere normallik dağılımı incelemesi için Anderson-Darling testi (Minitab yazılımı ile), güvenilirlik sınaması (Cronbach's Alpha Coefficient) istatistiki analiz prosedürü ve Spearman korelasyon testi uygulanmıştır. Anketlerden elde edilen sonuçlar bulgularda sunulmuştur.

4. Bulgular

Çalışmaya katılan ofis kullanıcılarının % 41'i kadın, % 59'u erkektir. Ofis kullanıcılarının % 8'i (0-20 kişilik), % 2'si (21-50 kişilik), % 5'i (51-100 kişilik) ve % 51'i (>100kişilik) ofislerde çalışmaktadırlar. Alan çalışmasında iç mekan hava kalitesine ilişkin ofis kullanıcılarının sağladığı iç mekandaki taze hava miktarı/hava kalitesi, doğal havalandırma (pencereden gelen hava) ve koku kriterleri önem ve memnuniyet verilerine normallik değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun için Minitab yazılımında Anderson-Darling testi yapılmıştır. (H_0): veriler normal dağılmıştır, (H_1): Veriler normal dağılmamıştır olarak belirlenmiş ve test sonucunda $p < 0.005$ olduğundan (H_0) reddedilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İç Mekan Hava Kalitesine ait Önem/Memnuniyet Verileri Normallik Analizi

Araştırmada elde edilen yanıtların güvenilirlik düzeylerinin incelenmesinde ise (α) modeli (Cronbach's Alpha Coefficient) istatistiki analiz prosedürü uygulanmıştır. Bu yöntem, ölçekte yer alan k sorunun homojen bir yapı gösteren bir bütünü ifade edip etmediğini araştırır. Alfa (α) katsayısına bağlı olarak ölçeğin güvenirliği aşağıdaki gibi yorumlanır (Kalaycı, Ş, 2009); $0.00 \leq \alpha < 0.40$ (güvenilir değil), $0.40 \leq \alpha < 0.60$ (güvenilirliği düşük), $0.60 \leq \alpha < 0.80$ (oldukça güvenilir) ve $0.80 \leq \alpha < 1.00$ (yüksek derecede güvenilir). Analiz

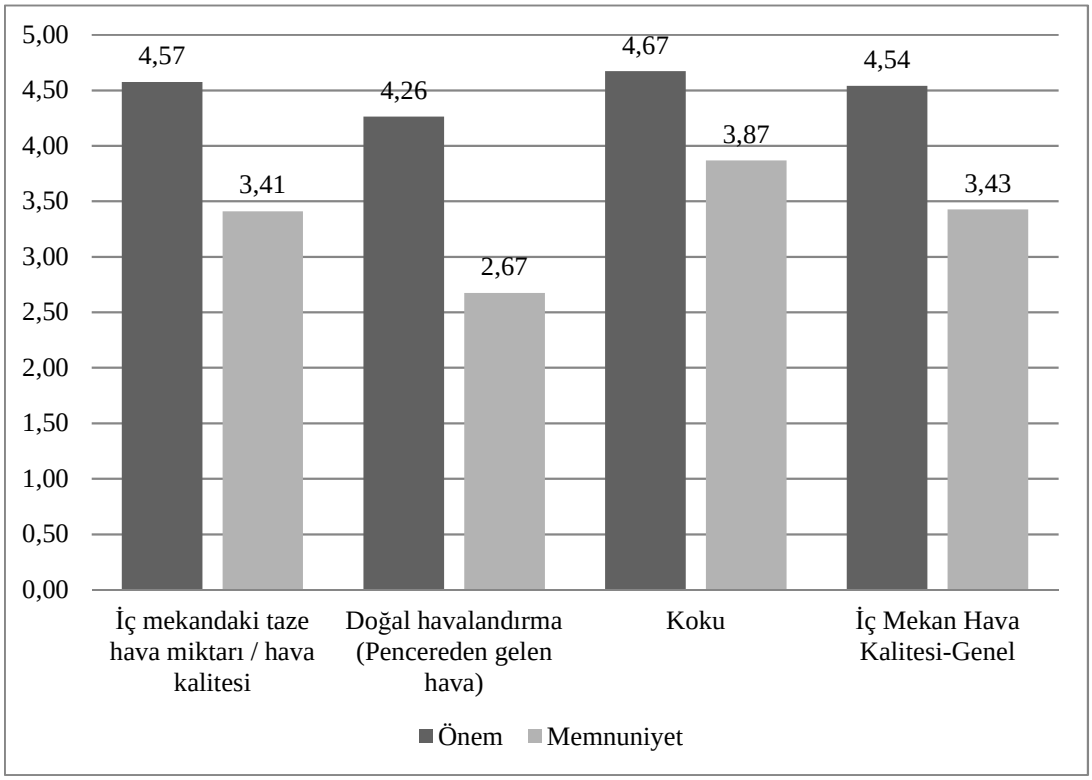
sonuçlarında, Tablo 1.'deki iç mekan hava kalitesi için önem ve memnuniyet düzeyi araştırılan kriterler için güvenilirlik değerleri oldukça güvenilir çıkmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. İç Mekan Hava Kalitesi Kriterleri-Güvenilirlik Analizi

İç Mekan Hava Kalitesi	**Cronbach's alpha (α)**	
Önem Değerlendirmesi	0.7606	oldukça güvenilir
Memnuniyet Değerlendirmesi	0.6751	oldukça güvenilir

Çalışmada elde edilen veriler normal dağılmadığından parametrik olmayan iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ölçmek için kullanılan korelasyon testi SPSS yazılımı ile (Spearman's rho) analiz prosedürü ile yapılmıştır. (H_1): "Ofis kullanıcılarının iç mekan hava kalitesi memnuniyetleri ile ofislerinden genel memnuniyetleri arasında pozitif korelasyon (ρ = 0,720) vardır." (H_1 : ų 1 ≠ ų 2) (çift kuyruk testi) hipotezi test edilmiş ve (Spearman's ρ = 0,720, p = 0,000 p<0.05) bulunarak hipotez kabul edilmiştir.

Ofis kullanıcılarının iç mekan hava kalitesinden memnuniyetleri ile ofislerinden genel olarak memnuniyetleri arasında pozitif orta düzeyde güçlü bir korelasyon gözlenmiştir. İç mekan hava kalitesinden memnuniyetleri düşük olan ofis kullanıcılarının bütünsel olarak ofislerinden genel olarak memnuniyetleri nispeten daha düşüktür. Çalışmaya katılan ofis kullanıcılarının iç mekan hava kalitesine ilişkin önem değerlendirmeleri incelendiğinde tüm kriterlerin önemli bulunduğu ancak kokunun en önemli kriter olarak öne çıktığı belirlenmiştir.

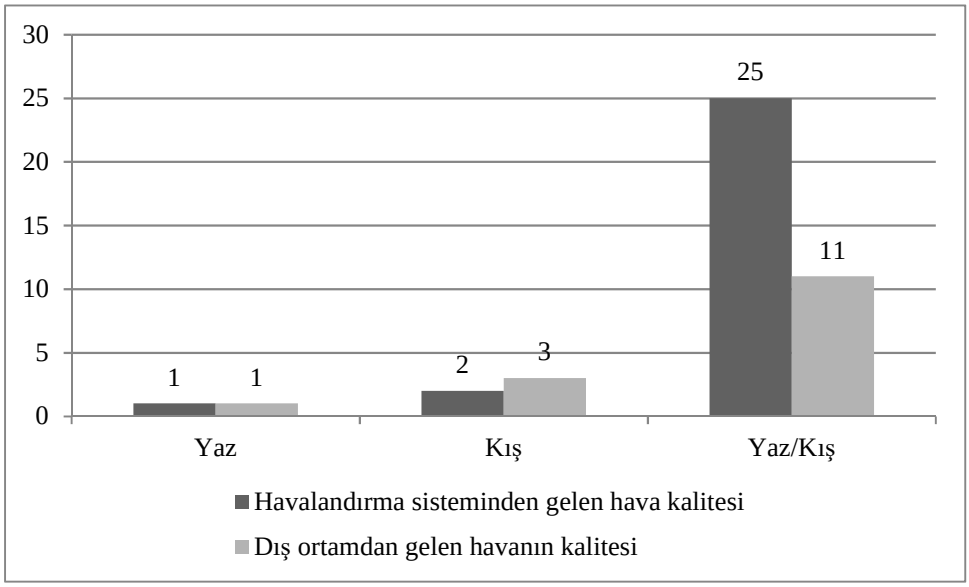


Şekil 2. İç Mekan Hava Kalitesi ile ilgili Ortalama Önem ve Memnuniyet Düzeyleri

Kullanıcılarının memnuniyet düzeyleri incelendiğinde koku kriterinde memnuniyet seviyesinin (3.87) de kıyasla en yüksek olduğu, hava kalitesi ile ilgili diğer kriterlerin genel memnuniyet değerlendirmesi dahil nötr seviyede değerlendirildiği ancak doğal havalandırma (pencereden gelen hava) kriterinde (2.67) kullanıcıların memnun olmadığı görülmüştür (Şekil 2). Ayrıca, bulgular her iç mekan hava kalitesi kriterindeki ortalama önem seviyesinin, ortalama memnuniyet seviyesinden yüksek olduğunu göstermektedir.

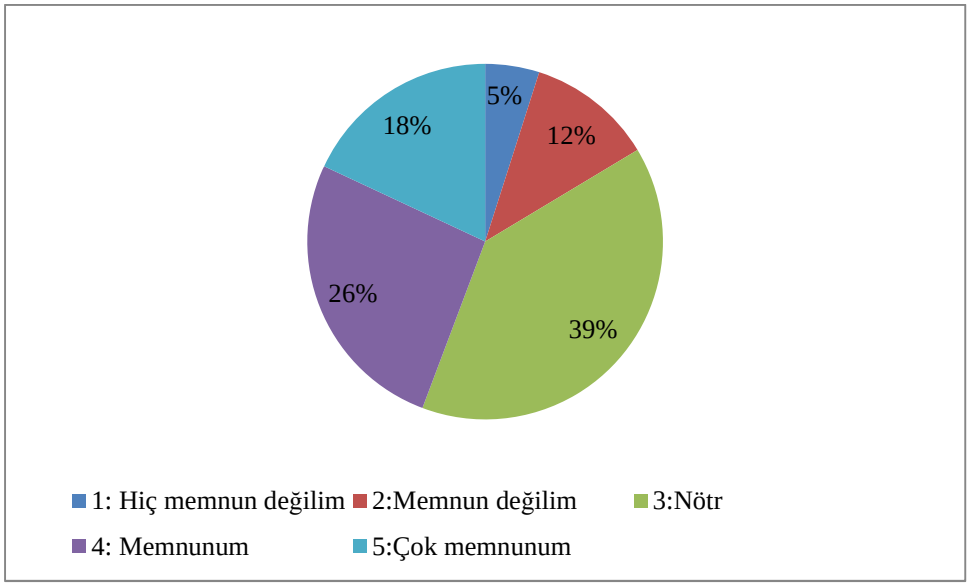
Kullanıcıların iç hava kalitesini belirleyen kriterlerin önem derecelendirmesi sırasıyla koku (4.67), iç mekandaki taze hava miktarı/ hava kalitesi (4.57) ve doğal havalandırma (4.26) olarak belirlenmiştir. Buradan hareketle, koku kriterinin en çok, doğal havalandırma kriterinin en az önem verilen göstergeler olduğu çıkarımı yapılabilirken; doğal havalandırmanın en az, kokunun ise en çok memnun olunan göstergeler olduğu belirlenmiştir.

İç mekandaki taze hava miktarı/hava kalitesi ile ilgili olarak hem yaz hem de kış aylarında havalandırmadan gelen hava kalitesi ve dış ortamdan gelen havanın kalitesi en çok şikayet edilen hususlardır (Şekil 3).



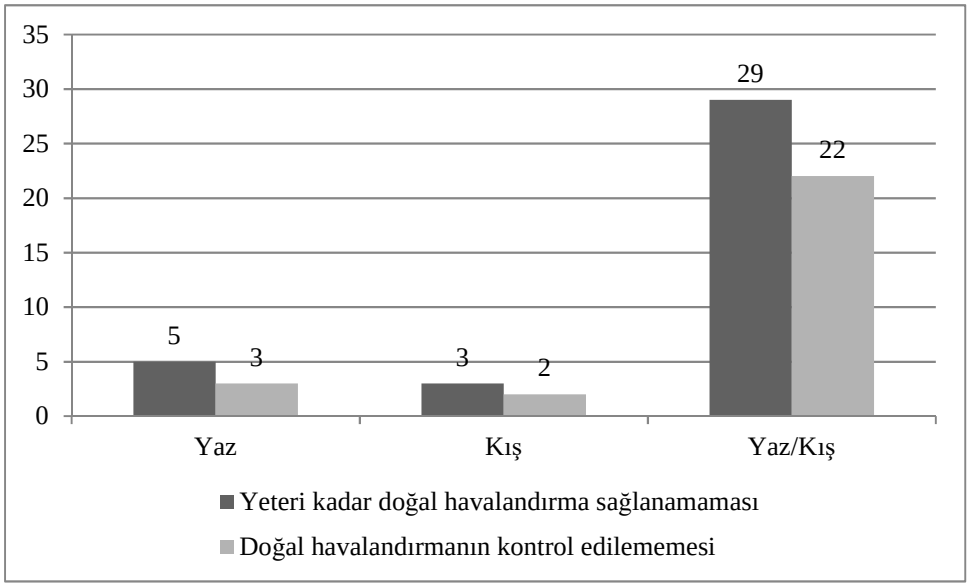
Şekil 3. İç Mekan Hava Kalitesi-İç mekandaki taze hava miktarı / hava kalitesi ile ilgili şikayetler

İç mekandaki taze hava miktarı / hava kalitesi kriteri ile ilgili memnuniyet düzeyleri değerlendirildiğinde araştırmaya katılan ofis kulanıcılarının 3'ü (%5) memnuniyet düzeyinin '1'; 7'si (%11) '2', 24'ü (%39) '3', 16'sı (%26) '4' ve 11'i (%18) '5' olduğunu belirtmiştir (bkz. Şekil 4). İç mekandaki taze hava miktarı / hava kalitesi ile ilgili en yüksek değerdeki memnuniyet seviyesi nötr derecelendirmesindedir.



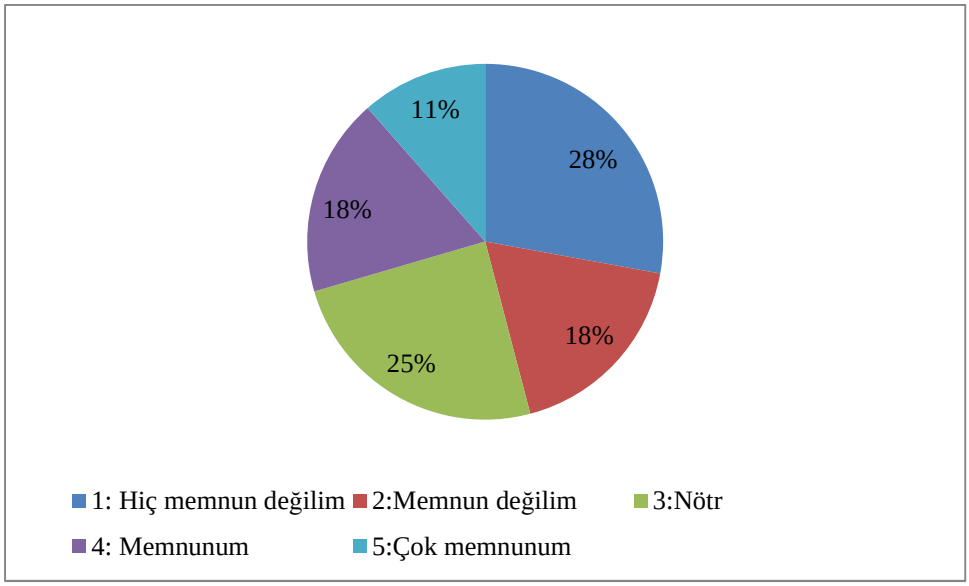
Şekil 4. İç Mekan Hava Kalitesi-İç mekandaki taze hava miktarı / hava kalitesi ile ilgili Memnuniyet Düzeyleri

Doğal havalandırmaya bağlı olarak en fazla karşılaşılan şikâyet sebebi doğal havalandırmanın yaz hem de kış mevsiminde yetersiz olduğudur. (Şekil 5).



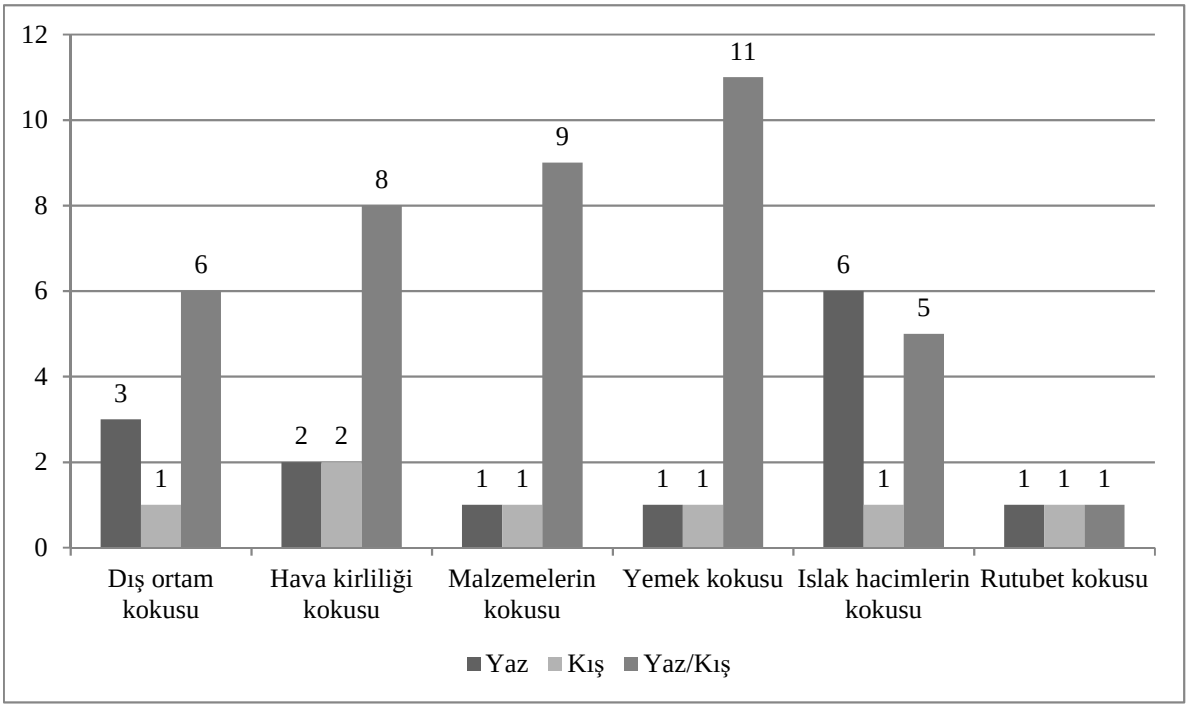
Şekil 5. İç Mekan Hava Kalitesi - Doğal havalandırma (Pencereden gelen hava) ile İlgili Şikayetler

Doğal havalandırma (pencereden gelen hava) kriteri ile ilgili memnuniyet düzeyleri değerlendirildiğinde araştırmaya katılan ofis kulanıcılarının 17'si (%28) memnuniyet düzeyinin '1'; 11'i (%18) '2', 15'i (%25) '3', 11'i (%18) '4've 7'si (%11) '5' olduğunu belirtmiştir (bkz. Şekil 6). Doğal havalandırma (pencereden gelen hava) kriteri ile ilgili en yüksek değerdeki memnuniyet seviyesi hiç memnun değilim derecelendirmesindedir.



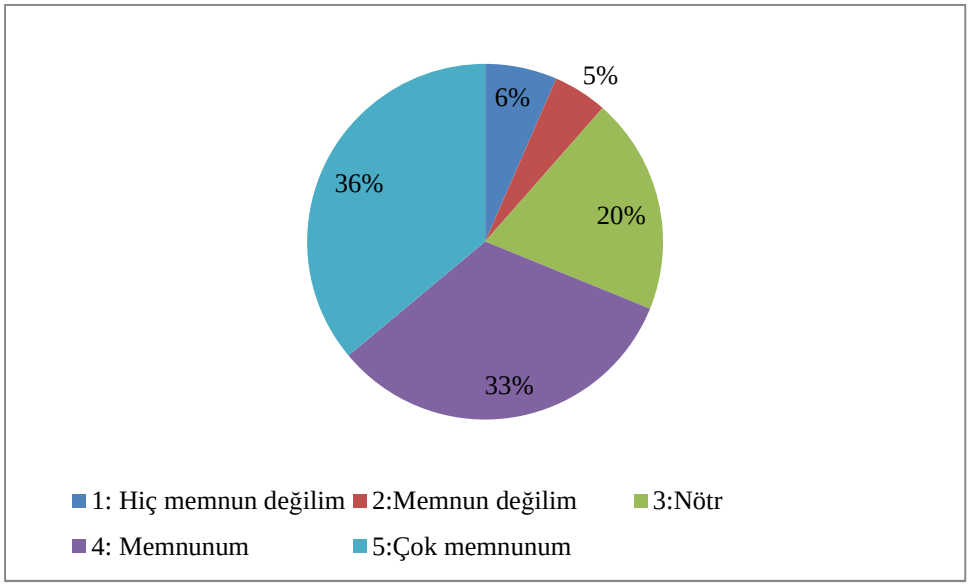
Şekil 6. İç Mekan Hava Kalitesi - Doğal havalandırma (Pencereden gelen hava) ile İlgili Memnuniyet Düzeyleri

Kokuya bağlı olarak en fazla karşılaşılan şikâyet sebebi sırasıyla hem yaz hem kış mevsiminde yemek, malzeme ve hava kirliliği kokularının yarattığı rahatsızlıktır. (Şekil 7).



Şekil 7. İç Mekan Hava Kalitesi- Koku ile ilgili Şikayetler

Koku kriteri ile ilgili memnuniyet düzeyleri değerlendirildiğinde araştırmaya katılan ofis kulanıcılarının 4'ü (%7) memnuniyet düzeyinin '1'; 3'ü (%5) '2', 12'si (%20) '3', 20'si (%33) '4've 22'si (%36) '5' olduğunu belirtmiştir (bkz. Şekil 8). Koku kriteri ile ilgili en yüksek değerdeki memnuniyet seviyesi çok memnunum derecelendirmesindedir.



Şekil 8. İç Mekan Hava Kalitesi – Koku ile İlgili Memnuniyet Düzeyleri

İç mekan hava kalitesi ile ilgili tüm şikayetler içinde genel olarak olarak en çok şikayet edilen üç konu hem yaz hem kış aylarında havalandırma sisteminden gelen havanın kalitesinin yetersizliği, yeteri kadar doğal havalandırmanın sağlanamaması ve yemek kokusu olarak ortaya çıkmıştır.

5. Sonuç

İstanbul'da yer alan 61 ofis kullanıcısı ile alan çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda, ofis kullanıcılarının iç mekan hava kalitesine ilişkin memnuniyet düzeyleri ve şikayet konusu olan kritik hususlar belirlenmiştir. Araştırmaya katılan ofis kullanıcılarının iç mekan hava kalitesine ilişkin genel memnuniyet düzeylerinin "nötr" seviyesinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 2). Kullanıcıların iç hava kalitesini belirleyen kriterlerin önem derecelendirmesine sırasıyla koku (4.67), iç mekandaki taze hava miktarı/ hava kalitesi (4.57) ve doğal havalandırma (4.26) olarak belirlenmiştir. Analiz edilen şikayet sebeplerine yakından bakıldığında ise, ofis kullanıcılarının en çok şikayet ettiği konular doğal havalandırma bulunmamasından memnuniyetsizlik ve koku kriterinde ise diğer koku kaynaklarına kıyasla yemek kokusudur.

Kullanıcıların memnuniyet düzeyleri incelendiğinde koku kriterinde memnuniyet seviyesinin (3.87) de kıyasla en yüksek olduğu, hava kalitesi ile ilgili diğer kriterlerin genel memnuniyet değerlendirmesi dahil nötr seviyede değerlendirildiği ancak doğal havalandırma (pencereden gelen hava) kriterinde (2.67) kullanıcıların memnun olmadığı görülmüştür (Şekil 2). Ayrıca, bulgular her iç mekan hava kalitesi kriterindeki ortalama önem seviyesinin, ortalama memnuniyet seviyesinden yüksek olduğunu göstermektedir.

Potansiyel olarak konforlu bir ofis mekanı tasarlamanın ötesinde kullanım sırasında ve sonrasında sökonusu iç mekan hava kalitesi kriterleri ve ilgili şikayet sebepleri açısından

izleme ve değerlendirme kullanıcı memnuniyetini sağlamak ve proaktif stratejiler geliştirebilmek açısından gereklidir. Bu çalışmada ofis mekanlarında çalışan kullanıcıların iç mekan hava kalitesi ile ilgili belirlenen kriterlere ilişkin kullanım sonrası değerlendirmeleri ele alınmıştır. Ayrıca, iç mekan hava kalitesinin ötesinde, iç mekan çevresel kalite parametreleri arasındaki karmaşık etkileşiminde hatırda tutulması, anlaşılması gereklidir. Tasarımcıların, bina işletmesinden sorumlu yöneticilerin ve karar verilcilerin çalışan konforu ve refahı açısından ele alınan hususları gözönünde bulundurmaları önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışma 116M177 proje numarası ile TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Yazarlar TÜBİTAK'a desteğinden dolayı teşekkür ederler. Yazarlar ayrıca anketlerin gerçekleştirilmesindeki katkılarından ötürü Mehmet Furkan Kenaroğlu, Mustafa Melih Ejder, Neziha Yılmaz, Okan Cem Kurum, Osman Mert Öz ve Toghrul Damirzaye'de teşekkür ederler.

Kaynaklar

Ackerly, K., ve Brager, G. (2013). Window signalling systems: control strategies and occupant behaviour. *Building research & information, 41*(3), 342-360.

Afacan, Y., ve Demirkan, H. (2016). The influence of sustainable design features on indoor environmental quality satisfaction in Turkish dwellings. *Architectural science review, 59*(3), 229-238.

Ahn, Y. H., ve Pearce, A. R. (2013). Post Occupancy Study for Green School Facilities: Case Study of Reedy Fork Elementary School *ICSDEC 2012: Developing the Frontier of Sustainable Design, Engineering, and Construction* (pp. 585-592).

Andersen, R.V., Toftum, J., Andersen, K.K., Olesen, B.W., 2009. Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in danish dwellings. *Energy Build*. 41 (1), 11–16.

Atkins, R., ve Emmanuel, R. (2014). Could refurbishment of "traditional" buildings reduce carbon emissions? *Built Environment Project and Asset Management, 4*(3), 221-237.

Azar, E., ve Menassa, C. C. (2016). Optimizing the performance of energy-intensive commercial buildings: Occupancy-focused data collection and analysis approach. *Journal of Computing in Civil Engineering, 30*(5), C4015002.

Brager, G., ve Baker, L. (2009). Occupant satisfaction in mixed-mode buildings. *Building research & information, 37*(4), 369-380.

Bluyssen, P.M., 2004. Sensory evaluation of indoor air pollution sources. *Air Pollut*., 179–217, Springer

Brager, G., Borgeson, S., 2010. Comfort Standards and Variation in Exceedance for Mixed-Mode Buildings. Center for the Built Environment.

Brown, Z., ve Cole, R. J. (2009). Influence of occupants' knowledge on comfort expectations and behaviour. *Building research & information, 37*(3), 227-245.

Brown, C., ve Gorgolewski, M. (2014). Assessing occupant satisfaction and energy behaviours in Toronto's LEED gold high-rise residential buildings. *International Journal of Energy Sector Management, 8*(4), 492-505.

BS ISO Standart-16814. (2008). Building environment design — Indoor air quality — Methods of expressing the quality of indoor air for human occupancy.

Calis, G., Alt, B., ve Kuru, M. (2015). Thermal Comfort and Occupant Satisfaction of a Mosque in a Hot and Humid Climate *Computing in Civil Engineering 2015* (pp. 139-147).

Candido, C., Kim, J., de Dear, R., ve Thomas, L. (2016). BOSSA: a multidimensional post-occupancy evaluation tool. *Building research & information, 44*(2), 214-228.

Chen, J., ve Ahn, C. (2014). *Assessing Occupants' Energy-load Variation in Commercial and Educational Buildings: Occupancy Detecting Approach Based on Existing Wireless Network Infrastructure.* Paper presented at the Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network.

Goins, J., ve Moezzi, M. (2013). Linking occupant complaints to building performance. *Building research & information, 41*(3), 361-372.

Gou, Z., Prasad, D., ve Lau, S. S.-Y. (2014). Impacts of green certifications, ventilation and office types on occupant satisfaction with indoor environmental quality. *Architectural science review, 57*(3), 196-206.

Gultekin, P., J. Anumba, C., ve M. Leicht, R. (2014). Case study of integrated decision-making for deep energy-efficient retrofits. *International Journal of Energy Sector Management, 8*(4), 434-455.

Hajdukiewicz, M., Geron, M., ve Keane, M. M. (2013). Calibrated CFD simulation to evaluate thermal comfort in a highly-glazed naturally ventilated room. *Building and Environment, 70*, 73-89.

Hauge, Å. L., Thomsen, J., ve Berker, T. (2011). User evaluations of energy efficient buildings: Literature review and further research. *Advances in building energy research, 5*(1), 109-127.

Healey, K., ve Webster-Mannison, M. (2012). Exploring the influence of qualitative factors on the thermal comfort of office occupants. *Architectural science review, 55*(3), 169-175.

Heerwagen, J., ve Zagreus, L. (2005). The human factors of sustainable building design: post occupancy evaluation of the Philip Merrill Environmental Center.

Jazizadeh, F., Ghahramani, A., Becerik-Gerber, B., Kichkaylo, T., ve Orosz, M. (2013). Human-building interaction framework for personalized thermal comfort-driven systems in office buildings. *Journal of Computing in Civil Engineering, 28*(1), 2-16.

Kalaycı, Ş., (2009). SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli Istatistik Teknikleri, Asil Yayınları Kato, H., Too, L., ve Rask, A. (2009). Occupier perceptions of green workplace environment: the Australian experience. *Journal of Corporate Real Estate, 11*(3), 183-195.

Kavgic, M., Mumovic, D., Stevanovic, Z., ve Young, A. (2008). Analysis of thermal comfort and indoor air quality in a mechanically ventilated theatre. *Energy and buildings, 40*(7), 1334-1343.

Langston, C., Song, Y., ve Purdey, B. (2008). Perceived conditions of workers in different organizational settings. *Facilities, 26*(1/2), 54-67.

Laquatra, J., Pillai, G., Singh, A., ve Syal, M. M. (2008). Green and healthy housing. *Journal of Architectural Engineering, 14*(4), 94-97.

Leaman, A., ve Bordass, B. (2001). Assessing building performance in use 4: the Probe occupant surveys and their implications. *Building research & information, 29*(2), 129-143.

Leder, S., Newsham, G. R., Veitch, J. A., Mancini, S., ve Charles, K. E. (2016). Effects of office environment on employee satisfaction: a new analysis. *Building research & information, 44*(1), 34-50.

Lee, S. H., Hong, T., Piette, M. A., Sawaya, G., Chen, Y., ve Taylor-Lange, S. C. (2015). Accelerating the energy retrofit of commercial buildings using a database of energy efficiency performance. *Energy, 90*, 738-747.

Meir, I. A., Garb, Y., Jiao, D., ve Cicelsky, A. (2009). Post-occupancy evaluation: an inevitable step toward sustainability. *Advances in building energy research, 3*(1), 189-219.

Menadue, V., Soebarto, V., ve Williamson, T. (2014). Perceived and actual thermal conditions: case studies of green-rated and conventional office buildings in the City of Adelaide. *Architectural science review, 57*(4), 303-319.

Mishra, A. K., ve Ramgopal, M. (2015). A comparison of student performance between conditioned and naturally ventilated classrooms. *Building and Environment, 84*, 181-188.

N. Driza, P.-J., ve Park, N.-K. (2014). Occupant satisfaction in LEED-certified higher education buildings. *Smart and Sustainable Built Environment, 3*(3), 223-236.

Nahmens, I., Joukar, A., ve Cantrell, R. (2014). Impact of Low-Income Occupant Behavior on Energy Consumption in Hot-Humid Climates. *Journal of Architectural Engineering, 21*(2), B4014006.

Newsham, G., Birt, B. J., Arsenault, C., Thompson, A. J., Veitch, J. A., Mancini, S., . . . Burns, G. J. (2013). Do 'green'buildings have better indoor environments? New evidence. *Building research & information, 41*(4), 415-434.

Paul, W. L., ve Taylor, P. A. (2008). A comparison of occupant comfort and satisfaction between a green building and a conventional building. *Building and Environment, 43*(11), 1858-1870.

Pheng Low, S., Gao, S., ve Lin Tay, W. (2014). Comparative study of project management and critical success factors of greening new and existing buildings in Singapore. *Structural Survey, 32*(5), 413-433.

Preiser, W., ve Vischer, J. (2006). *Assessing building performance*: Routledge.

Rashid, M., Spreckelmeyer, K., ve Angrisano, N. J. (2012). Green buildings, environmental awareness, and organizational image. *Journal of Corporate Real Estate, 14*(1), 21-49.

Salleh, N. M., Kamaruzzaman, S. N., Riley, M., Zawawi, E. M. A., ve Sulaiman, R. (2015). A quantitative evaluation of indoor environmental quality in refurbished kindergarten buildings: A Malaysian case study. *Building and Environment, 94*, 723-733.

Seppänen, O., Fisk, W., 2002. Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers. *Indoor Air* 12 (2), 98–112.

Seshadhri, G., ve Topkar, V. (2014). Validation of a questionnaire for objective evaluation of performance of built facilities. *Journal of Performance of Constructed Facilities, 30*(1), 04014191.

Singh, A., Syal, M., Korkmaz, S., ve Grady, S. (2010). Costs and benefits of IEQ improvements in LEED office buildings. *Journal of Infrastructure Systems, 17*(2), 86-94.

TS CR Standart-1752. (2002). Havalandırma - Binalar için bina içi ortamlar için tasarım kuralları.

Wargocki, P., Sundell, J., Bischof, W., Brundrett, G., Fanger, P.O., Gyntelberg, F., Hanssen, S.O., Harrison, P., Pickering, A., Seppnen, O., Wouters, 2002. Ventilation and health in nonindustrial indoor environments: report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN). *Indoor Air* 12 (2), 113–128.

Wilkinson, S. J., Reed, R., ve Jailani, J. (2011). *User satisfaction in sustainable office buildings: a preliminary study.* Paper presented at the PRRES 2011: Proceedings of the 17th Pacific Rim Real Estate Society Annual Conference.

Zagreus, L., Huizenga, C., Arens, E., ve Lehrer, D. (2004). Listening to the occupants: a Web-based indoor environmental quality survey. *Indoor air, 14*(s8), 65-74.

ÇOCUK OYUN ALANLARI TASARIMINDA ÇOCUK İSTEKLERİNİN ÖNEMİ

Şule KISAKÜREK[1] BURCU DÖNMEZ[2]

[1] Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kahramanmaraş, Tel: (344) 280 18 19 Faks: (344) 280 17 12,
[2] Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Kahramanmaraş, Tel: 0 (506) 672 75 34
Emails: [1] skazanci@ksu.edu.tr, [2] burcuboyar557@gmail.com

ÖZET

Oyun, çocuk için zamanının çoğunluğunu harcadığı, eğlenerek öğrendiği ve gelişimine önemli katkı sağlayan bir uğraştır. Çocukların en iyi öğrenme araçlarından biri oyundur. Oyun ve çocuk oyun alanları çocuğun fiziksel, zihinsel ve sosyal gelişimini tamamladıkları alanlardır. Çocukların gelişimlerini sağlıklı bir şekilde tamamlamaları toplum sağlığı, refahı ve düzeni açısından önemlidir. Bu durum çocuk oyun alanlarının tasarımını çok daha önemli hale getirmektedir.

Günümüzde artan kentleşme sanayileşme ile birlikte hızla yapılaşan kentlerde çocukların oyun mekânlarının azaldığı var olan alanların çocukların ilgisini çekmekten uzak tasarlandığı, artan teknoloji ile çocukların bilgisayar başında, teknoloji ile iç içe bir çocukluk döneminden geçmesine neden olduğu görülmektedir. Oyun kavramının açık yeşil alanlarda gerçekleştirilmesi çocuğun gelişimi açısından çok önemlidir. Bu noktadan hareketle çocuk oyun alanlarının çekiciliğinin artırılması önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmada daha önce yapılmış çalışmalar ve uzman pedagogların görüşleri değerlendirilmiş ve çalışma sonucunda çocukların istek ve görüşlerinin oyun alanlarının tasarımında dikkate alınmasının çekiciliği artıracağı ve oyun alanlarının çocuğun fiziksel, ruhsal ve zihinsel gelişimlerini olumlu etkileyeceği ortaya konmuştur. Bu çalışma çocuk oyun alanları tasarımında çocuklarının isteklerinin önemini vurgulamak, çocukların gelişimi ve toplum açısından önemini vurgulamak amacı ile gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Teknoloji, oyun, istek, oyun alanları

THE IMPORTANCE OF CHILDREN'S DESIRE AT DESIGNING PLAYGROUNDS

Game is an occupation that contributes an important development to children grouth when they spend most of their time and learn entertainingly. One of the best learning tool for kids is game. Games and playgrounds are areas that kids complete their physical, mental,and social

developments. Growing in a healthy way is also important for social health, peace and order. Thus, this gives much more importance to designing playgrounds.

It is clear that playgrounds for kids are decreasing day by day due to industrialisation. Available areas don't draw kids' attention.This situation causes that children spend their childhood by using tecnological devices. Conseption of games is important for kids' development that occurs in outside and greener places so, attractive playgrounds have importance.That s why studies that was made before and expert pedagogue opinions were evaluated. It has pointed out that children's desires and opinions in designing playgrounds increase attractiveness and playgrounds effect their physical, mental and psychological development in a positive way. The purpose of this study is to give importance to kids desire while designing playgrounds and evaluate available ones.

KEY WORDS: *Tecnology, game, desire, playgrounds*

1.GİRİŞ

Çocuk, insanoğlunun doğumundan ergenliğe ulaşıncaya kadar yaşadığı dönemi kapsar. Çocukların yaşları, davranışları, ihtiyaçları ve içlerindeki keşfetme duyguları dikkate alınarak yapılacak olan düzenlemelerde başarının elde edilmesi daha mantıklı ve kolay olabilmektedir.

Çocukluk dönemi, kızlarda 10 yaş iken erkek çocuklarında 11 yaş tamamlanana kadar sürmektedir. 0-14 ay arası bebeklik dönemi, 15-36 ay arası özerklik dönemi, 4-6 yaş arası kişilik yapısı oluşma dönemi, 7-11 yaş arası sosyal olarak gelişim dönemi olarak devam etmektedir. 0-6 yaş aralığında bireyler genellikle ailesine yakın çevreleri tercih ederken 6 yaşından sonra daha bireysel, kendi çevresiyle oynayabileceği çocuk oyun alanlarına yönelmektedirler (Anonymous, 2006).

Oyun, çocuk için zamanının çoğunluğunu harcadığı, eğlenerek öğrendiği ve gelişimine en önemli katkı sağlayan bir uğraştır. Ebeveynler için oyun ise çocukların oyalanırken zaman geçirmesine yardımcı eğitici olan olmayan her türlü aktivitedir.

Çocukların oynadıkları oyunlar, duygu ve yeteneklerini geliştirmektedir. Çünkü oyun, çocuğun en saf öğrenme ve uygulama ortamıdır. Aynı zamanda uygulayarak kendi kendini geliştirdiği bir deneme-yanılma sürecidir. Geniş bir çerçeveyle oyun, belirli bir düzen içerisinde oluşan, amacı olan ya da olmayan, kurallı ya da kuralsız yürütülen ancak her

koşulda çocukların severek, mutlu olarak içinde olduğu, oynarken fiziksel, psikolojik ve zihinsel gelişimlerinin destekleyicisi olan, çocuk dünyasının en temel parçası olarak adlandırılmaktadır (Yörükoğlu, 2002).

Çocukların bedensel ve zihinsel gelişimini olumlu etkileyen, enerjilerini rahatça harcayabilecekleri aktiviteye bağlı olan oyunlardır. Gelişim çağında olan çocukların motor becerileri, kas gelişimleri ile beyin fonksiyonları arasında bütünlük olmasını sağlamaktadır. Çocuklar her yaşta birbirleriyle ve içinde bulundukları çevre ile iletişim kurmayı, bilgi ve kültür alışverişinde bulunmayı, kurallara uymayı oyun sırasında ve kendilerini ifade etmeyi oyun alanlarında öğrenmektedir. Sek sek, saklambaç, evcilik, hırsız-polis vb. planlı ya da plansız oyunlar bu gruba girer. Çocukların fikir üretme, keşfetme konusundaki inanılmaz ve gözle görülür güçleri kesinlikle göz ardı edilemez. Çocukların çevresindeki nesneleri yeni şeyler üretmek içgüdüsüyle oynadıkları oyun tipi, bloklarla kuleler oluşturma, kumdan kale vb. mekânlar yapma, kalem ve tebeşirlerle figürler çizme vb. oyunlar bu kategoride değerlendirilmektedir.

20 Kasım 1989 tarihinde Birleşmiş Milletler Kongresi tarafından yenilenen Çocuk Hakları Bildirgesi 31. maddesinde çocukların boş vakit olarak değerlendirmeye, dinlenmeye, yaşlarına uygun olarak oyun oynamaya, kültürel, sanatsal, sosyal programlara veya faaliyetlere katılmaya hakları vurgulanmıştır. IPA (International Play Association) düzenlediği toplantılarda çocuğun boş zamanı, oyun ve oyun imkânları oluşturması hususunda kararlar ortaya koymuştur. Dünya Çocuk Yılı nedeniyle 1977 yılında açıklanan Çocuk Oyun Hakları Malta Deklarasyonu'nda, oyunun en temel ihtiyaç olan beslenme, sağlık, barınma ve eğitimin yanı sıra çocuğun gelişimi için hayati önemi olduğu vurgulanmıştır (Yılmaz ve Bulut, 2003).

Bir toplumun geleceği çocuklara emanettir. Bugün sağlıksız yetişen çocuklar, yarının sağlıksız bireyleri ve sağlıksız toplumunu oluşturacaktır. Çocuğun şehir planında göz ardı edilmesi, toplum geleceğinin sağlığını ve gelişimini tehlikeye atacaktır. Fiziksel çevrede çocuğun bir kullanıcı olduğu, çocuğun gereksinimlerinin ve mekân algısını dikkate alan tasarımlar toplumun kalitesini artırmaktadır. Çocuğu toplumun sağlıklı bir bireyi olarak düşünmek, sosyo-ekonomik, kültürel ve fiziksel çevre etkilerinin düzene girmesi anlamına gelmektedir. (Çakır, 1997).

Çocukların fiziksel aktivitelerin artması ve sağlıklı birey olarak yetişmesi için çocuk oyun alanlarında geçirdikleri zaman çok değerli ve önemlidir. Fiziksel aktiviteyi arttırmaya destek alanlar, çocuk oyun alanlarıdır. Son dönemlerde teknolojiye olan düşkünlük yaşı bebeklik çağına inmiştir. Artık 1-1,5 yaş bebeklerden başlayan teknoloji düşkünlüğü fiziksel aktiviteyi, kas ve kemik gelişimine destek oyunlara olan talebi oldukça minimum seviyeye indirmiştir. Çocuk oyun alanlarına olan arz ve talep, hem çocuklar hem aileler tarafından oldukça azalmıştır. Bu nedenle çocuk oyun alanları ilgi çekici ve fonksiyonel olarak cazip hale getirilmelidir. Çocuk oyun alanları, çocuklara oynama imkânı sağlayan, sağlıklı, güvenli ve konforlu bir ortam olmalıdır.

Bu bildiri, çocuk oyun alanlarının çekiciliği artırmak için oyun alanları tasarımında çocukların istek ve görüşlerinin dikkatle alınmasının önemini vurgulamak amacı ile gerçekleştirilmiştir.

2.MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Materyal

Araştırma ana materyalini konuya ilişkin literatür taramaları ve konu ile ilgili pedagojik eğitim alan uzman görüşleri oluşturmaktadır.

2.2 Yöntem

Çalışmanın amacı doğrultusunda yöntem olarak detaylı literatür taraması, sözlü görüşme ve değerlendirme olmak üzere üç aşamada gerçekleştirmiştir. Öncelikle literatür taraması ile ilgili bu konuda yapılmış çalışmalar irdelenmiş, konu ile ilgili çerçeve oluşturulmuştur. Daha sonra pedagojik eğitim almış 10 tane uzmanın ‘çocuk oyun alanları tasarımında çocuk isteklerinin önemi’ ile ilgili görüşleri alınmıştır. Görüşlerine başvurulan uzmanlar farklı üniversitelerden mezun farklı okullarda eğitim veren, ancak hepsi de pedagojik eğitim almış kişilerden seçilmiştir. Değerlendirme aşamasında ise uzman görüşleri, literatür verileri ile birlikte yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

Uzmanlarla yapılan sözlü görüşme sonucunda çocuk oyun alanlarının tasarımında kullanıcı (çocuklar) istekleri dikkate alınmalımı sorusuna ilişkin uzman görüşleri aşağıda yer almaktadır.

Adeviye DUMAN (Anadolu Üniversitesi Okul Öncesi Öğretmenliği Mezunu), çocuk oyun alanı tasarımında kullanıcının ihtiyaçlarına bakılır. Parkın asıl kullanıcıları çocuklar olduğu için çocuk isteklerini dikkate almak gerekir. Çünkü çocuk ilgisini çekmeyen alanlara yönelmez. Çocuğun ilgisini çekmek içinde çocuğun istediği şekilde oyun alanları tasarlanması gerekir. Çocukların kendisini iyi hissettiği ve ilgi çeken oyun alanlarında oynaması fiziksel, sosyal, duygusal, bilişsel gelişimlerini destekleyecektir.

Aynur ÖZKAYA (Mustafa Kemal Üniversitesi Sınıf Öğretmenliği Mezunu), çocukların park deyince akıllarına ilk olarak özgürce koşmak, eğlenmek, enerjilerini boşaltmak, arkadaşlarıyla oynamak gelir. Çocuklar, oyun alanlarında isteklerini rahat bir şekilde gerçekleştirdikleri zaman mutlu olurlar. Oyun alanları çocuklar için özgür oldukları günlük hayattan, kurallardan uzaklaştıkları alanlardır. Kendilerini en iyi hissettikleri alanların tasarımında çocukların fikirlerini dikkate almak bu nedenlerle çok önemlidir.

Ayşe BABACAN (Sinop Üniversitesi Çocuk Gelişimi ve Eğitimi Bölümü mezunu), çocuklarımızın birçoğu vaktini betonlaşmış şehir kalabalığından dolayı apartman ortamında ve ya sıkıştırılmış oyun alanlarında geçirmektedir. Çocuk oyun alanları çocukların istekleri üzerine tasarlanmalıdır. Oyun çocukların bilişsel, zihinsel, motor becerileri gelişmesine yardımcı olur. Çocuklarımızı geleceğe kaliteli hazırlamanın en önemli yolu onların oyun çağını aktif, doyum sağlayarak, yaşayarak öğrenme modelidir. Çocuk oyun alanları, çocuğa gelecekteki toplum sorumluluklarının farkında olmayı, toplum ile birlikte yaşamayı, bir ortama dâhil olmayı öğretir. Bu nedenle çocukların ilgisini çeken çocuk oyun alanları ancak onların istekleri doğrultusunda tasarlanırsa cazip hale gelir.

Büşra ÇANKAL (İstanbul Arel Üniversitesi Çocuk Gelişimi ve Eğitimi) oyun oynamak çocuğun en temel ihtiyacıdır. Çocukların oyun ihtiyacını karşılamak için çocuk oyun alanlarının önemi büyüktür. Parklar çocukların hem fizyolojik, hem psikolojik gelişimlerine katkıda bulunurlar. Çocuklar zevkine ve ilgisine hitap etmeyen oyun alanlarında vakit geçirmek istemezler. Çocukların enerjilerini boşaltıp, kendilerini daha iyi hissetmeleri için oyun ve oyun gruplarının yaşına ve isteklerine hitap etmesi gerekir. Çocuğun yaş ve istek grubuna uygun oyuncaklar seçilmelidir.

Büşra TURAN (Marmara Üniversitesi Okul Öncesi Öğretmenliği mezunu), çocuk oyun alanları, çocukların her alanda kendini geliştirebileceği, özgürlüğü sınırsızca yaşadığı, psikomotor, sosyal-duygusal ve bilişsel becerilerini sergileyebileceği yerlerdir. Doyasıya

eğlendikleri, arkadaşlığı, paylaşmayı öğrendikleri, tamamen onlara özgü oyunları oynadıkları, oyun alanlarının tasarımı uzmanlara aittir. Oyun alanlarının tasarımında çocukların hayallerine tek tek dokunulmalıdır. Çocuklar arasındaki farklılıklar göz önünde bulundurulmalı, her çocuğa hitap eden bir oyun alanı oluşturmalıdır. Çocuklar bu oyun alanında kendini güvende hissetmeli ve böylece kaygı duymadan özgürce oynayabilmelidir. Onlar sonsuz hayal güçleriyle sınırsızca eğlenmek isterken bizim isteklerimiz onların hayal güçlerine ve yaşayarak öğrenmelerine engel olmamalıdır. Onların dünyasını sadece onlar tasarlayabilirler. Dünyanın en uzman kadrosu dahi olsa, çocuk oyun alanlarını en iyi onların görüşleri yönlendirebilir.

Fatma AKSOY (Çukurova Üniversitesi Okul Öncesi Öğretmenliği mezunu), oyun alanları çocukların fiziksel ve zihinsel gelişimini destekleyici nitelikte olmalıdırlar. Bu nedenle çocuklar için ilgi çekici, sıkıcı olmayan çocuk oyun parklarının sayıca artırılması gerekmektedir. Parkların daha çok kullanılması için çocukların görüşlerine yer verilmeli, istekleri göz ardı edilmemelidir. Çocuk oyun alanlarının hitap ettiği kesim çocuklar olduğundan tasarımında düşünceleri ve arzuları önemlidir.

Hatice KARAKUŞ (Doğu Akdeniz Üniversitesi Psikoloji Bölümü mezunu), oyun her yaştan çocuk için önemlidir. Çocuk oyun alanları, çocukların fiziksel, zihinsel gelişimini ve çevresindeki akran grubu ile arasındaki iletişimi artırmada önemli bir yere sahiptir. Özgürlüğü kısıtlanmayan çocuklar, eğlence ortamı olarak çocuk oyun alanlarını tercih ederler. Çocukların bu alanlarda uzun süre kalması, o çocuk oyun alanının kalitesini belirlemektedir. Çocuk oyun alanlarının tasarımında, çocukların fikirlerine önem verilmeli hatta yasal düzenleme ile desteklenmelidir.

Hatice OKŞAR (Atatürk Üniversitesi Çocuk Gelişimi mezunu), çocukların içinde biriken enerjiyi dışarıya atabilmeleri çok önemlidir. Koşarak, zıplayarak ya da çeşitli hareketler yardımıyla enerji akışını sağlamalıdır. Oyun oynamayan çocukların gelişimi yarım kalmış demektir. Oyun alanları sağlıklı bir benliğin gelişiminde öz güven oluşmasında bedensel ve ruhsal gelişimde büyük bir öneme sahiptir. Çocuk oyun alanlarının tasarlanması planlanması sürecine çocukların dâhil edilmesi gerekir. Çünkü alanının asıl kullanıcıları çocuklardır. Kısıtlayan ve güvenli olmayan alanlar olarak tasarlanmasına izin verilmemelidir.

Nurcan KAYALI (Mustafa Kemal Üniversitesi Çocuk Bakımı ve Gençlik hizmetleri Bölümü), çocuk oyun alanları çocuğun evinin dışında sosyalleştiği ilk dış mekândır. Kendini

o alana ait hissetmesi ve alanı sahiplenmesi çocuk için çok önemlidir. Çocuk oyun alanlarında vakit geçiren çocuğun özgüveni artar, fiziksel ve sosyal yetenekleri gelişir. Çocuğa katkısı bu kadar fazla olan çocuk oyun alanlarının plan ve tasarım aşamasında mutlaka çocuğun görüş ve isteklerine başvurulmalıdır.

Rümeysa KARAFAKIOĞLU (Mustafa Kemal Üniversitesi Çocuk Gelişimi Bölümü Mezunu), çocukların istekleri onların gelişimini etkilemektedir. Çocukların oynarken zevk aldığı oyunlarla oynaması, motor becerisinin gelişmesini olumlu etkilemektedir. Çocuk oyun alanı tasarımında çocukların istekleri dikkate alınmalıdır.

Gerek dünya çapında gerekse ulusal düzeydeki yasal düzenlemelerle çocuk hakları koruma altına alınmış gibi görünse de, çevresinin de bu hakların önerdiği şekilde tasarlamak güvenli, huzurlu, eğitici ve kaliteli bir birey olmayı destekleyen özelliklere sahip olması, toplum için bir zorunluluktur. Toplum içinde çocuk alanlarıyla ilgili araştırmaların ivme kazanması ve sürdürülmesi, çocuğa hizmet götüren uygulamaların hayata geçirilmesinde batı standartlarının dikkate alınması son derece önemlidir (Gür ve Zorlu, 2002).

Çocuk oyun alanlarında bitkilendirme yapılırken o alanın kullanıcıları olarak özellikle çocukların ne istediklerini bilmek ve ona uygun bitkisel düzenlemeler yapmak alanın daha etkin kullanılması, çocukların oyunlarına destek olması, bu arada da onlara doğayı ve doğa sevgisini öğretmesi açısından oldukça önemlidir. Çocukların bitki ve bitki düzenlemeleri hakkında ne arzuladıklarını saptamak ve buna uygun çözüm önerisi getirebilmek için çocuk bakış açısıyla değerlendirme yapılmalıdır (Acar, 2003).

Fiziksel yeteneği farklı seviyelerdeki çocukların oyun davranışları üzerinde, oyun alanı tasarımının etkili olduğu, aynı zamanda çocukların, yaşıtlarıyla oyun oynarken kullandıkları stratejileri zorlaştırarak ya da kolaylaştırarak fiziksel olduğu kadar, sosyal beceri ve yeteneklerini de etkilemektedir (Barbour, 1999).

Çocuklar için oyun oynamak yaşamsal ve rekreasyonel bir ihtiyaçtır. “Elkind, Montessori'ye göre oyunun kendi doğasından kaynaklanan bir önemi olmadığını, oyunun sadece çocuğun toplumsallaşması açısından önem kazandığını belirtirken “Çocuk psikologlarının ve doktorlarının ortak kanısı, dış mekânda oluşturulan açık havadaki oyun alanlarından yoksun, kapalı oyun alanlarında oyun oynamanın çocukların zihinsel, fiziksel ve sosyal gelişimlerini olumsuz yönde etkilediğidir (Onur ve Güney, 2004). Bu nedenle Çocukları Şiddetten

Koruma Ulusal Birliği (NSPCC) gibi kuruluşlar yerel yönetimlere çocukların huzur içinde oynayabilecekleri, iyi tasarlanmış park alanları ve çocuk oyun alanları oluşturmaları konusunda çağrıda bulunmaktadırlar''(Yılmaz ve Bulut,2003).

Ünlü düşünür Montaigne'nin yıllardan beri belirttiği gibi "Çocukların oyunu, oyun değil, onların en ciddi uğraşısıdır". Okul öncesi çocukların kısa süreli davranış veya hal ve hareket takibi bu gerçeği ispatlamaktadır. Çocuklar her gün durup dinlenmeden, yorulmadan oynarlar. Oyun onlar için öyle vazgeçilmezdir ki acıktıklarını bilmezler, çağrıldıklarında eve gelmek istemezler. Çocuklar için oyun, sonu getirilmesi gereken görevdir (Yörükoğlu, 2002).

Çocukların çeşitli yaş gruplardan olması, oyun alanlarından beklentilerinin birbirinden farklı olması ve çocuğun oyun oynarken güvenliği ile birlikte çocuk oyun alanlarının plan ve tasarımının önemini vurgulamaktadır. Çocuğun güvenliği denilince akla sadece sınır elemanları değil tasarımdan malzeme kullanımına, uygulamadan bakıma kadar her aşamada iyi yorumlanması ve çözüm önerisi getirilmesi gerekmektedir. İyi planlanmış ve hayata geçirilmiş çocuk oyun alanlarının çocuğa birçok faydası bulunmaktadır. Çocuk oyun esnasında vücudunu kullanmayı, oyun esnasında tehlikeyi hissedip aşabilmeyi ve korkuları ile mücadele edebilmeyi öğrenmektedir. İşbirliği ile dayanışma yetenekleri gelişerek çevresine karşı da girişimci bir yapıda olmaktadır. Bir olaya ya da duruma konsantre olup detaya inmeyi ve yaratıcılık ile çözüm arayışını geliştirmektedir (Bal, 2005).

Çocukların oyun alanlarından beklentileri birbirinden farklı olabilir. Çocukların oyun alanlarında en fazla tercih ettikleri macera oyun alanlarıdır. Ankara ilinde kamu ve kamuya açık alanlarda dramatik oyunlar göz ardı edilerek tasarlanmamaktadır. Çocukların yaratıcı fikirlerini ön plana çıkartacak oyunların tasarımına daha özen gösterilmelidir (Tekkaya, 2001).

Çocuk oyun alanları çocukların eğlenirken öğrendikleri, kaliteli vakit geçirdikleri alanlardır. Planlı ve düzen içerisinde büyüyen nesil ileride karşılaştığı sorunlar karşısında daha akıllıca fikirler üretmektedir. Çevrenin değerini bilen çocuklar doğal çevrede tasarlanmış çocuk oyun alanları ile mümkün olabilecektir. Çocuk oyun alanları, çocukların yöneldikleri alan ve istekleri göz önünde bulundurarak, yer seçimi, zemin kaplamaları, bitkilendirme ve güvenlik gibi tasarım ilkeleri doğrultusunda yapılmalıdır (Canlı, 2014).

Çocuğun her anlamda kişisel ve ya psikolojik yönden kendini geliştirerek, karşısına çıkan sorunlara kendi kendine bir çözüm önerisi sunmalıdır. Çocuk 'risk' kavramının anlamını bilerek, risk almayı öğrenmelidir. Bireylerin oluşturduğu toplumların dengeli ve sağlıklı olması için çocukluk dönemini kaliteli bir şekilde tamamlanması gerekmektedir. Kaliteli bir çocukluk dönemi kişilik oluşmasında temel yapı taşıdır. Oyun oynayan çocuk, motor ve dil becerisi geliştirir, fazla depolanan enerjiyi dışarı atarak rahatlar, kimseden öğrenemeyeceği kuralları ve bilgileri deneme- yanılma yoluyla öğrenerek deneyim kazanır. Yaşamsal değerler olan beslenme, barınma, eğitim, sağlık gibi oyunda ideal bir büyüme çağı için hayati bir öneme sahiptir. Nitelikli oyunlarla büyüyen çocukların problem çözme konusundaki esnek bir mantığa sahip olduğu ve daha iyi sosyal ilişkiler kurabildiği bir gerçektir (Coşkun, 2015).

Bu yaklaşımı kullanarak, şehir idaresinde bulunan kişiler, çocuklara kendi istekleri çerçevesinde ortamlar tasarlarlar (Alparone ve Rissotto, 2001).

Tasarım çalışmalarında ihtiyaçların belirlenmesi, tasarlanan alanın, çocuklara hitap etmesini sağlamak ve çocuk çevresini ortaya çıkarmak için mimarlar ve tasarımcılar tarafından kullanılan değerli bir araçtır (Ghaziani, 2008).

Çocuk oyun alanlarının asıl kullanıcıların görüşlerine başvurmadan yapılan uygulama çalışması fikren ve zihnen eksiktir. Tamamlayıcı olan öğe ise çocukların en fazla söz söyleme, seçenek sunma hakkı olan oyun alanlarının tasarım ve planlama sürecine dâhil etmektir.

Günümüz çocukların cep telefonu, TV, bilgisayar oyunları gibi sürükleyici teknolojik bağımlılıkları oluşmaktadır. Doğru ve bilinçli kullanılmayan teknolojiden ne çocuğa ne ebeveynlere yarar sağlamamaktadır. Çocukların bilinçli olmasına katkı sağlayarak teknolojiyi doğru kullanımı sağlanmalıdır. Fikirleri, görüşleri ve kendine has duruşları olmayan çocukların oluşturduğu toplumlar gerilemektedir. Oynadıkları oyun alanı tasarımını çocukların isteklerine göre tasarlamak, onların oyun süresince sıkılmadan sevdiği oyunları oynamaları için elverişli ortamı sağlayacaktır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çocuk oyun alanları tasarımında çocuk istek ve görüşlerini dikkate alınmasının önemini vurgulamak üzere gerçekleştirilen bu çalışmada; uzman pedagog ve çok sayıda araştırmacının çalışma sonuçları ve görüşleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda birçok uzman ve araştırmacının çocuk oyun alanları plan ve tasarım aşamasında, bu alanların asıl ve temel

kullanıcıları olan çocukların görüşlerini dikkate alınmasının önemini vurgulamıştır. Bu durumun çocuk oyun alanlarının çekiciliğini artırmak ve çocukların bu alanlarda geçirdikleri zamanı artıracağı üzerinde fikir birliği oluşmuştur. Sürdürülebilir ve sağlıklı çevreler amacına uygun tasarlanmış mekânlarla sağlanabilir. İyi kurgulanmış bir çocuk oyun alanı demek, sağlıklı ve dengeli bir toplumun yapıtaşı demektir.

Çocuk oyun alanları tasarlanırken çocuk istek ve arzularını önemsemek gerekmektedir. Çocuk oyun alanlarının sürdürülebilir ve kaliteli olması, toplumun eğitim düzeyinin artması, teknolojinin esiri olmadan verimli ve akılcı kullanımına çocukların görüş ve istekleri doğrultusunda yapılan çocuk oyun alanları önemli katkı sağlayacaktır. Çocuk oyun alanları kurgulanırken çocukların istek ve görüşlerinin yanı sıra kullanıcıların yaş dağılımları, öğrenci, öğretmen pedagog ebeveyn görüşleri de dikkate alınmalıdır.

5.KAYNAKLAR

Acar, H. 2003. Çocuk Oyun Alanlarında Kullanıcıların Bitki Tercihlerinin Belirlenmesi Üzerinde Bir Araştırma: Trabzon Kenti Örneği, K.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Akdoğan, G. 1972. Beş Büyük Şehirde Çocuk Oyun Alanları, Okul Bahçeleri Ve Spor Alanlarının Yeterlikleri Ve Planlama Prensipleri Üzerinde Bir Araştırma. A.Ü. Ziraat Fakültesi yayınları: 522, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara.

Alparone, F.R. and Rissotto, A., 2001. Children's citizenship and participation models: Participation in planning urban spaces and children's councils. Journal of Community and Applied Social Psychology, 11, 421–434.

Anonymous, 2006. Çocuk Oyun ve Spor, http://www.sporbilim.com/index.php?s=icerik&katid=83&id=144 (Erişim tarihi 01.2008).

Bal, A. 2005. Zonguldak Kenti Yeşil Alan Sistemindeki Çocuk Oyun Alanlarının Durumunun Peyzaj Mimarlığı İlkerleri Açısından İrdelenmesi, Z.K.Ü., Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Barbour, A.C. 1999. The Impact of Playground Design on The Play Behaviors of Children with Diffreing Levels of Physical Competence, Early Childhood Research Quaterly, 14,1 (1999) 75-98.

Bektaş, Y. 2003. İlköğretim Çağı Çocuklar ve Çocuk oyun Alanları. A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Semineri, Ankara.

Canlı, A.G. 2014. Gelişen Dünya'da Çağdaş Çocuk Oyun Alanları, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Coşkun E. B. 2015. Çocuk Oyun Alanı Elemanlarının Standartları Üzerine Bir İnceleme, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Çakır, H. 1997. Çocukların Algılamasında Etkili Olan Mimari Parametrelerin Belirlenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Duman G, Koçak N. 2013. Çocuk Oyun Alanlarının Biçimsel Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi (Konya İli Örneği). Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 64-81.

Erdönmez, İ. M. Ö. 2007. İlköğretim Okul Bahçelerinde Peyzaj Tasarım Normları, İstanbul Orman Fakültesi Dergisi, 1, B, (57), Sayfa 108-120.

Fjortoft, I., (2001). The natürel envrionemtn as a playground for children: theGhaziani, R., 2008. Children's voices: raised issues for school design. CoDesign, 4, 225–236.

Freeman, C., Nairn, K., and Sligo, J. 2003. 'Professionalising' participation: from rhetoric to practice. Children's Geographies, 1, 53–70.

Groves, M.& Mason, C. 1993. The Relationship Between Preference and Gür, Ö.G., Zorlu, T., 2002. Çocuk Mekanları, Yem Yayınları, Birinci Baskı, Sayfa Sayısı 304, İstanbul.

Macarthur, C., Hu, X., Wesson, D.E., Parkin, P.C. 2000. Risk factors for severe injuries associated with falls from playground equipment. Accident; analysis and prevention, Volume 32, Issue 3, May 2000, P.377-382.

Onur, B. ve Güney, N., 2004. Türkiye'de Çocuk Oyunları: Araştırmalar, Ankara Üniversitesi Çocuk Kültürü Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları 12, Ankara.

Tekkaya, E., (2001). Tasarlanmış Çocuk Hakları: Ankara Çocuk Oyun Alanları, Millî Eğitim Dergisi, 151, (http://yayim.meb.gov.tr/dergiler/151/tekkaya.htm) (15.05.2009)

Yılmaz, S. ; Bulut, Z. 2003. Kentsel Mekânlarda Çocuk Oyun Alanlarının Yeri ve Önemi: Erzurum Örneği, Milli Eğitim Dergisi, Sayı:158,

Yörükoğlu, A. 2002. Çocuk Ruh Sağlığı. Çocuğun Kişilik Gelişimi, Eğitimi Ve Ruhsal Sorunları. Özgür Yayınları. Ankara Cad. 31/2 Cağaloğlu, İstanbul.

Yüksek Kazançlı Geniş Bantlı Horn Anten ile Tünel Tespiti

Cumali KOPMAZ[1], Oğuzhan AKGÖL[1], Muharrem KARAASLAN[1], Emin, ÜNAL[1]

[1] Department of Electrical-Electronics Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey

Emails: cumalikopmaz01@gmail.com, oguzhan.akgol@iste.edu.tr, muharrem.karaaslan@iste.edu.tr, emin.unal@iste.edu.tr

Özet

Günümüzde anten tabanlı birçok sensör kullanılmakta olup, farklı alanlarda tespit ve ölçüm yapılabilmektedir. Bu çalışmada toprak altındaki tünel ve boşluk tespiti için horn anten tasarlanmıştır. Tasarımın simülasyonu için CST (Computer Simulation Technology) microwave studio programından faydalanılmıştır. Yapmış olduğumuz çalışmada kum malzemesi olarak simülasyon programının kütüphanesinden sandy soil materyali referans alınmıştır. İlk olarak horn antenlerin altına kum zemin yerleştirilmiş ve simüle edilmiştir. Ardından kum zeminde bir tünel açılmış ve simüle edilmiştir. Yapılan simülasyonların sonucunda $S_{2,1}$ parametreleri kıyaslanarak tünelin konumu belirlenmiştir. Bu çalışma ileriki süreçlerde geliştirilebilir ve farklı anten tabanlı sensör çalışmalarına örnek olabilir.

Anahtar Kelime (ler): Horn anten, Tünel tespiti

Tunnel Detection with Horn Antenna

Abstract

Nowadays, many antenna based sensors are used, detection and measurement can be done in different areas. In this study, the horn antenna is designed for tunnel and space detection under the ground. The CST(Computer Simulation Technology) microwave studio program was used to simulate the design. Sandy soil material is taken as reference from the library of the simulation program as sand material. At first, the sand ground is placed under the horn antennas and simulated. Then, a tunnel was opened in the sand ground and simulated. As a result of the simulations, the position of the tunnel was determined by comparing the parameters of $S_{2.1}$. This work can be developed in the future and can be an example of different antenna based sensor studies.

Keyword(s): Horn antenna, Tunnel detection

1. Giriş

Anten tabanlı sensörler farklı metotların bulunması ve geliştirilmesi ile her geçen gün artan bir kullanım alanına sahiptirler. Anten; verici tarafından boşluğa gönderilen elektromanyetik dalgaları toplayarak bu dalgaları iletim hatları vasıtasıyla alıcıya ileten (alıcı

anten) veya iletim hatlarından gelen sinyali boşluğa elektro manyetik dalga olarak gönderen (verici anten) iletkenler bütününe denir [1].

Antenlerin alıcı ve verici özellikleri aynıdır. Bu antenlerin reciprocity özelliği olarak bilinir. Bazı çalışmalarda aynı anten hem alıcı anten hem de verici anten olarak kullanılabilir. Buna örnek olarak radarlarda ve telefonlarda kullanılan antenler hem alıcı anten hem de verici anten olarak kullanılabilir [2], [3].

Tablo 1 – Anten çeşitleri [1]

İzotropik antenler (Isotropic Antennas)	**Çok Yönlü Antenler (Omnidirectional Antennas)**	**Yönlü Antenler (Directional Antennas)**
-	Monopol Antenler (Monopole Antennas)	Yagi-Uda Antenleri (Yagi-uda Antennas)
-	Yarım Dalga Dipol Antenleri (Half Wave Dipole Antennas)	Çanak Antenler (Dish Antennas)
-	Katlanmış Dipol Antenleri (Folded Dipole Antennas)	Log-Periyodik Antenler (Log-Periodic Antennas)
-	-	Rombik Antenler (Rhombic Antennas)

Horn anten, yönlü yayılım yapmak amacıyla kullanılan ve şekli kornaya benzediği için horn adını alan anten türüdür. Horn antenler yaygın olarak kablo tipi antenlerden daha yüksek mikrodalga frekanslarında kullanılırlar [4]. Horn antenlerin bant genişlik aralığının fazla olması, dalga kılavuzuna uygun kolay bir arayüze sahip olmaları, yapımlarının basit olması gibi avantajları vardır [5]. Ayrıca horn antenlerin tek bir yönde yayılım yapmaları, verimlerinin yüksek olması ve yukarıdaki belirtilen avantajlarından dolayı bu çalışmada horn anten kullanılmıştır.

Horn anten tabanlı sensörler konusunda literatüre bakıldığında birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Ayman ve Abdel [6], gizli hedef tespiti için horn anten tabanlı sensör geliştirmişlerdir. Çalışmalarında 3 horn anten kullanmışlardır, bu horn antenlerden ortadaki statik radar görevi görürken, iki yan anten gizli bir nesneden geri dağılmış sinyalleri almak için kullanılır [6]. Fernand [7], Otomatik kapı sensörlerini horn anten kullanarak geliştirmiştir ve bazı sakıncaları önlemiştir [7].

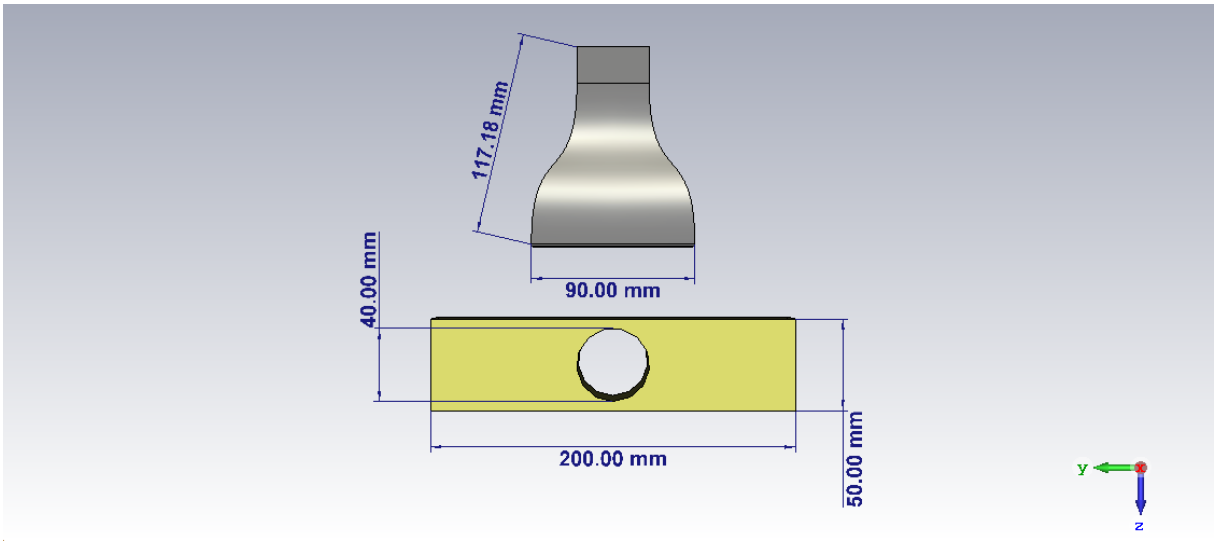
Tünel tespiti hakkında da literatüre bakıldığında birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Daniel ve arkadaşları [8], yasadışı kazılan tünellerin tespiti ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada 8 bantlı VNIR(visible and near-infrared) aralığında yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini pansharpening teknikleri kullanarak üretmişlerdir ve deep CNN(convolutional neural network) metodu kullanılarak tünel tespitini yapmışlardır [8]. Lorenzo ve arkadaşları [9], tünel ve yeraltı boşlukları tespiti için RF(Radio Frequency) tomografisi yöntemini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada zeminin yüzeyine düşük maliyetli alıcıları ve vericileri hafifçe gömmüşlerdir. Bu vericiler toprağa güç gönderir ve alıcılar yansıyan gücü toplayıp ana istasyon olarak adlandırdıkları merkeze iletir. Bu şekilde tünel tespiti gerçekleştirmişlerdir [9]. Peterie ve arkadaşları [10], SH- dalga kırınımı görüntüleme

yoluyla uyuşturucu ve insan kaçakçılığı için kullanılan gizli tünelleri tespit etmek üzerine bir çalışma yapmışlardır [10]. Sarah ve arkadaşları [11], tünel ortamında ileri ve geri yayılan yüzey dalgaları arasında oluşan etkileşimden dolayı meydana gelen yüzey dalga enerjisinden tünel tespiti çalışması yapmışlardır [11].

Öncelike bu çalışmada CST microwave studio programında birbirine paralel 2 adet aynı boyutlarda horn anten tasarlanmıştır. Sonra bu antenlerin altına kum zemin olarak simülasyon programının kütüphanesinden sandy soil yerleştirilmiştir. Bu şekilde simüle edilmiş ve $S_{2,1}$ sonuçları elde edilmiştir. Daha sonra bu kum zemin içerisine bir tünel açılmış ve tekrar simüle edilmiştir ve $S_{2,1}$ sonuçları kayıt edilmiştir. Son olarak sadece kum zeminin ve içinde tünel olan kum zeminin $S_{2,1}$ sonuçları karşılaştırılmış ve sonuç elde edilmiştir.

2. Anten Tasarımı

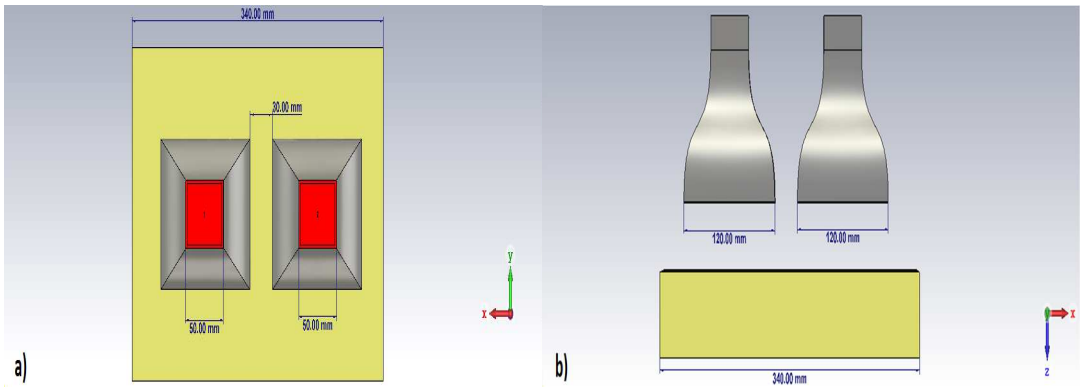
Deney düzeneği 2 horn antenden, kum zeminden ve içinde tünel boşluğa bulunan kum zeminden oluşmaktadır. Horn antenler CST microwave studio programının kütüphanesinde mevcut olan PEC(Perfect Electric Conductor) materyali referans alınarak tasarlanmıştır. Kum zemin olarak simülasyon programının kütüphanesinden sandy soil materyali referans alınmıştır. Horn antenlerin, kum zeminin ve tünelin boyutları aşağıdaki şekillerde belirtildiği gibidir.



Şekil 1 – Tünel ve horn antenlerin boyutları (yan görünüm)

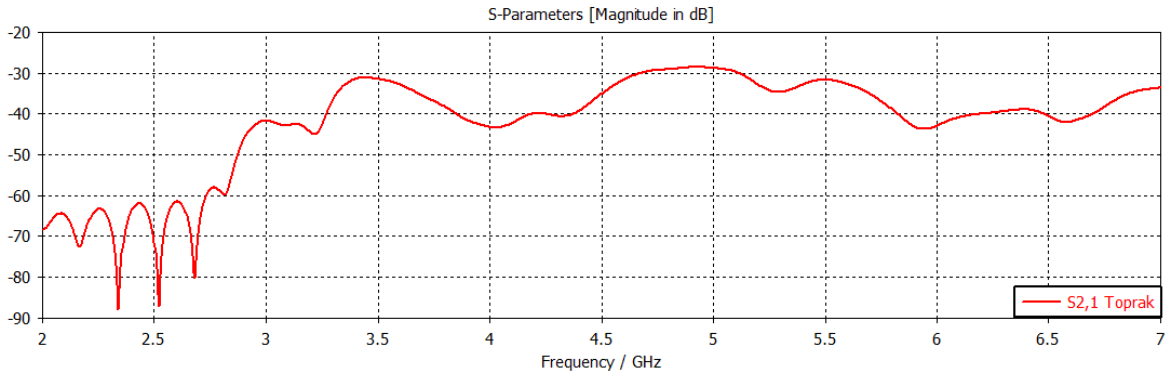
CST microwave studio programında birbirinin aynı 2 adet horn anten birbirine paralel bir şekilde, aynı yönde yayılım yapacak biçimde tasarlanmıştır. Antenlerin reciprocity özelliği sayesinde alıcı ve verici özellikleri birbirinin aynısıdır. Bu özellik sayesinde 1. anten ve 2. anten yer değiştirebilir. 1. anten alıcı 2. anten verici yada 1. anten verici 2. anten alıcı olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada belirleyici parametre olarak $S_{2,1}$ parametresi seçilmiştir. $S_{2,1}$ parametresi, 1. antenden (verici) 2. antene (alıcı) aktarılan güçtür. Bu çalışmada $S_{2,1}$ parametresinin önemini daha detaylı bir şekilde anlatmak gerekirse verici antenden boşluğa aktarılan sinyallerin kum zeminden yansıyıp alıcı antene iletilme katsayısını gösteren bir saçılma parametresidir.



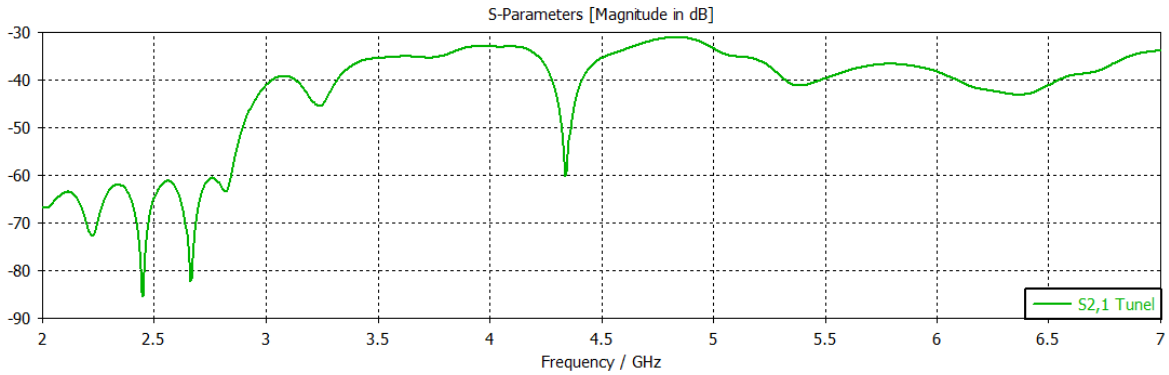
Şekil 2 – Horn antenler ve Kum zemin boyutları a) üst görünüm b) ön görünüm

3. Simülasyon Sonuçları



Şekil 3 – Sadece toprak için $S_{2,1}$ sonuçları

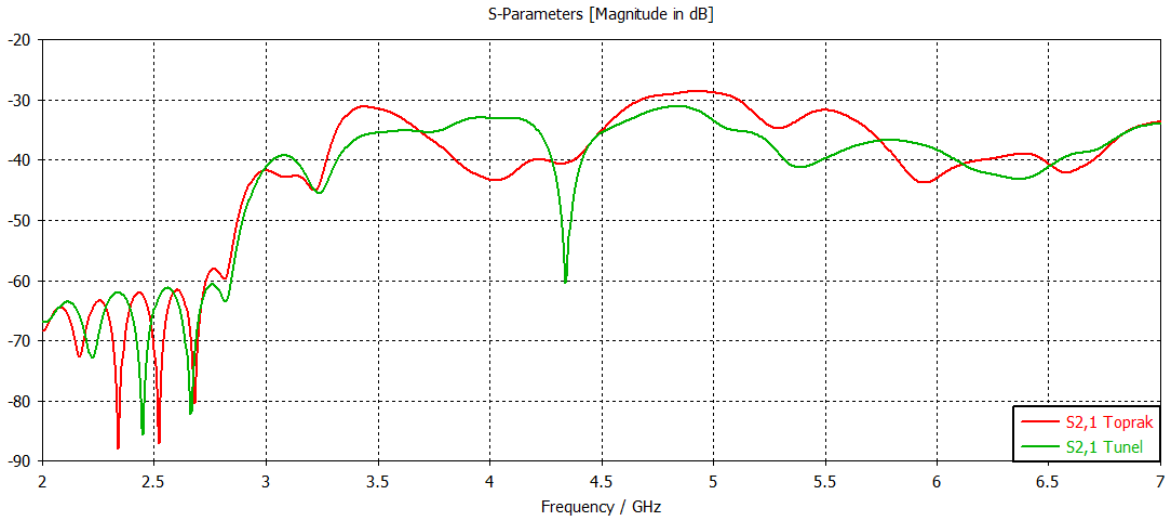
Şekil 3'te toprak için elde edilen $S_{2,1}$ parametre sonuçları grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4 – Tünel için $S_{2,1}$ sonuçları

Şekil 4'te tünel için elde edilen $S_{2,1}$ parametre sonuçları grafik olarak gösterilmiştir.

Grafiklerde görülen $S_{2,1}$ parametrelerindeki değişimlerin sebebi, maddelerin dielektrik sabitlerinin frekansa bağlı olmasıdır. Maddelerin dielektrik sabitleri farklı frekanslarda farklı değerlerdir ve bu sebepten $S_{2,1}$ parametrelerinde değişime yol açar.



Şekil 5 – $S_{2,1}$ sonuçları kıyaslaması

Şekil 5'te tünel ve toprak için elde edilen $S_{2,1}$ parametre sonuçları kıyaslanmıştır. Bu doğrultuda 2 parametre arasındaki farkın tünel tespiti yapabilmek için yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

4. Sonuçlar

Çalışmada, 200mm x 340mm boyutlarındaki ve 50mm derinliğindeki kum zemin içindeki 40mm çapındaki tünel tespiti birbirine paralel 2 horn anten ile yapılmıştır. Bu çalışmada materyaller CST microwave studio programının kütüphanesinden referans alınmıştır. Kum zemin için sandy soil, horn antenler için PEC materyali simülasyon programının kütüphanesinden referans alınmıştır, tasarlanmıştır. Daha sonra kum zemin ve tünel için ayrı ayrı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Belirleyici parametre olarak $S_{2,1}$ parametreleri seçilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları doğrultusunda $S_{2,1}$ parametrelerinde tünel tespiti için yeterli fark bulunmuştur ve tünelin konumu başarılı bir şekilde tespit edilmiştir. Bu çalışma sonuçları gelecekte yeni metotlarla geliştirilebilir ve farklı anten tabanlı sensör çalışmalarına ışık tutabilir.

Referanslar

1. Elektrikport, https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/antenler-ve-cesitleri/16763#ad-image-0, Yıldızlı Proje Danışmanlık ve Eğitim, erişim tarihi: 05.05.2019
2. BALANİS, C.A., "Antenna Theory Analysis and Design", John Wiley & Sons, 2. Baskı, New York, 1997.
3. Johnson, R. C., Ecker, H. A., & Hollis, J. S. (1973). Determination of far-field antenna patterns from near-field measurements. *Proceedings of the IEEE*, *61*(12), 1668-1694.
4. Huang, Y., Boyle, K., "Antennas: From Theory to Practice", John Wiley & Sons, 1. Baskı, United Kingdom, 2008.
5. Yeh, M. H. (2004). *U.S. Patent No. 6,778,140*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
6. Elboushi, A., & Sebak, A. (2014). MMW sensor for hidden targets detection and warning based on reflection/scattering approach. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, *62*(9), 4890-4894.
7. Van Genechten, F. (2000). *U.S. Patent No. 6,114,956*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
8. Perez, D., Banerjee, D., Kwan, C., Dao, M., Shen, Y., Koperski, K., ... & Li, J. (2017, October). Deep learning for effective detection of excavated soil related to illegal tunnel activities. In 2017 IEEE 8th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON) (pp. 626-632). IEEE.
9. Monte, L. L., Erricolo, D., Soldovieri, F., & Wicks, M. C. (2009). Radio frequency tomography for tunnel detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *48*(3), 1128-1137.
10. Peterie, S., Miller, R., Morton, S., Wang, Y., Sloan, S., Moran, M., & Cudney, H. (2016). Tunnel detection using SH-wave diffraction imaging. In SEG Technical Program Expanded Abstracts 2016 (pp. 5006-5010). Society of Exploration Geophysicists.
11. Morton, S. L., Peterie, S. L., Ivanov, J., Miller, R. D., & Sloan, S. D. (2017). Joint interpretation of multicomponent surface-wave data for tunnel detection. In SEG Technical Program Expanded Abstracts 2017 (pp. 5458-5464). Society of Exploration Geophysicists.

Shear Strength characteristics of clay with construction and demolition solid waste materials

Muhamd Dafer ABULNAFAA[1], Ali Firat CABALAR[2], Zuheir KARABASH [3]

[1] Department of Environmental Engineering, Mosul University, Iraq
[2] Department of Civil Engineering, Gaziantep University, Turkey
[3]Department of Dams and Water Resources Engineering, Mosul University, Iraq
Emails: mohammed_al_heyaly@yahoo, cabalar@gantep.edu.tr, karabash@uomosul.edu.iq

Abstract

Shear strength is considered as one of the important geotechnical properties of the soil. Due to the increase in amount of construction and demolition solid waste materials (C&D), these materials have been mixed with clay soil. An experimental study was performed to investigate the effect of three types of construction and demolition solid waste materials on the shear strength a clay. The crushed bricks pieces (CBP), dumped asphalt pieces (DAP) and crushed concrete pieces (CCP) were mixed with natural clay in different percentages, namely; 5%, 10%, 15%, and 20%. The experimental work includes direct shear and compaction tests in order to investigate the shear strength response of pure clay and clay with C&D materials. The results showed that the type and size of the C&D particles have significant influences on the shear strength parameters (ϕ, c). The addition of 10% of C&D results gives the maximum angle of internal friction and minimum cohesion.

Keyword(s): Shear strength, construction and demolition materials, clay.

1- Introduction

The cities have recently generated large amount of waste materials. One of the largest types of these materials is the construction and demolition (C&D) solid waste materials. The C&D material can be classified as dragged asphalt pavement; steel, crushed brick, recycled concrete aggregate timber, and other building materials (Fig. 1). The disposal of these materials hampers environmental and economic problems. In addition, some types of these materials are reusable and can be used in the civil constructions. Several researchers investigated the ability of the use of the C&D materials and the geotechnical properties of the soils mixed with these materials [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9].

The shear strength of the solid waste material has been studied by many researchers [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. According to Stark and Huvaj-Sarihan [18] the shear strength of municipal solid waste (MSW) materials was affected by of many factors including type of waste materials, waste material contents, densities of waste, daily cover, water content, used time, dissolution of waste materials, applied pressure. Zekkos et al. [19] showed that the drained shear response of the MSW might differ significantly depends on the specimen waste composition and the mode of shearing. The behavior of the soils mixed with the C&D wastes

in geotechnical application has been investigated by numerous of researchers [8, 20, 21, 22, 23, 24, and 25]. Park [1] studied the compaction characteristics and physical properties of two waste aggregates. These solid waste materials were generated from a house modifying places and reconstruction of old concrete roads. A comparison was made between the response of these waste materials and the behavior of natural materials (gravel and crushed stone pieces). Park [1] showed that recycled concrete aggregates (RCA) could be used in road construction as sub-base or base materials. Mohammadinia et al. [26] studied the strength of the same materials, but the investigators added cement as curing material to enhance the strength.

The objective of the present paper is to investigate the shear strength response of the clay soil mixed with different amounts of C&D materials. Also, the paper aims to study the variation of shear strength parameters with the C&D material percentages, in the aim to predict soil and waste C&D material mixtures bearing capacity, especially when these materials have been used as fill material in civil engineering constructions.

Fig. 1 Photos of (a) crushed bricks, (b) old pavement asphalt, (c) crushed concrete piles.

2- Materials and experimental study

A- Materials

The soil used during the experimental study was clay, the samples of clay were obtained from the Gaziantep University campus. The values of liquid limit and plastic limit of the soil were found to be 42.5 and 24.5, respectively. The specific gravity of clay grains was equal to 2.7. Subsequently, the soil classified as CL according to the Unified Soil Classification System (USCS) and as A-7-6(19) according to AASHTO classification system.

Three solid waste materials known as construction and demolition C&D materials were used and mixed with the clay. The solid waste materials were crushed bricks pieces (CBP),

produced from the demolition of masonry of structures, dumped asphalt pieces (DAP), produced by destruction of old or crushed asphalt roads, and crushed concrete pieces (CCP), generated from old concrete pavement slab and sidewalks. The C&D materials were obtained from the municipal area of Gaziantep city. The materials were taken by large plastic bags to the geotechnical laboratory, after that the three materials were cleaned, dried, and crushed in to required sizes. The C&D materials mixed with clay in the direct shear tests were sieved using sieve No.10 (2mm). The grain size distribution curves of the clay and three solid waste materials were presented in Fig. 2. In addition, Fig.3 shows the photos of the three C&D materials.

B- Testing appuratus and experimental methods

A series of direct shear tests were performed for clay mixed with different amount of C&D materials. The selected percentages of the waste material were 5%, 10%, 15% and 20% by dry weight of the entire specimen. The C&D materials were sieved for the direct shear test using sieve No.10 (2mm). Clay was mixed with the C&D materials in the air dried condition. Then the water content will added to the mixture in percentages corresponding to the optimum moisture content. In the aim of obtaining the maximum dry unit weights and optimum moisture contents for all clay and C&D material mixtures, compaction tests were conducted using modified compaction energy. The prepared specimens for the direct shear tests were compacted inside the shear test ring in unit weight corresponding to maximum dry unit weight. Special design compaction mold was used to press the soil and C&D materials mixture inside the shear ring using static pressing pressure. The pressing rate was equal to 0.02 mm/ sec. The prepared specimen was carefully transformed inside the direct shear test cell. The specimens were tested under consolidation drained condition to obtain effective shear parameters. The specimens were firstly consolidated under static consolidation pressure. For set of tests, three identical specimens were prepared and consolidated under 100, 200, and 300 kN/m2, respectively. the test consist of two stages, first consolidation stage under static loads for 24 hr. the second stage is shear stage under drained condition using very slow shearing rate (0.02 mm/min.) [28, and 29].

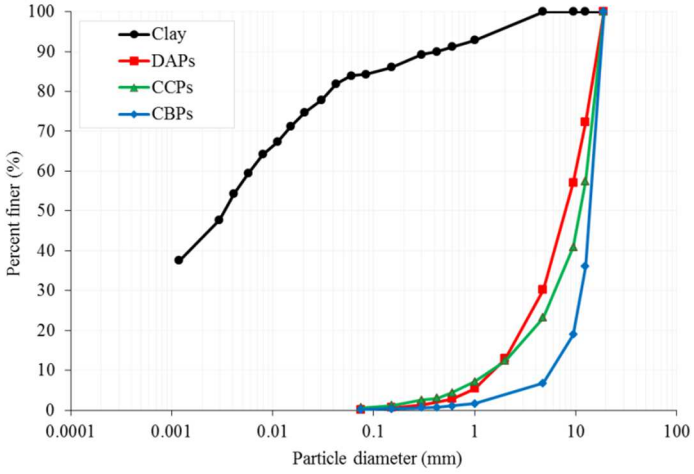


Fig. 2 Grain size distribution of the clay and C&D materials

Fig. 3 Photos of C&D materials (a) CBP, (b) DAP, and (c) CCP.

3- Results and discussions

Tests focused on the influence of the different amounts of the C&D material on the shear strength parameters of clay. Table 1 and Figs. 4 and 5 shows the variation of the effective shear strength parameters, effective angle of internal friction and cohesion with the percentages of C&D materials. As can be seen from Table 1 and Fig 4, there is significant increases in the values of effective angle of internal friction as the percentage of the C&D materials increases and especially in the case of specimens of clay with CDP and CCP mixtures. This behavior continued until 10% of these material and then the values of the effective angle of internal friction decrease. The gradation of the soil grains plays an important role in shear strength of the soil. It may effect on the particles sliding or interlocking. These effects might increase the values of the effective angle of internal friction. In the case of specimens of clay with DAP the values of the angle of internal friction smaller than other waste material mixtures. The results are in agreement with the results were obtained by [8]. They concluded that the viscosity of asphaltic materials that coat the aggregate grains, in the DAP materials reduce the strength parameters. The asphaltic materials act as lubricating material between soil- aggregate particles .The reason of the response might be the DAP contain small amount of asphaltic material which reduces the friction between soil grains. The variation of the effective cohesion of the clay and C&D material specimens with the amount these materials are presented in Table1 and Fig 5. It is clearly observed from the table and the figure that the value of the cohesion

decrease a as the amount of the C&D materials increase. Furthermore, the cohesion of the specimens becomes lower at 10% of C&D materials. This behavior as the authors think is due to the C&D material grains have no cohesion or bonding between them. On the other hand, the inclusion of these materials within clay particles reduces their cohesions. The inclusions of the grains of these materials within clay particles and the distribution of these grains in all places of the soil have a great influence on clay behaviors. Especially in direct shear test in which shearing occur in predetermined failure surface (see Fig. 6) [29, 30]. Therefore, the positioning or not of the C&D material grains through this plain have a great effect on the shear strength of the soil.

Table 1 shear strength parameters of clay and clay with C&D materials.

Mixture type	C&D content (%)	Optimum moisture content (%)	Maximum dry unit weight (kN/m³)	Effective cohesion (c') kN/m²	Effective angle of internal friction (ϕ') degree
Natural clay	0	18	17.3	20.0	29.0
CBP[a]	5	18.2	17.25	17.0	30.5
CBP	10	17.5	17.21	5.0	34.0
CBP	15	17.6	17.22	42.0	31.0
CBP	20	17.1	17.1	30.0	30.0
CBP	100	9.1	13.8	---	---
DAP[b]	5	13.5	17.58	12.0	28.0
DAP	10	12.6	17.92	5.0	30.5
DAP	15	12	18	11.0	29.0
DAP	20	11.6	18.26	15.0	25.8
DAP	100	6.5	17.85	---	---
CCP[c]	5	16.6	17.3	20.5	31.0
CCP	10	16.3	17.7	12.0	34.0
CCP	15	15.8	17.8	28.0	31.5
CCP	20	15.2	17.93	19.0	33.0
CCP	100	7	17.63	---	---

a: Crushed bricks pieces b: Dumped asphalt pieces c: Crushed concrete pieces

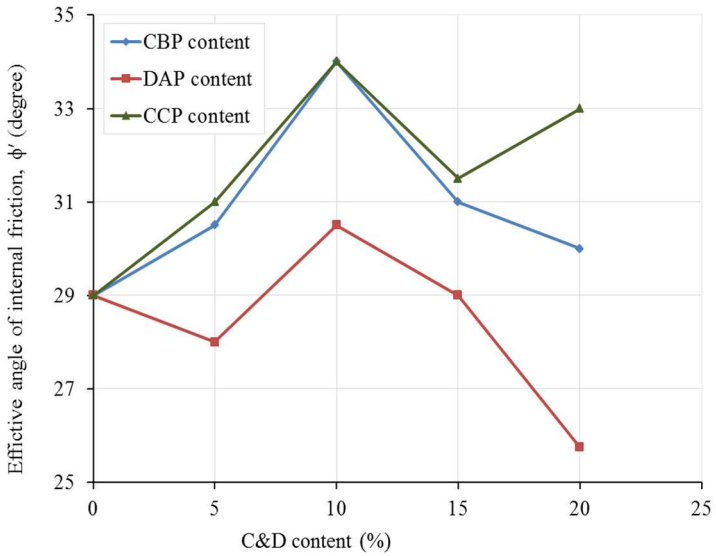


Fig. 4 Variations of the effective angle of internal friction with the C&D material contents.

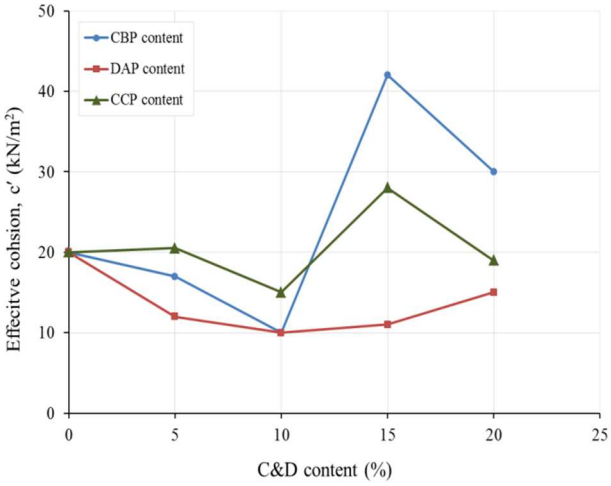


Fig. 5 Variations of the effective cohesion with the C&D materials contents.

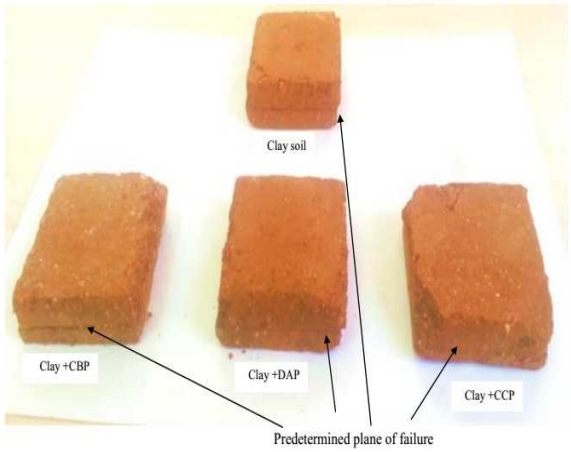


Fig. 6 Photos of direct shear test samples after test for natural clay and clay with C&D materials.

The stress- strain response of the clay and clay mixed with C&D materials for specimens consolidated and sheared under 300 kN/m^2 normal pressure are presented in Figs 7-10. It can be seen from these figures that the shear stresses of the clay with C&D material specimens are lower than the shear stress of pure clay specimens. While as the displacement increase during the test; the shear stress of the specimens of clay with CBP and CCP increases. The reason of this behavior might be due to the interlocking between the soil particles and the C&D material grains increase as the displacement level become higher. This stress-strain response of clay with C&D mixtures samples were due to the nature and concentration of specific C&D grains in the direct shear samples. The rigidity of CCP, the elasticity of DAP, and the cohesive soil likeness of CBP play an important role in determining the stress-strain relationship of clay- C&D mixtures in the direct shear test.

The variations of the vertical displacement occur during shearing with the amount of the C&D percentages are presented in figs 11-13. The figures were shows the vertical displacement for specimens tested under normal pressures equal to 100, 200, 300 kN/m^2, respectively. In general, there are a flocculation in the amount of the vertical displacement resulted at the end of shearing with the percentages of the C&D materials. This behavior might be related with the interlocking and the rolling of the C&D materials grains within clay particles. On the other hand, the values of the vertical displacement for all mixtures become higher as the consolidation and shearing normal pressures

increase. The reason of this behavior as the authors think is that the interlocking between the soils particles and C&D grains increase as the normal pressures increase.

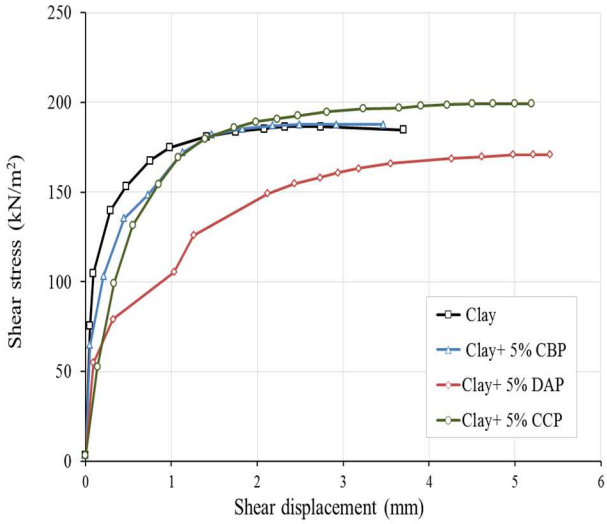


Fig. 7 Stress-strain responses of clay with 5% of C&D materials specimens at 300 kN/m^2 normal pressure.

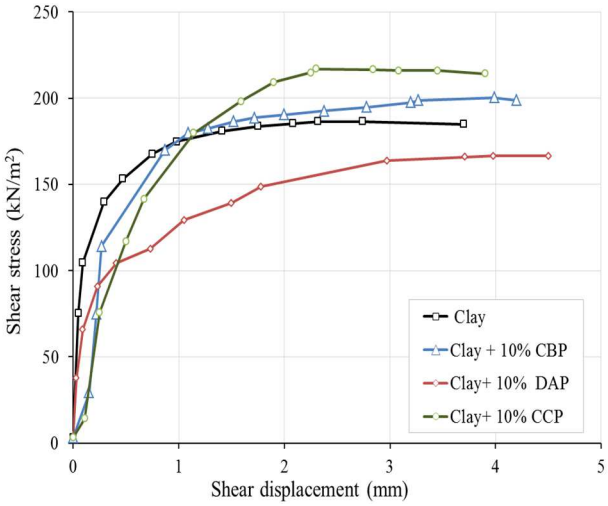


Fig. 8 Stress-strain responses of clay with 10% of C&D materials specimens at 300 kN/m^2 normal pressure.

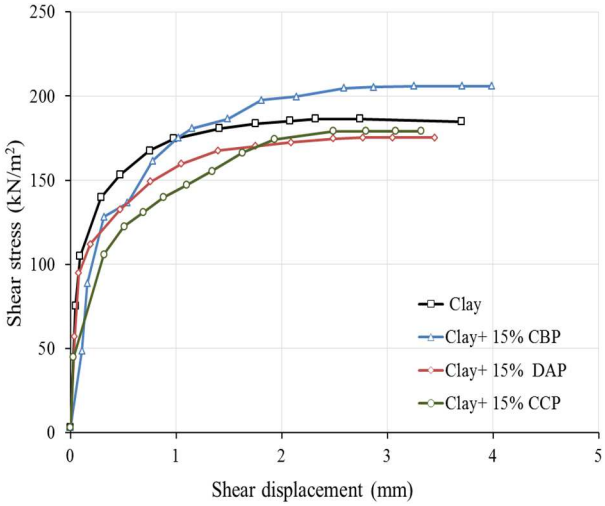


Fig. 9 Stress-strain responses of clay with 15% of C&D materials specimens at 300 kN/m^2 normal pressure.

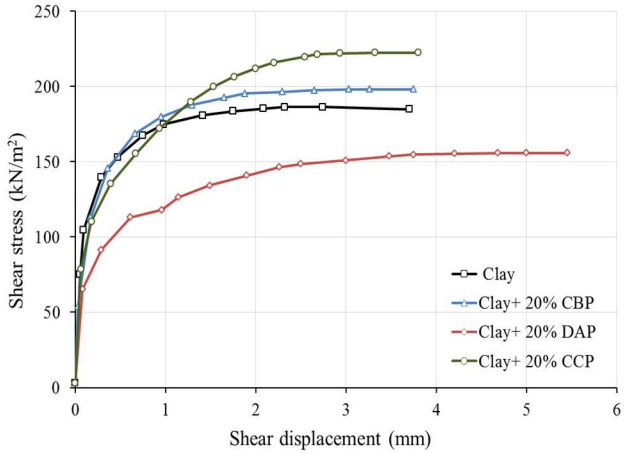


Fig. 10 Stress-strain responses of clay with 20% of C&D materials specimens at 300 kN/m^2 normal pressure.

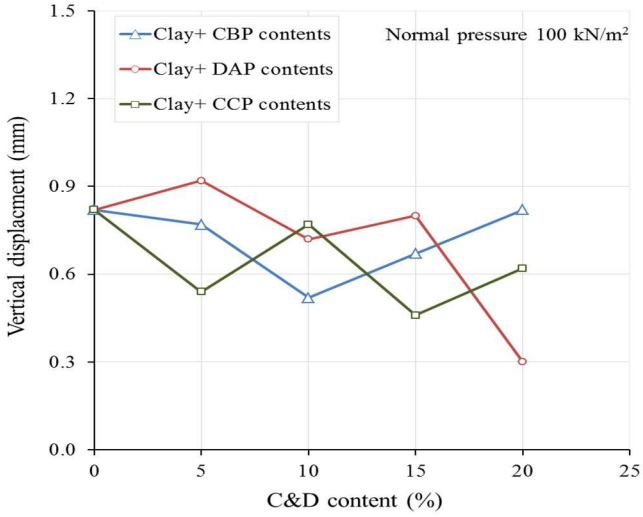


Fig. **11** Vertical displacement at failure for clay and clay with C&D material specimens (Normal pressure 100 kN/m^2).

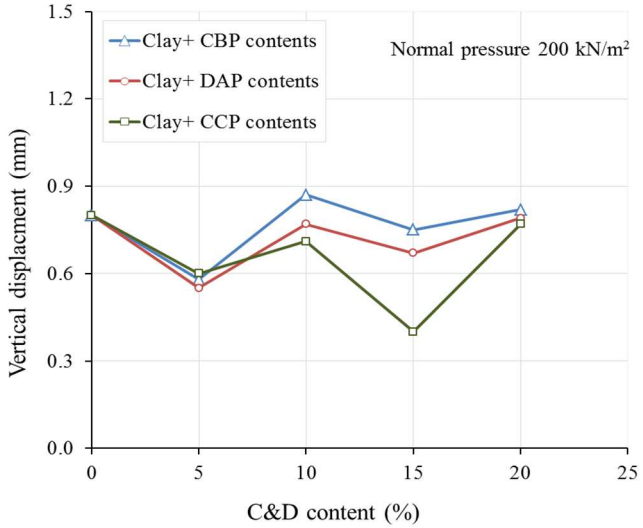


Fig. **12** Vertical displacement at failure for clay and clay with C&D material specimens (Normal pressure 200 kN/m^2).

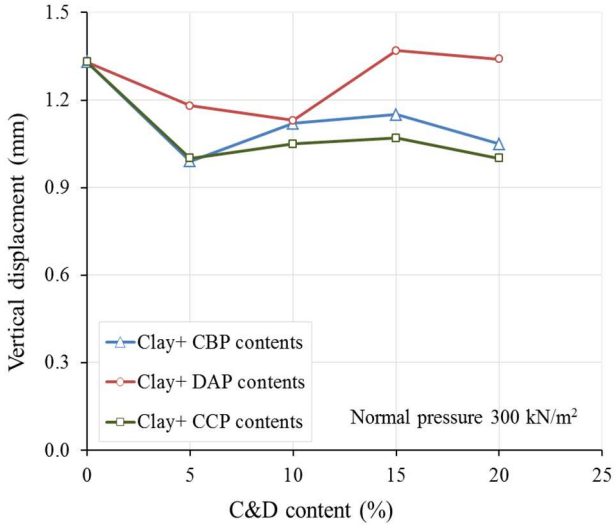


Fig. 13 Vertical displacement at failure for clay and clay with C&D material specimens (Normal pressure 300 kN/m^2).

4- Conclusions and recommendations

The influence of three waste solid C&D materials on the shear strength response of clay soil was investigated during the experimental work. Hence, the usability of these waste materials in soil modification and stabilization was studied. Based on the results obtained from the laboratory tests, the addition of the C&D materials to the clay soil has a significant influence on the shear strength parameters (ϕ', c'). Furthermore, the addition of 10% from C&D materials results maximum angle of internal friction of the mixtures. However, the same percentage of C&D results minimum cohesion (c'). The addition of CBP and CCP increase in general, the angle of internal friction, while, the addition of DAP decrease the same value. In addition, the size of C&D, and the concentration of these materials in the middle of soil samples have a great effect on the results fluctuation. The results shows that for any specific displacement obtained by direct shear test, the CCP material mixtures results almost the highest shear stress whereas, the DAP material mixtures results the lowest shear stress values. The CBP material mixture specimens provide shear stress close to that of natural clay specimens.

5- References

[1] Park, T. (2003). Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement. Journal of Transportation Engineering, 129, 5, 558-563.

[2] Warner, JD. (2007). The beneficial reuse of asphalt shingles in roadway construction. M.Sc. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin-Madison,Madison.

[3] Soleimanbeigi, A.; Edil, T.; Benson, C., (2011). Evaluation of recycled asphalt shingles as structural fill. Recycled Materials Resource Center, University of Wisconsin-Madison, Madison.

[4] Hoyos, L.R., Puppala, A.J., Ordonez, C.A., (2011). Characterization of cement-fiber-treated reclaimed asphalt pavement aggregates: preliminary investigation. J Mater Civ Eng. 23(7):977–989.

[5] Warner, J.D., Edil, T.B. (2012). An evaluation of reclaimed asphalt shingles for beneficial reuse in roadway construction. J ASTM Int 1(9):146–167.

[6] Zhu, J., Wu, S., Zhong, J., Wang, D. (2012). Investigation of asphalt mixture containing demolition waste obtained from earthquakedamaged buildings. Constr Build Mater 29:466–475

[7] Arulrajah, A., Rahman, M. A., Piratheepan, J., Bo, M. W., and Imteaz, M. A. (2013a). Evaluation of interface shear strength properties of geogrid-reinforced construction and demolition materials using a modified large-scale direct shear testing apparatus. Journal of Materials in Civil Engineering, 26,5, 974-982.

[8] Arulrajah, A., Piratheepan, J. and Disfani, M. M. (2013b). Reclaimed asphalt pavement/recycled concrete aggregate blends in pavement sub-bases: laboratory and field evaluation. Journal of Materials in Civil Engineering, 26,2, 349-357. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000850.

[9] Behiry, A. E. A. E. M. (2013). Utilization of cement treated recycled concrete aggregates as base or subbase layer in Egypt. Ain Shams Engineering Journal, 4, 4, 661-673.

[10] Kavazanjian, E. (2001). Mechanical properties of municipal solid waste. In Proceedings Sardinia, Vol. 1, No. 8, pp. 415-424.

[11] Vilar, O. M., and Carvalho, M. F. (2002). Shear strength properties of municipal solid waste. Proc., 4th Int. Congress on Environmental Geotechnics, Vol. 1, 59–64.

[12] Zekkos, D. P. (2005). Evaluation of static and dynamic properties of municipal solid-waste. University of California, Berkeley.

[13] Dixon, N., and Jones, D. R. V. (2005). Engineering properties of municipal solid waste. Geotextiles and Geomembranes, 23(3), 205-233.

[14] Zekkos, D., Bray, J. D., and Riemer, M. F. (2008). Shear modulus and material damping of municipal solid waste based on large-scale cyclic triaxial testing. Can. Geotech. J., 45,1, 45–58.

[15] Langer, U. (2005). Shear and compression behaviour of undegraded municipal solid waste (Doctoral dissertation).

[16] Bray, J. D., Zekkos, D., Kavazanjian Jr, E., Athanasopoulos, G. A., & Riemer, M. F. (2009). Shear strength of municipal solid waste. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(6), 709-722.

[17] Reddy, K. R., Hettiarachchi, H., Parakalla, N. S., Gangathulasi, J., & Bogner, J. E. (2009). Geotechnical properties of fresh municipal solid waste at Orchard Hills Landfill, USA. Waste Management, 29(2), 952-959.

[18] Stark, T. D., Huvaj-Sarihan, N., & Li, G. (2009). Shear strength of municipal solid waste for stability analyses. Environmental Geology, 57(8), 1911-1923.

[19] Zekkos, D., Bray, J. D., Athanasopoulos, G. A., Riemer, M. F., Kavazanjian, E., Founta, X., & Grizi, A. (2007, June). Compositional and loading rate effects on the shear strength of municipal solid waste. In Proceedings of the 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (pp. 25-28).

[20] Nunes, M. C. M. (1997). Enabling the use of alternative materials in road construction PH.D., University of Nottingham. UK.

[21] Taha, R., Al-Harthy, A., Al-Shamsi, K., and Al-Zubeidi, M. (2002). Cement stabilization of reclaimed asphalt pavement aggregate for road bases and subbases. Journal of Materials in Civil Engineering, 14, 3, 239-245.

[22] Santos, E. C. G., & Vilar, O. M. (2008). Use of recycled construction and demolition wastes (RCDW) as backfill of reinforced soil structures. In Proceedings of the 4th European Conference on Geosynthetics–EUROGEO, 4.

[23] Santos, E. C. G., Palmeira, E. M., and Bathurst, R. J. (2010). Construction of a full-scale wrapped face geogrid reinforced wall using recycled construction and demolition waste as backfill material. In 9th International Conference on Geosynthetics, Guarujá, Brazil, Vol. 4, p. 17.

[24] Santos, E. C., Palmeira, E. M., and Bathurst, R. J. (2013). Behaviour of a geogrid reinforced wall built with recycled construction and demolition waste backfill on a collapsible foundation. Geotextiles and Geomembranes, 39, 9-19.

[25] Santos, E. C. G., Palmeira, E. M., & Bathurst, R. J. (2014). Performance of two geosynthetic reinforced walls with recycled construction waste backfill and constructed on collapsible ground. Geosynthetics International, 21(4), 256-269.

[26] Mohammadinia, A., Arulrajah, A., Sanjayan, J., Disfani, M. M., Bo, M. W., and Darmawan, S. (2014). Laboratory evaluation of the use of cement-treated construction and demolition materials in pavement base and subbase applications. Journal of Materials in Civil Engineering, 27,6, 0401-4186.

[27] ASTM. American Society for Testing and Materials. (2012). Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort. D1557-2012West Conshohocken, PA.

[28] ASTM. American Society for Testing and Materials. (2011). Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. D3080– 2011West Conshohocken, PA.

[29] Coduto, D.P., (1999). Geotechnical engineering principles and practices. 2nd edition. Upper Saddle River, NJ07458. Prentice Hall.

[30] Das, B.M., and Sohban, K. (2014). Principles of geotechnical engineering. 8th edition. Global Engineering: Christopher M. Shortt. USA.

Undrained shear strength values of clay-sewage sludge ash mixtures (Oral)

Süleyman Demir[1], Ali Firat Cabalar[2]

[1] Department of Civil Engineering, Kilis 7 Aralik University, Turkey
[2]Department of Civil Engineering, University of Gaziantep, Turkey
Emails: suleymandemir@kilis.edu.tr, cabalar@gantep.edu.tr

Abstract

This paper provides undrained shear strength (s_u) values of clay-sewage sludge ash (SSA) mixtures. The SSA used in the paper is a product generated during the combustion of sewage sludge in Gaziantep municipal wastewater treatment plant. The SSA was mixed with the clay at mixtures ratios of 0%, 10%, and 20% by dry weight. An intensive series of laboratory vane shear test performed to the mixtures to evaluate the s_u values. The test results indicated that the s_u values increased with the SSA additions at a given water content values. Evidently, this experimental study suggests the SSA could use as a method to improve geotechnical properties of problematic soils.

Keywords: Clay, Sewage sludge ash

1. Introduction

Waste is any type of unusable material occurred during the life cycle. Waste materials are increasing as the world population increases. At the moment, approximately 3 billion tons/day of waste is produced in the world and it is expected to double in 2050. In 2016, Denmark, Norway and Switzerland are among the leading countries in waste production with 777, 754, 720 kg/capita respectively. On the other hand, there is some improvement in recycled statistics. For example, Germany, Austria and Slovenia managed to recover 66%, 57% and 57% of their waste production, respectively in 2016 (Hoornweg and Thomas 1999).

Waste materials can be categorized into several types including solid waste, hazardous waste liquid waste, organic waste. The sewage sludge ash (SSA) is one of the waste types emerged during the treatment of wastewater. Solid and liquid wastes occur during wastewater treatment. Sludge being one of such wastes contains heavy materials (Zhang et al., 2017), therefore the disposal of a sludge waste is a challenging area throughout the world. The sludge ashes could be disposed in the land by burying. The ashes emerged during the burning of the sludge is sewage sludge ash (Fytili, D and Zabaniotou, 2008; Amiralian et al., 2015). The researchers studied using sewage sludge ash for engineering applications (Chen and Lin, 2009; Norouzian et al., 2018). For example, Chen and Lin (2009) used the SSA-cement mixture to improve the poor engineering properties of silty clay. The researchers performed unconfined compression (UCS) test, swelling and California bearing ratio (CBR) tests to the samples containing SSA-cement and silty clay. The results obtained by the researchers showed that SSA/cement admixture increased the unconfined compression strength (q_u) and CBR values of the clean silty clay and reduced the swelling potential. Al-Sharif and Attom

(2014) carried out Atterberg limit, UCS, compaction and swelling pressure tests of clay-SSA mixtures. The test results indicated that SSA grains decreased the plasticity index, swelling pressure and swelling potential values of clayey soils. On the other hand, maximum dry density, q_u value increased up to the addition of 7.5% SSA and decreased with further additions. Lin et al (2007) compared the geotechnical properties of a soil treated with fy ash and SSA performing UCS, compaction, CBR and triaxial tests. The researchers concluded that SSA grains decreased the swelling potential of the soil, while increased q_u and CBR values. On the other hand, the researchers show that mixtures containing SSA grains have greater optimum water content and have lower q_u and CBR values than the mixtures containing fly ash. There are other fields for utilizing of SSA such as concrete. Many researchers have shown the usability of SSA grains with cement in concrete (Lynn et al., 2015; Parisfi et al., 2016).

2.Materials and method

In this study, a clay and SSA were used during experimental study. The clay was obtained from the campus of the University of Gaziantep, Turkey. The particle size distribution of the clay is presented in Figure 1. The SSA is a by-product generated during the combustion of sewage sludge in Gaziantep municipal wastewater treatment plant. The scanning electron microscope (SEM) pictures of the soils used during the experimental study were presented in Figure 2. The ASTM D4648 testing procedure was followed during Laboratory vane shear tests.

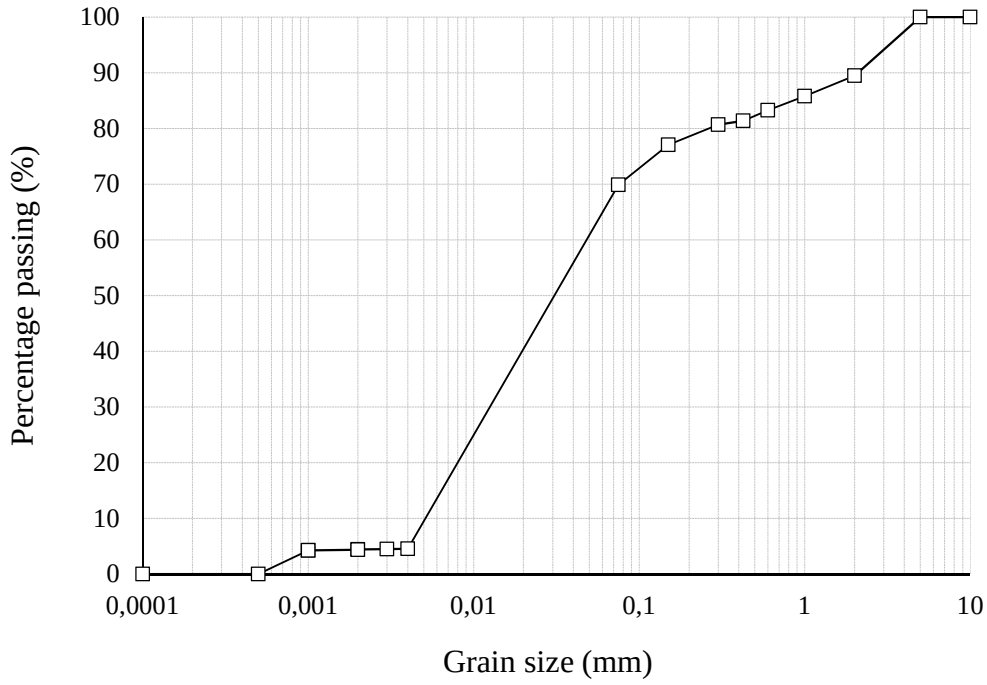
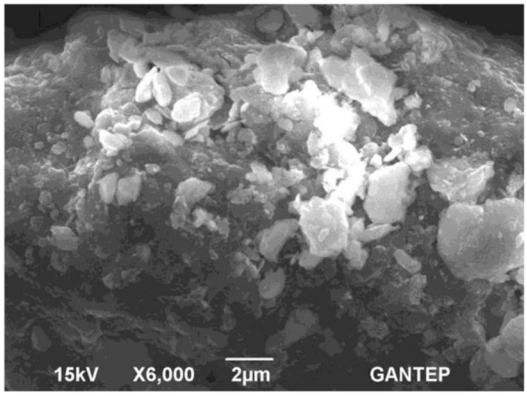
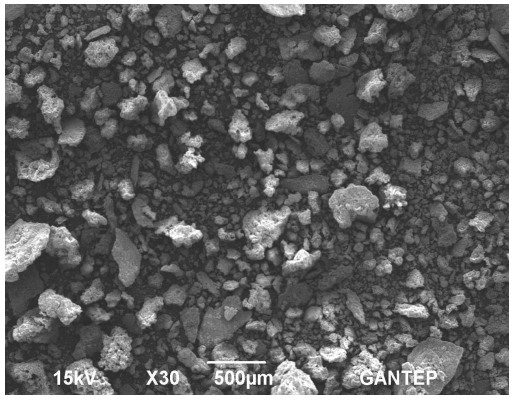


Figure 1. The particle size distribution of the clay



(a)



(b)

Figure 2. The SEM pictures of (a) clay (b) SSA used in the experimental study

3.Results and discussions

Vane shear test is one of the reliable laboratory tests to obtained the s_u values of a soil. In this study, an intensive series of laboratory vane shear test was performed to the mixtures containing different water contents. The results of the experimental study are presented in Figure 3. The first striking result is that the water content of the mixtures governs the s_u values. For example, increasing the water content from 32% to 40% decreased the s_u of clay with 10% SSA from 10 kPa to 3 kPa. On the other hand, the effect of SSA grains on the results can be examined by comparing the results of the samples prepared in a constant water content. For example, the s_u value of samples containing 0%, 10% and 20% SSA with a water content of 35% were found to be 1.5 kPa, 6.3 kPa, and 15 kPa, respectively. The main reason for the increament of the s_u with SSA grains is a possible decrease of the void ratio of clay with SSA additions. Besides, the more cohesion of SSA grains than the clay could be the reason of the s_u increment. Lin et al. (2005) also found an increment of the shear strength of soil with SSA grains.

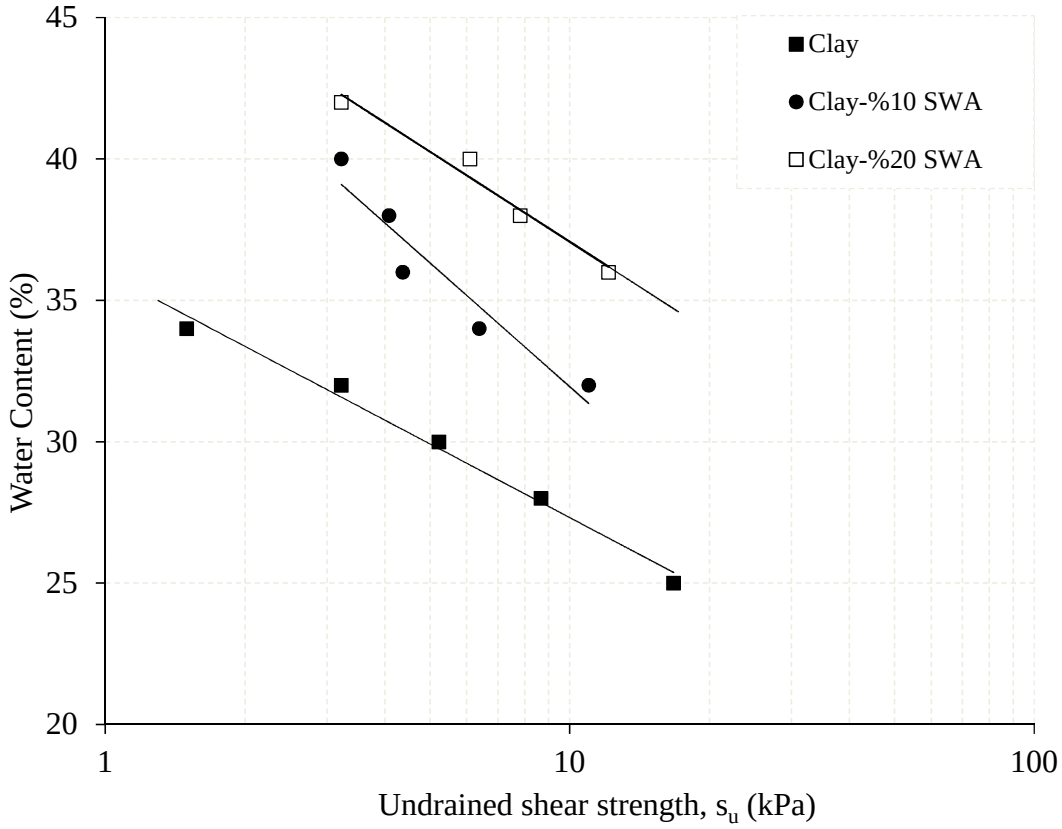


Figure 3. The s_u values of samples

4.Conclusions

This study evaluates the undrained shear strength (s_u) values of clay treated with SSA grains. SSA grains were mixed with the clay at 0%, 10% and 20% by dry weights. A series of laboratory vane shear tests performed to the samples. The results obtained from the study can be listed as follows.

• The s_u values are mainly governed by the water content of the samples. The increased water content in a sample decreased the s_u values.

• The s_u values of samples increased with the SSA additions at a given water content

As a result, this study showed that SSA grains can be used in soil stabilization applications. Following studies may examine the different geotechnical properties of these mixtures, such as permeability and consolidation.

References

Al-Sharif, M. M., & Attom, M. F. (2014). A geoenvironmental application of burned wastewater sludge ash in soil stabilization. *Environmental earth sciences*, *71*(5), 2453-2463.

Amiralian, S., Budihardjo, M. A., Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2015). Study of scale effect on strength characteristic of stabilised composite with sewage sludge–Part A: Preliminary study. *Construction and Building Materials*, *80*, 339-345.

Chen, L., & Lin, D. F. (2009). Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement. *Journal of Hazardous Materials*, *162*(1), 321-327.

Fytili, D., & Zabaniotou, A. (2008). Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, *12*(1), 116-140.

Hoornweg, D. and Bhada-Tata, P. (2012) What a waste – a review of solid waste management. World Bank Urban development series, No. 15 Knowledge Papers, http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf

Lin, D. F., Lin, K. L., & Luo, H. L. (2007). A comparison between sludge ash and fly ash on the improvement in soft soil. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *57*(1), 59-64.

Lin, D. F., Luo, H. L., Hsiao, D. H., & Yang, C. C. (2005). "The effects of sludge ash on the strength of soft subgrade soil." source: Journal of the Chinese Institute of Environmental Engineering 15, 1-10.

Lynn, C. J., Dhir, R. K., Ghataora, G. S., & West, R. P. (2015). Sewage sludge ash characteristics and potential for use in concrete. *Construction and Building Materials*, *98*, 767-779.

Norouzian, K., Abbasi, N., & Koupai, J. A. (2018). Use of sewage sludge ash and hydrated lime to improve the engineering properties of clayey soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, *36*(3), 1575-1586.

Paris, J. M., Roessler, J. G., Ferraro, C. C., DeFord, H. D., & Townsend, T. G. (2016). A review of waste products utilized as supplements to Portland cement in concrete. *Journal of Cleaner Production*, *121*, 1-18.

Zhang, X., Wang, X. Q., & Wang, D. F. (2017). Immobilization of heavy metals in sewage sludge during land application process in China: A review. *Sustainability*, *9*(11), 2020.

Şev Stabilite Analizleri-Bir Vaka Çalışması

Orhan KAHRAMAN, Zeki SAĞIR[2]

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Iskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Hatay, Türkiye
[2]Irmak-Doğa Mühendislik Ltd. Şti, İskenderun, Hatay, Türkiye
E-mail: orhan.kahraman.mfbe18@iste.edu.tr, zeki@irmakdoga.com.tr

Özet

Bu çalışmada Irmak-Doğa Mühendislik tarafından projelendirilen bir karayolunda mevcut yarma şevine ait stabilite analizleri ve değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışmada ilgili kesimdeki zemin ve kayanın geoteknik parametreleri yapılan sondaj ve laboratuvar çalışmalarıyla belirlenmiş olup Irmak-Doğa Mühendislik'ten alınmıştır. Kritik kesimin en kesiti çıkarılarak zemin profili üzerine işlenmiştir. Oluşturulan şev modelinde şev stabilite hesapları farklı şev eğimlerinde değerlendirilerek statik durum ve deprem durumunda analizler yapılmıştır. Kaya parametrelerinin belirlenmesinde Hoek-Brown yenilme kriteri, şev stabilite hesaplarında Mohr-Coulomb zemin modeli ile Bishop dilim yöntemi kullanılmıştır. En uygun şev eğimine göre tasarım parametreleri önerilmiştir. Kaya dayanım parametrelerini elde etmek için Roclab programı kullanılmıştır. Analizler farklı şev açılarında 1/1, 1/2, 2/3, 1/3, (45°, 56°, 63°, 72°) kalıcı (statik) durum ve sismik durumlar için gerçekleştirilmiştir. Analizler, belli bir şev açısı değerinden sonra (56°) risk oluştuğunu ve belirlenen güvenlik sayılarının altında kalındığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev, şev açısı, stabilite, vaka analizi, Bishop dilim yöntemi

Abstract

In this study, stability analyzes and evaluations of the existing slope slope on a road projected by Irmak-Doğa Engineering were carried out. In the study, geotechnical parameters of the ground and rock in the relevant section were determined by drilling and laboratory studies and taken from Irmak-Doğa Engineering. The cross section of the critical section has been removed and processed on the floor profile. In the slope model, the slope stability calculations were evaluated in different slope gradients and the static state and earthquake analyzes were performed. In the determination of rock parameters, Hoek-Brown defeat criterion, Mohr-Coulomb soil model and Bishop slice method were used for slope stability calculations. Design parameters are proposed according to the optimum slope inclination. Roclab program was used to obtain rock strength parameters. The analyzes were performed at 1/1, 1/2, 2/3, 1/3, (45°, 56°, 63°, 72°) persistent (static) conditions and seismic conditions at different bevel angles. Analyzes showed that after a certain taper angle (56°) the risk occurred and the safety numbers were below the specified number.

Keywords: Slope, slope angle, stability, case analysis, Bishop slice method

1. Giriş

Yol güzergâhları oluşturulurken birtakım jeolojik ve geoteknik araştırmalar yapılmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) Teknik Araştırma Dairesi tarafından kontrol edilen bu çalışmalar; yolun zemin koşulları, jeolojisi, hidrolojisi, topoğrafyası ve yol standartları açısından incelenmesi aşamalarından oluşmaktadır. Ayrıca yolun güzergâhı oluşturulurken; maliyet, emniyet, yapım süresi, estetik ve çevre açısından değerlendirmeler de yapılarak, en uygun projenin tasarlanması sağlanmaktadır. Yolun stabilitesine ve yapım maliyetlerine doğrudan etki eden faktörlerden birisi de

dolgu ve yarma şevlerinin uygun bir şekilde tespit edilmesidir. Dolgu ve yarma şevlerinin belirlenmesinde yürürlükte olan Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (2005) dikkate alınmaktadır. Yarma şevleri tasarımında yolun proje ömrü boyunca stabil kalmasını sağlayacak şev eğimleri, drenaj tedbirleri ve gerekli görüldüğü takdirde iksa (destek) yapıları göz önüne alınarak yapılmalıdır. Yol Mühendisliğinde yarma ve dolgu şevlerinin stabil şekilde kalmalarını sağlamak amacıyla şevlere verilebilecek eğimlerin belirlenmesi için stabilite analizlerini yapılması gerekmektedir. Tasarım,yolun proje ömrü boyunca stabil kalmasını sağlayacak şev eğimleri ve drenaj tedbirleri ve gerekli görüldüğü hallerde iksa (destek) yapıları göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (2005)'e göre yüksekliği (H)⩾ 15m olan yarmalarda genel olarak 10m'de bir 5m genişliğinde palyeler ile tasarım yapılacaktır (KGM, TADB, Ankara, 2005). Yarma ve dolgu şevleri için güvenlik sayıları kriterleri belirlenmiş olup hesaplamalarda bu kriterler dikkate alınacaktır. Yarma şev stabilite analizlerinde aşağıda verilen güvenlik sayılarına uyulacaktır:

Tablo 1. Yarma Şevleri İçin Güvenlik Sayıları Kriterleri (AMHTŞ, 2005)

		Drenajsız Kayma Dayanımı Parametreleri	**Efektif Parametreler**
Koşullar	Uzun Dönem (Statik)		1.5
	Uzun Dönem (Deprem) H>15m		1.1
	Kısa Dönem (Statik)	1.5	-
	Sanat Yapısı Temeli İçeren Yamaç İçin	2	-

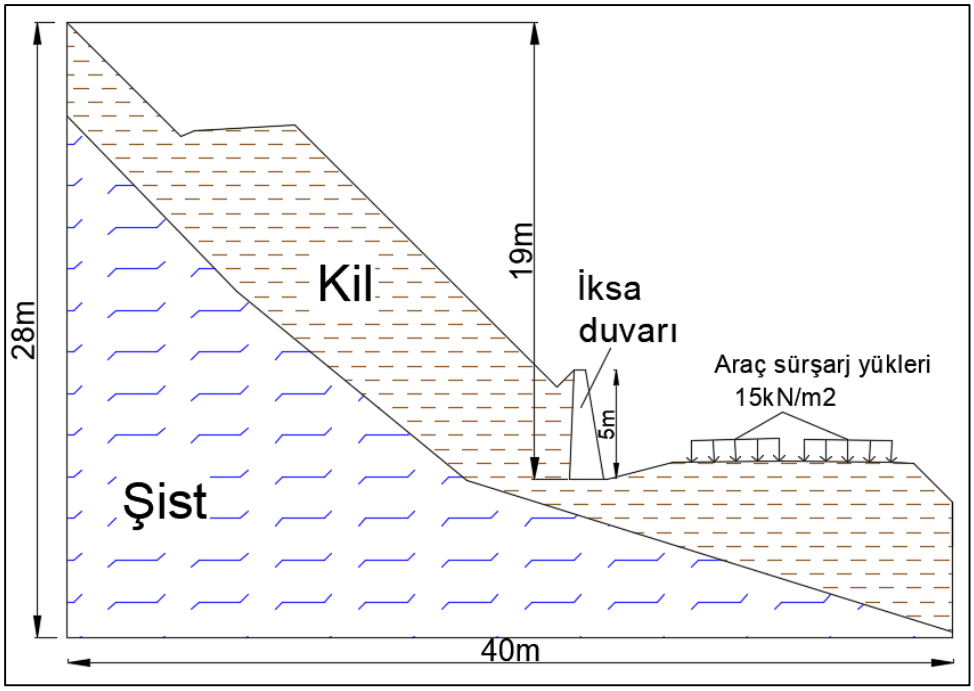
Literatürde yer alan Şev stabilite analiz yöntemleri ilk olarak Fellenius (1927, 1936) tarafından geliştirilen Dilim Yöntemi olup Mohr-Coulomb yenilme ölçütünü dikkate almaktadır. Bu yaklaşımda kayma dairesi düşey dilimlere ayrılmakta ve şevin kayma güvenliği her dilimin stabilitesi hesaplanarak belirlenmektedir. Basitleştirilmiş Bishop yöntemi (1955)'nde ise yatay ve düşey kuvvet dengesi dikkate alınırken, dilimler arası kayma kuvvetini ihmal edilmiştir. Janbu (1957)'de dairesel olmayan kayma yüzeyinde; dilimler arası normal kuvveti hesaba dahil edilirken, dilimler arası kayma kuvveti ihmal edilir. Spencer (1967) ise; dilimler arası normal ve dilimler arası kayma kuvvetleri arasındaki ilişkiyi sabit kabul ederek, moment ve yatay kuvvet dengelerini aynı anda sağlayan oranı bulan yaklaşım geliştirmiştir.

Bu çalışmada Bitlis il yolunda bulunan 19m yüksekliğindeki yarma şevinin stabilite analizi yapılmıştır. Bu amaçla bir zemin modeli oluşturulmuş değişen şev eğimlerinde analizler gerçekleştirilmiş ve farklı güvenlik sayıları elde edilmiştir. Çalışmada GEO 5.0 sayısal analiz programı kullanılmıştır. Farklı şev eğimlerinde uzun dönem (statik) ve deprem (sismik) durumları için analizler gerçekleştirilmiş ve güvenlik sayıları elde edilmiştir. Analizlerde literatürde yer alan Bishop basitleştirilmiş dilim yöntemi esas alınmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmada 2 boyutlu sayısal analiz yapan GEO 5 bilgisayar programıyla şev stabilite hesapları yapılmıştır. Program geoteknik hesaplamalarda kullanılmak üzere literatürde yer alan Bishop, Janbu, Spencer dilim yöntemleri esaslarına göre geliştirilmiştir.

Analizlerde kullanılan modelin genişliği 40m, toplam yükseklik 28m, şev yüksekliği 19m olup yolun platform genişliği 11m'dir. Şevin yola olan mesafesi 4.5m'dir. Yarma şevi dibinde tasarlanan iksa duvarı yüksekliği 5m'dir. İlgili kesimde açılan sondaj loğlarına göre zemin profili yaklaşık 4m kil tabakası altında şist kaya birimi olarak geçilmiştir. Araç sürşarj yükü 15kN/m^2 olarak alınmıştır. Şekil 1'de modele ait detaylı enkesit yer almaktadır.



Şekil 1. Oluşturulan modele ait enkesit şematik gösterimi

Modeldeki kil ve şist birimlerin dayanım parametreleri açılan sondajlardan elde edilen numunelere ait laboratuvar deney sonuçlarından elde edilmiştir. Şiste ait parametrelerin belirlenmesinde Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre çalışan Roclab sayısal analiz programından yararlanılmıştır.

Kil ve şist birimler için elde edilen zemin ve kaya mukavemet parametreleri sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te sunulmuştur:

Tablo 2. Kil zemin dayanım parametreleri

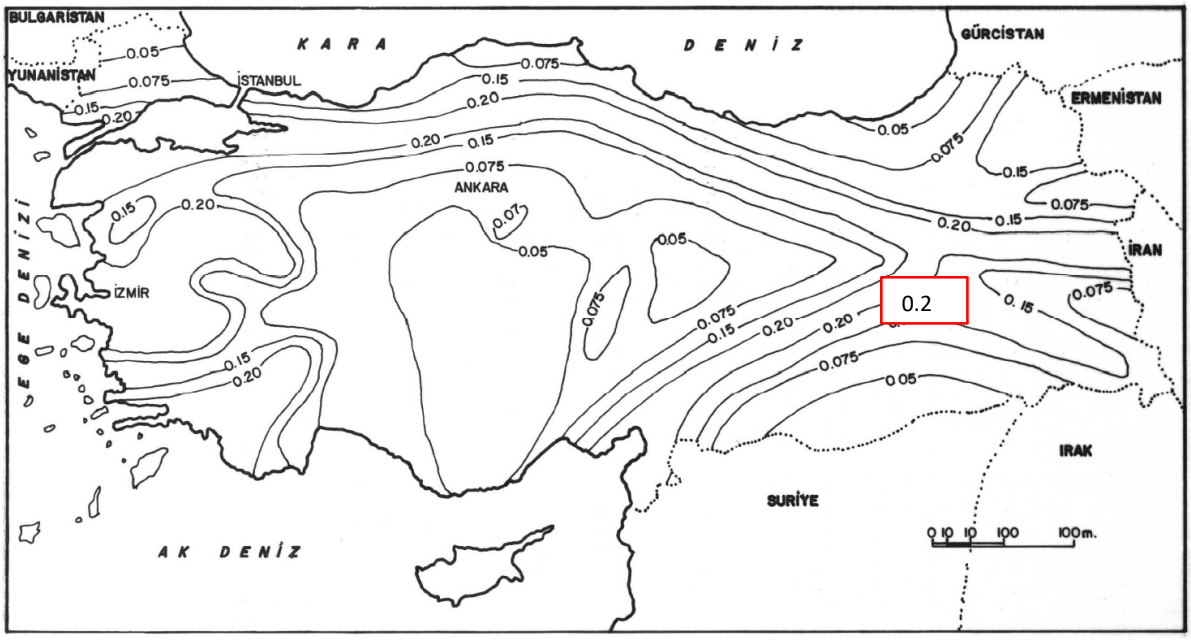
Parametre Adı	**Simge**	**Birim**	**Değeri**
Birim hacim ağırlığı	γ	kN/m^3	28.1
Kohezyon	c	kN/m^2	86
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(˚)	28

Tablo 3. Şist birime ait dayanım parametreleri

Parametre Adı	**Simge**	**Birim**	**Değeri**
Birim hacim ağırlığı	γ	kN/m^3	28
Tek eksenli basınç dayanımı	σ_c	kN/m^2	181*10^3

Kohezyon	c	kN/m^2	1370
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(˚)	64

Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (2005)'e göre şev stabilite analizlerine Esas Yatay Deprem Katsayıları haritası Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 1. Şev stabilite analizlerine Esas Yatay Deprem Katsayıları (AMHTŞ, 2005)

Bitlis bölgesi için yatay deprem katsayısı 0.2 alınmıştır. Yarma şevleri için güvenlik sayıları efektif koşullarda uzun dönem (statik) durum için 1.5 ve uzun dönem (deprem) durumu için 1.1 olup analizlerde bu güvenlik sayılarına uyulacaktır (Tablo 1.).

3. Bulgular ve Tartışma

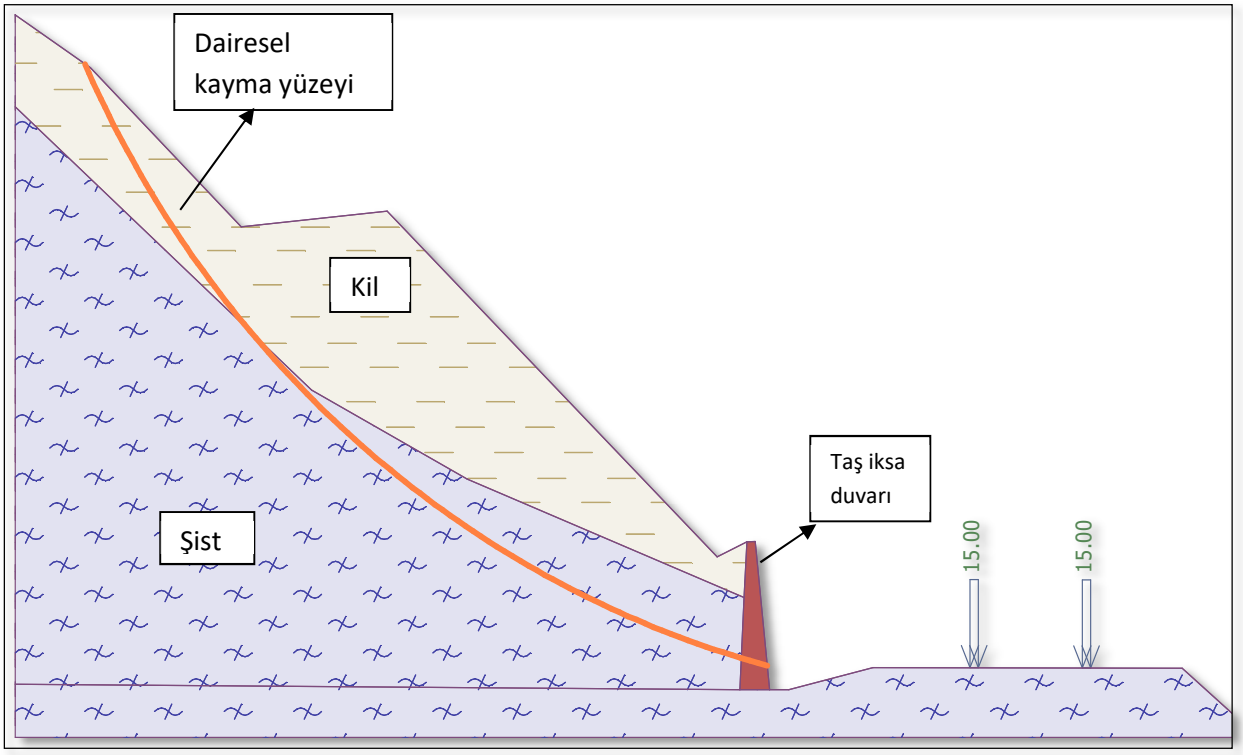
Çalışmada farklı şev açılarında 1/1, 1/2, 2/3, 1/3, (45°, 56°, 63°, 72°) kalıcı (statik) durum ve sismik (deprem) durumlar için şev stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu elde edilen güvenlik sayıları şev eğimlerine göre statik durum ve sismik durum için ayrı ayrı Tablo 4'te sunulmuştur:

Tablo 4-Analizler sonrası elde edilen güvenlik sayıları

Şev eğim-açısı	Statik durum	Sismik durum
1/3-72°	0.88	0.68
1/2-63°	0.95	0.78
1/1-45°	3.2	2.3
2/3-56°	2.2	1.7

Elde edilen sonuçlar yarma şevleri için belirlenen güvenlik sayıları kriterlerine göre kıyaslandığında (statik durum 1.5, sismik durum 1.1) 1/1 (45º) ve 2/3 (56º) şev eğimlerine göre elde

edilen güvenlik sayıları sırasıyla statik durum için 3.2>1.5, 2.2>1.5 ve sismik durum için 2.3>1.1 ve 1.7>1.1 olduğundan verilen şev eğimleri uygun görülmektedir. İlgili kesimdeki yarma şevi 1/1 ve 2/3 eğimleri arasından 1/1 şev eğimi uygulanması tercih edilmiştir. Yarma şevi dibine 5m yüksekliğinde taş iksa duvarı teşkil edilecektir. 1/1 şev eğimi için yapılan sayısal analiz ekran görüntüsü Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. 1/1 Şev eğimi (45 º) sayısal analizi ekran görüntüsü

4. Sonuçlar

Bu çalışmada kritik görülen en kesite göre zemin modeli oluşturulmuş ve arazi-laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilere göre geoteknik parametreler belirlenmiştir. Parametrelerin belirlenmesinin ardından şev stabilite analizlerine geçilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Farklı şev açılarında 1/1, 1/2, 2/3, 1/3, (45°, 56°, 63°, 72°) stabilite analizleri statik (kalıcı) durum ve deprem (sismik) durumları için tekrarlanmıştır.
- Analizler sonucu elde edilen güvenlik sayıları Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (AMHTŞ)'ne göre yarma şevleri için belirlenen güvenlik sayıları ile karşılaştırılmıştır.
- Analizler sonucunda şev açısının belli bir değerden sonra (2/3, 56°) risk oluşturduğu ve belirlenen güvenlik sayılarının altında kaldığı gözlenmiştir.
- Elde edilen tüm veriler değerlendirildiğinde belirlenen yarma şevinde kritik kesim için 1/1 eğimle 45° ve 10m yüksekliğinde şev açılıp 5m palyeli şekilde taş iksa duvarı ile teşkil edilirse uzun dönem statik durum ve sismik durum için herhangi bir stabilite problemi beklenmemektedir.

5. Kaynaklar

1. Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (KGM, TADB, Ankara, 2005).
2. Bishop, A. W., 1955, The Use Of Slip Circle In The Stability Analysis.
3. Fellenius, W.,1927, Erolstatische Berechnunugen W.Ernst&Sohn, Berlin
4. Fredlund D.G. and Krahn, J. 1977, Comparison of Slope Stability Methods of Analysis. Canadian Geotechnical Journal, VoL 14, No.3, pp. 429-439.
5. Janbu, N., 1976, Slope stability computations Embank Dam Enginnering (Eds. Hirschfeld&Poulos) J. Wiley, NewYork.
6. Janbu, N.(1968).Slope stability computations. Soil mechanics and foundation engineering report, Technical University of Norway, Trondheim.
7. Keleşoğlu, M.K., (2016), Şevlerin Stabilitesi. 5 Ocak 2019 tarihinde http://imoistanbul.org/imoarsiv/geoteknik-kurs-notlari-2016/1.hafta/kubilay-hoca.pdf adresinden erişildi.
8. Laurin J., & Vodolan M. (1989). Geo5 Geotechnical Software For Slope Stability-Version 2018.75
9. Önalp, A ve Arel, E., 2004, Geoteknik Bilgisi II Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
10. Spencer, E., 1967, A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces Geotechnique 17:1:11-26.

Lastik Atık Katkılı Zeminlerde CBR Değerinin Araştırılması

Merve ERGİNER[1], Orhan KAHRAMAN[2], Ahmet Batuhan ERSİN[3], Yakup TÜREDİ[4], Murat ÖRNEK[5]

[1,2,3,4,5] İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Hatay, Türkiye
Email: merveerginer.mfbe18@iste.edu.tr, orhankahraman.mfbe17@iste.edu.tr, batu0013@gmail.com, yakup.turedi@iste.edu.tr, murat.ornek@iste.edu.tr

Özet

Zeminlerin özelliklerini istenilen bir mühendislik uygulamasına yönelik olarak iyileştirebilmek için literatürde çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden biri de zemine katkı maddeleri ilave ederek zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Mühendislik uygulamalarında katkı maddesi kullanmak her zaman çok ekonomik olmamaktadır. Ancak atık olarak ortaya çıkan ürünler zeminleri iyileştirmede kullanılabildiğinde hem ekonomi sağlanmakta hem de söz konusu bu atık ürünlerin doğaya ve çevreye zarar vermesinin önüne geçilebilmektedir. Bu amaçla, çalışma kapsamında ayakkabı sanayisinde lastik atık olarak adlandırılan poliüretan malzemesi küçük parçalar halinde zemine farklı oranlarda katılarak zeminin CBR değeri araştırılmıştır. Zemine hacimce %0, %5, %10, %20, %25, %50 ve %75 oranlarında lastik katkı ilave edilerek CBR deneyleri yapılarak 2.5mm ve 5.0mm penetrasyona karşılık yük değerleri elde edilmiştir. Deneyler sonucunda zemine %20 oranına kadar lastik katkı ilavesiyle taşıma gücünde belirli bir artış meydana geldiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: CBR deneyi, lastik atık, zemin iyileştirme

Abstract

There are various methods in the literature to improve the properties of soils for a desired engineering application. One of these methods is to improve the properties of the soil by adding additives to the soil. It is not always very economical to use additives in engineering applications. However, these waste products can be used to improve the soils for economical and environmental purposes. For this purpose, the so-called rubber waste in the shoe industry, the polyurethane material was added to the soil in different proportions and the CBR value of the ground was investigated. 0%, 5%, 10%, 20%, 25%, 50% and 75% by volume rubber additives were added to the soil and CBR tests were performed and the load values of 2.5mm and 5.0mm displacement were obtained. As seen that there was a certain increase in the bearing capacity with the addition of up to 20% rubber additive to the soil.

Keywords: CBR test, tire waste, soil improvement

1.Giriş

Zeminlerin özellikleri, üzerine inşa edilecek yapıların tasarımında göz önüne alınması gereken önemli bir konudur. Dayanıklı ve sağlam bir yapı inşa edebilmek için zeminin iyi tanınması gerekmektedir. Bu da ancak iyi bir zemin etüdü ile mümkün olmaktadır. Zemin etüdü ile zeminde karşılaşılabilecek sorunlar önceden belirlenebilmektedir. Karşılaşılan sorunlar bazen yapı inşa yerinin ya da projenin değişmesine bazen de zeminde iyileştirmeye gidilmesine neden olmaktadır.

Zeminde iyileştirme yaparak yapı için elverişsiz olan bir zemin ortamının özellikleri değiştirilebilmektedir. Zemin özelliklerini değiştirebilmek amacıyla literatürde çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak her yöntem her zemin türünde uygulanamayabilir. Uygulanacak yöntemin

belirlenmesinde zemin koşulları, çalışma sahası, ekipman, yöntemin çevreye etkisi ve ekonomi gibi parametreler önemlidir. Zemin iyileştirme, zeminde kuyular açılarak bu kuyuların çimento harcı, kırmataş vb. malzemelerle doldurularak sıkıştırılması ile yapılabildiği gibi zemine katkı maddeleri ilave edilerek de gerçekleştirilebilir. Fedakar ve Güllü [1] tarafından yapılan çalışmada farklı oranlarda hazırlanan atık su çamuru külü-kaba daneli zemin karışımlarının CBR performansı incelenmiştir. Bu çalışma ile %15'e kadar atık su çamuru külünün kaba daneli zeminlere ilavesiyle doğal zeminin CBR performansının arttığı görülmüştür. Selekoğlu ve ark. [2] tarafından yapılan çalışmada ise, demir çelik endüstrisinde elde edilen çelikhane cürufunun kil zeminlere ilave edilmesiyle zeminin endeks ve mukavemet özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile belirli oranlarda çelikhane cürufu katkısıyla kil zeminin endeks ve mukavemet özelliklerinde iyileşmeler olduğu görülmüştür.

Cömert ve Ural [3] tarafından yapılan çalışma ile mermer tozunun kaolen/bentonit karışımı şişme potansiyeli olan bir zemin üzerinde kürsüz ve kürlü, kuru ve yaş şartlarda, kıvam limitlerine ve CBR değerine etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda mermer tozu katkılı karışımlarda kürsüz, 7 gün kürlü ve 24 gün kürlü durumda kuru CBR, şişme yüzdesi ve yaş CBR deneyleri yapılmıştır. Sonuçta kürlü ve kürsüz karışımlarda yaş CBR değerinin kuru CBR değerinden %50 oranında daha az olduğu, 28 gün kürlü karışımlarda %5 mermer tozu katkılı zeminde en yüksek yaş ve kuru CBR değerini verdiği ve mermer tozu oranı arttıkça plastikliğin azaldığı görülmüştür.

Ordu ve ark. [4] tarafından yapılan çalışmada, öğütülmüş atık lastik parçalarından oluşan katkı malzemelerinin kumlu zemine karıştırılmasıyla CBR karakteristiklerinin değişimi incelenmiştir. Farklı su muhtevalarındaki zemin numunelerine ağırlıkça %0, %1 ve %2 granül atık lastik karıştırılarak CBR deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda öğütülmüş atık lastik oranlarının artmasıyla kumlu zeminde CBR değerlerinde artış olmadığı aksine azalmalar olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma kapsamında katkı maddesi ilave edilerek zeminin taşıma gücünün arttırılması amaçlanmıştır. Katkı maddesi olarak atık bir ürün kullanılmıştır. Ayakkabı sanayisinde lastik atık olarak adlandırılan poliüretan malzemesi küçük parçalar halinde zemine katılarak taşıma gücünün arttırılması için seri deneyler yapılmıştır. İlk olarak, deneylerde kullanılan zeminin endeks özelliklerinin tayini için elek analizi, piknometre deneyi ve sıkılık deneyleri, daha sonra da zemine farklı oranlarda lastik atık katkısı ile standart proktor deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda lastik atık katkılı zeminlerin maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası değerleri belirlenmiştir. Belirli oranlarda lastik atık katkılı olan zeminler optimum su muhtevalarına getirilerek CBR deneyleri yapılmıştır. Deneylerde 2.5mm ve 5.0mm deformasyona karşılık gelen yük değerleri okunmuştur. Deney sonuçları, zemine hacimce %20 oranına kadar lastik katkı ilave edildiğinde zeminin taşıma gücünün arttığını göstermiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

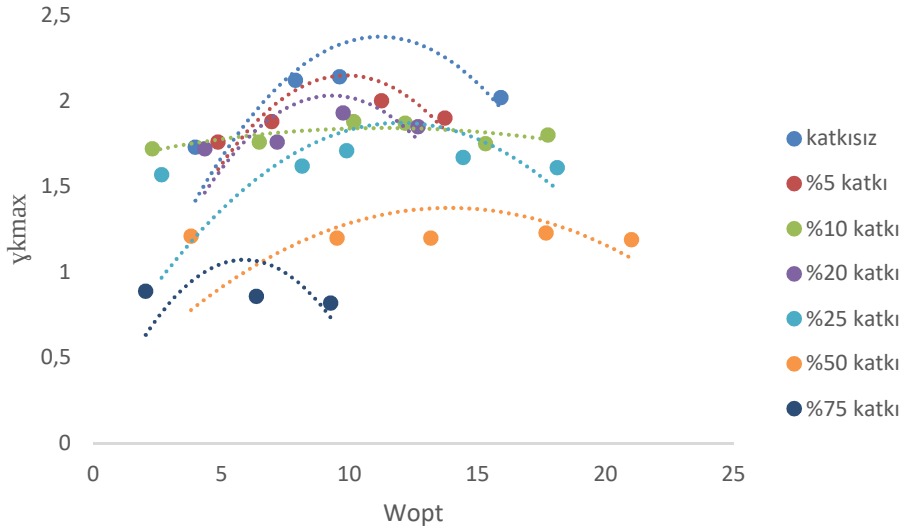
Zeminin mühendislik özelliklerini belirlemek için elek analizi, sıkılık deneyi ve piknometre deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda zeminin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)'ye göre kötü derecelenmiş kum (SP) zemin sınıfına girdiği, orta sıkı durumda ve birim hacim ağırlığı 2.66 g/cm^3 olduğu belirlenmiştir. Bu zemin numunesine hacimce %0, %5, %10, %20, %25, %50 ve %75 oranlarında lastik katkı ilave edilerek standart proktor deneyleri yapılmıştır. Standart proktor deneyleri sonucunda lastik katkılı zeminlerin maksimum kuru birim hacim ağırlıkları ve optimum su muhtevası değerleri elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan zemin numunesi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1. Deneylerde kullanılan zemin numunesi

Farklı oranlarda lastik katkı içeren zemin numuneleri ile yapılan CBR deneylerinde zemin numuneleri optimum su muhtevasında hazırlanarak 2.5mm ve 5.0mm deformasyona karşılık yük değerleri elde edilmiştir. Zemin numunesine ilave edilen lastik katkı Şekil 2'de verilmektedir.

Şekil 2. Lastik katkı malzemesi

Şekil 1 ve Şekil 2 'de gösterilen malzemeler belirli oranlarda karıştırılarak standart proktor deneyi yapılması sonucunda Şekil 3'te verilen eğriler elde edilmiştir.



Şekil 3. Standart proktor deney grafikleri

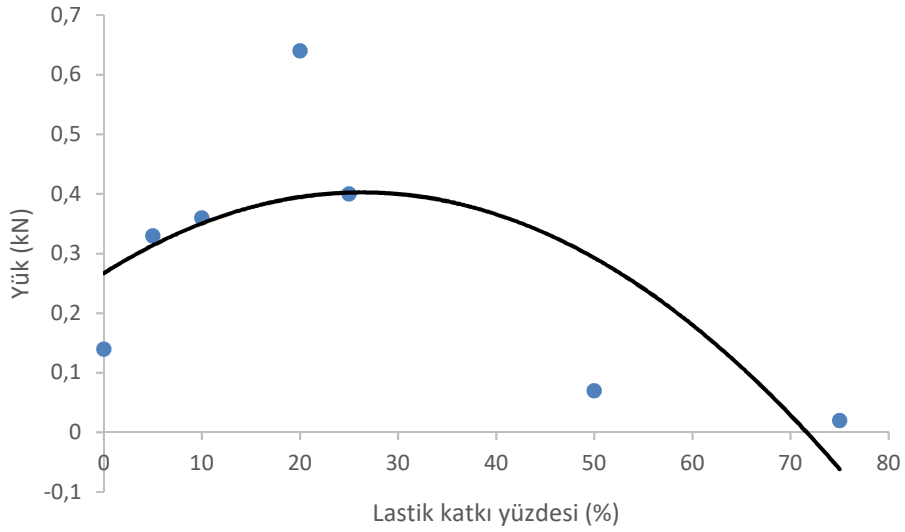
Şekil 3'te verilen eğrilere göre farklı oranlarda lastik katkı içeren zeminler için optimum su muhtevası değerleri elde edilmiş olup Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Lastik katkılı zeminlerin optimum su muhtevaları

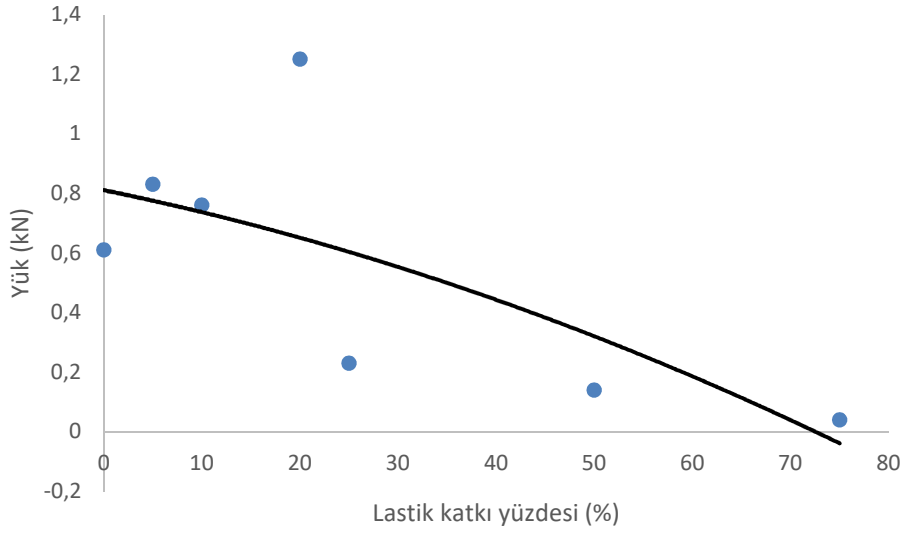
Lastik Katkı (%)	Su muhtevası (%)
0	7.725
5	9.775
10	10.05
20	10.10
25	10.30
50	10.25
75	1.00

CBR deneyleri yapılırken optimum su muhtevasında hazırlanan zeminlerin sıkıştırılarak deney düzeneğine yerleştirilmesi ile boyutları sabit pistonun belirli bir derinliğe kadar batması incelenmiştir. Bu batma değeri için gerekli olan basıncın, düzgün dane dağılımına sahip kırmataş numunesinde aynı batmayı sağlayan basınca oranı (kaliforniya taşıma oranı) hesaplanmıştır. Kaliforniya taşıma oranı genellikle 2.5mm deformasyon için ifade edilse de 5.0mm'lik deformasyon değeri 2.5mm'lik oturmadan daha büyük olduğunda büyük olan değer dikkate alınmaktadır [5].

Standart proktor deneyleri sonucu elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevalarına göre hazırlanan katkılı zeminler ile yapılan CBR deneyleri sonucu 2.5mm ve 5.0mm deformasyonlara karşılık gelen yük değerleri okunarak deformasyon-yük grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. 2.5mm'lik deformasyona karşılık yük grafiği



Şekil 5. 5.0mm'lik deformasyona karşılık yük grafiği

3. Sonuçlar

Bu çalışmada kötü derecelenmiş kum zemine farklı yüzdelerde lastik katkı ilave edilerek kaliforniya taşıma oranının değişimini incelemek üzere CBR deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Standart proktor deneyleri sonucunda lastik katkı yüzdesi arttıkça optimum su muhtevası değerinin genellikle arttığı görülmüştür.
- Standart proktor deneyleri ile lastik katkı oranın %20'ye kadar artması sonucu maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin katkısız zemine göre çok fazla değişmediği görülmüştür.

Ancak %20'den daha fazla lastik katkı içeren zeminlerin maksimum kuru birim hacim ağırlığının giderek azaldığı görülmüştür.

- CBR deneyleri sonucunda, lastik katkının %20 oranlarına kadar zemine ilave edilmesiyle kaliforniya taşıma oranının arttığı anlaşılmaktadır.
- %25 ve daha fazla oranda lastik katkı içeren zeminlerin taşıma gücü karakteristiğinin kötüleştiği hatta katkısız zeminden daha kötü bir duruma geldiği belirlenmiştir.
- Atık ürün olarak ortaya çıkan poliüretan (atık lastik) malzemesinin zeminlerde katkı olarak kullanılması sonucu hem atık bir ürün değerlendirilerek ekonomi sağlanmakta hem de çevreye verilebilecek zararların önüne geçilmiş olmaktadır.

4. Kaynaklar

[1] Fedakar, H. İ., Güllü, H. (2015). 'Atıksu Çamuru Külü İle Kaba Daneli Zemin Karışımının CBR Performansının İncelenmesi', 6.Geoteknik Sempozyumu, 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana

[2] Selekoğlu, B., Akbulut, M. M., Çetiner, M., Örnek, M. ve Türedi, Y. (2015). 'Çelikhane Cürufu Katkılı Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması', 6. Geoteknik Sempozyumu, 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana.

[3] Cömert, A. T., Ural, N., (2015). 'Mermer Tozunun Kil Zemin Özelliklerine ve CBR'a Etkisi', 6. Geoteknik Sempozyumu, 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana

[4] Ordu, E., Biçer, P., Ordu, Ş., Abanazoğlu, E. G. (2017). 'Kumlu Zeminlerin İyileştirilmelerinde Atık Lastiklerin Kullanılması Üzerine Bir Araştırma', Aksaray University Journal of Science and Engineering, 1(1), 51-61.

[5] Türedi, Y., Örnek, M., Bal, B. B., Işık, A. O. (2017). 'Çelikhane Cürufu Katkısının CBR Sonuçlarına Etkisinin Araştırılması', 7. Geoteknik Sempozyumu, 22-23-23 Kasım 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[6] Akgün, H. (2008). 'Poliüretan-Karbon Fiber Kompozitlerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 89s.

[7] Lamba, N. M. K., Woodhouse, K. A., Cooper, S. L. (1998). 'Polyurethanes in Biomedical Applications', CRC, New York.

[8] Çağlar G. A., (2007), 'Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 128 s.

[9] Bakkaylı, M., Örnek, M., Demir, A., Türedi, Y. (2013). 'Geogrid Donatının CBR Değerine Etkisinin İncelenmesi', 5. Geoteknik Sempozyumu, 5-6-7 Aralık 2013, Çukurova Üniversitesi, Adana

Granüler Dolgu Tabakasına Oturan Yumuşak Kil Zeminlerin Taşıma Gücü Hesabında Analitik Yaklaşımlar

Murat ÖRNEK[1], Abdulazim YILDIZ[2]

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Iskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Hatay, Türkiye
[2]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
Email: murat.ornek@iste.edu.tr, azim@cu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, i) granüler stabilize dolgu tabakası kullanılarak güçlendirilen yumuşak kil zeminlere oturan dairesel temeller üzerinde yapılan arazi deneyi sonuçları ve ii) sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki ve üç boyutlu sayısal analizlerden elde edilen sonuçları, literatürde yer alan analitik formülasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, uyumlulukları araştırılmıştır. Bu amaçla, zeminlerde taşıma gücünün hesaplanmasına yönelik geliştirilen ve literatürde önerilen formülasyonlar kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, arazi ortamında elde edilen deneysel verilerin, sayısal analiz çözümleriyle genel anlamda uyum içerisinde olduğunu, literatürde yer alan formülasyonlara göre de genel itibariyle daha düşük değerlerin elde edildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak kil zemin, zemin iyileştirme, granüler dolgu, analitik yaklaşımlar

Abstract

In this study, i) the results of the field test on circular footings resting on soft clay soils reinforced with granular fill and ii) the results obtained from two and three dimensional numerical analyzes based on the finite element method are compared with the results obtained from the analytical formulations included in the literature and compatibility was investigated. For this purpose, the well-known formulations developed for the calculation of the bearing capacity on the soils were used. The results of the study showed that the test data obtained in the field is generally in harmony with the numerical analysis results and generally lower values are obtained when compared to the formulations in the literature.

Keywords: Soft soils, soil improvement, granular fill, analytical approaches

1. Giriş

Geoteknik mühendisliğinde yumuşak kil zeminler, gerek yüksek sıkışabilirlik özelliği, gerekse de düşük yük taşıma kapasitesi açısından problemli zeminler olarak ele alınmaktadır. Bu tür zeminlerin taşıma kapasitelerinin ve oturma davranışlarının iyileştirilmesi için birçok yöntem uygulanmaktadır. Genellikle, pratik ve ekonomik olması nedeniyle yüzeysel temellerin altına belirli bir kalınlıkta stabilize dolgu malzemesi serilmesi temel mühendisliğinde yaygın bir uygulamadır. Bu yöntemde temel altındaki yumuşak zemin tabakasının tamamı ya da bir kısmı kaldırılarak yerine istenen özelliklere sahip stabilize dolgu malzemesi tabakalar halinde serilip sıkıştırılarak temel altında rijit ve sağlam bir alt temel tabakası oluşturulmaktadır. Dolgu malzemesinin mekanik özellikleri ve kalınlığı, temel zemininde elde edilecek iyileşmeyi etkileyen başlıca faktörlerdendir.

Yumuşak kil zeminlerde dolgu tabakası serilerek yapılan iyileştirmeler konusunda literatürde yayınlanmış çeşitli araştırmalar bulunmaktadır [1- 4]. Madhav ve Vitkar [1] tarafından yumuşak kil zeminler üzerine oturan sürekli temellerin altına granüler bir dolgu tabakası serilmesi durumunda temelin taşıma kapasitesindeki değişimler teorik olarak araştırılmıştır. Hamed ve ark. [2] tarafından

yapılan araştırmada ise, yumuşak kil zeminler üzerine oturan şerit temelin altındaki stabilize dolgu tabakasının temelin nihai taşıma kapasitesine etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Model deneylerde temel genişliği ile dolgu genişliği birbirine eşit alınarak taşıma kapasitesi değişimi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlardan, temelin taşıma kapasitesinin temel genişliği/dolgu genişliği oranı ile doğru orantılı olarak arttığı ve bu oran belli bir değere ulaştığında ise, taşıma kapasitesinin sabit kaldığı görülmüştür. Ayrıca, Madhav ve Vitkar [1] tarafından önerilen bağıntı kullanılarak hesaplanan taşıma kapasiteleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve Madhav ve Vitkar [1] tarafından önerilen yöntem ile hesaplanan taşıma kapasitesi değerlerinin deneysel değerlerden daha büyük çıktığı görülmüştür. Örnek ve ark. [3] tarafından, granüler dolgu üzerine oturan yüzeysel temellerin taşıma gücü bağıntılarını regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanılarak araştırılmıştır. Bu kapsamda arazi ortamında yedi farklı model dairesel temel kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, granüler dolgu tabakasının yumuşak kil zeminlerin taşıma gücü mertebelerinin önemli oranlarda arttırdığını ve yapay sinir ağları yaklaşımının bu bağıntıları başarılı bir şekilde modelleyebildiğini göstermiştir. Demir ve ark. [4] tarafından, yumuşak kil zeminler üzerine inşa edilen yüzeysel temeller altına yerleştirilen farklı kalınlıktaki stabilize dolgu tabakasının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, sonlu elemanlar yöntemine dayanan PLAXIS 2D [5] bilgisayar yazılımı ile sayısal analizler yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada Hamed ve ark. [2] tarafından gerçekleştirilen deneysel ve teorik sonuçlar ile sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça iyi bir uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Literatürde yumuşak kil zeminlerin iyileştirilmesi ile ilgili olarak deneysel, sayısal ve analitik çalışmalar yer almaktadır [6-14].

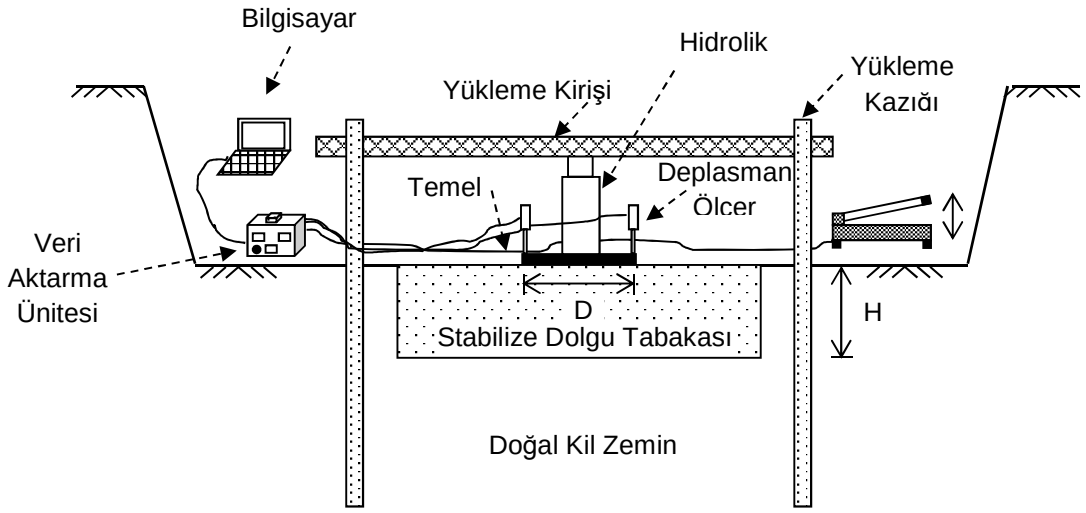
Bu çalışmada, farklı kalınlıklarda granüler stabilize dolgu tabakası ile güçlendirilen yumuşak kil zeminlere oturan dairesel temeller üzerinde yapılan arazi deneyi sonuçları, iki ve üç boyutlu sayısal analiz sonuçları, literatürde mevcut analitik yaklaşım sonuçları karşılaştırılarak uyumlulukları irdelenmiştir. Zeminlerde taşıma gücünün hesaplanmasına yönelik geliştirilen ve literatürde yer alan Terzaghi [15], Meyerhof [16], Hu [17], Krizek [18] ve Meyerhof ve Hanna [19] tarafından önerilen formülasyonlar kullanılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Arazi ortamında yapılan deneysel çalışmalar iki seri olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci seride doğal kil durumu (Seri I), ikinci seride temel altına farklı kalınlıklarda stabilize dolgu tabakası serilmesi durumu (Seri II) ele alınmıştır. Seri I'de 4, Seri II'de 12 olmak üzere toplam 16 adet deney yapılmıştır. Model temel olarak 30cm, 45cm, 60cm ve 90cm çaplara sahip dairesel çelik plakalar kullanılmıştır. Deneyler, ilk olarak doğal kil durumunda, daha sonra kasa içerisine farklı kalınlıklarda stabilize dolgu tabakaları yerleştirilerek yapılmıştır. Sonuçta stabilize dolgu tabakasının taşıma kapasitesi ve oturma davranışı üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Arazi deneylerine geçmeden önce, deney sırasında yük alabilmek için yükleme kazıkları imal edilmiştir. Deneylerde uzunlukları 2.20x2.20m, yüksekliği 0.20m olan ahşap kasa kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dolgu malzemesinin özelliklerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre granüler malzeme iyi derecelenmiş çakıl-siltli çakıl (GW-GM) olarak belirlenmiştir. Zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı yaklaşık 2.15gr/cm^3, optimum su içeriği ise, %7 olarak belirlenmiştir. İçsel sürtünme açısı 43°, kohezyon değeri ise, 0.15kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Zemin dane birim hacim ağırlığı 2.64gr/cm^3 olarak bulunmuştur. Arazide yapılan deneylerde, yükleme pistonu üzerine basınçölçer yerleştirilmiş, dairesel model temele uygulanan yük veri kaydetme ünitesi (ADU) aracılığı ile bilgisayara aktarılmıştır.

Arazide, stabilize dolgu tabakası malzemesini sıkıştırmak amacıyla kompaktör kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, 5cm kapasiteli 2 adet düşey deplasman ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Her yük kademesinde temel plakası tabanında oluşan oturmalar 2 farklı noktada ölçülmüş ve oturma değeri olarak iki okumanın ortalaması alınmıştır. Stabilize dolgu ile güçlendirilmiş doğal kil zeminde yapılan deneylerin şematik gösterimi Şekil 1'de yer almaktadır. Arazi çalışmalarına ilişkin diğer ayrıntılar, Örnek [20]'de yer almaktadır.



Şekil 1. Arazi ortamında yapılan deneylerin şematik gösterimi

Arazi deneylerinin ardından, stabilize dolgu tabakasından dolayı farklı çaplardaki temellerin taşıma gücü kapasitelerinde meydana gelen iyileşmelerin dereceleri belirlenmiştir. Doğal kil zeminde stabilize dolgu tabakası ve donatılı stabilize dolgu tabakası ilavesinin taşıma gücü üzerinde meydana getirdiği iyileşmelerin derecelerini belirlemek amacıyla Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) [21] tanımlanmıştır. Bu kapsamda taşıma gücü karakteristikleri yorumlanırken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:

$$BCR = \frac{q_r}{q_0} \tag{1}$$

Burada q_r, stabilize dolgu tabakası veya donatılı stabilize dolgu tabakası ile güçlendirilmiş doğal kil zeminde, q_0 ise doğal kil zeminde elde edilen taşıma gücü değeridir.

3. Sayısal Analizler

Arazi ortamında yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen yük-oturma davranışları, deney düzeneği, yükleme koşulları ve malzeme özellikleri sonlu elemanlar yöntemine dayanan PLAXIS 2D V8.6 [5] bilgisayar programı ile iki boyutlu ve PLAXIS 3D Foundation V2 [22] bilgisayar programı ile üç boyutlu olarak modellenerek sayısal çözümler yapılmıştır. Bu bölümde, çapları 30cm, 45cm 60cm ve 90cm olan dairesel çelik rijit plakalar kullanılarak toplam 16 adet iki boyutlu ve 16 adet üç boyutlu olmak üzere toplam 32 adet sayısal analiz yapılmıştır. Sayısal analizler; arazi deney programına benzer şekilde, iki seri olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci seride (I) doğal kil durumu, ikinci seride temel altına farklı kalınlıklarda stabilize dolgu tabakası serilmesi (II) durumu sayısal

olarak analiz edilmiştir. İkinci seriden elde edilen sonuçlar I. serideki sonuçlar ile karşılaştırılarak temelin taşıma kapasitesi ve oturma davranışındaki değişimler irdelenmiştir. Arazi deneylerine paralel olarak tüm çaplarda stabilize dolgu tabakası kalınlıkları H=0.33D, 0.67D ve 1.00D olarak alınmıştır.

İki boyutlu sayısal analizlerde model temel plakası rijit kabul edilmiştir. Model temellerin dairesel kesitli olmasından dolayı analizler, eksenel simetrik koşullarda gerçekleştirilmiştir. Doğal kil zemin ve stabilize dolgu tabakası için analizlerde kullanılan zemin parametreleri, sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmaktadır.

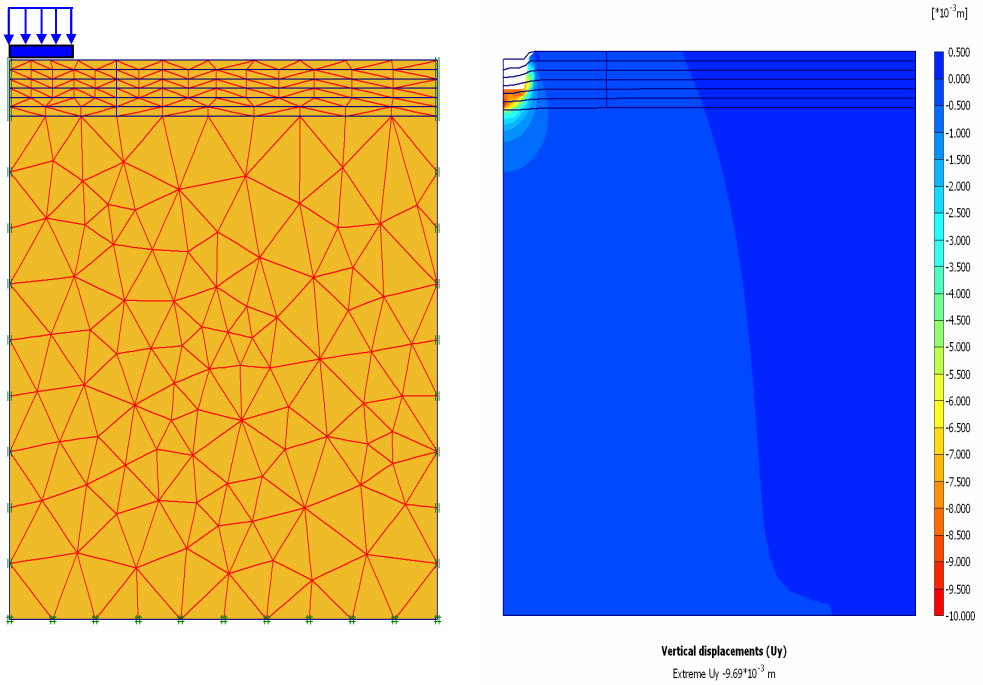
Tablo 1. Kil zemin model parametreleri

Parametre Adı	**Simge**	**Birim**	**Değeri**
Birim hacim ağırlığı	γ	kN/m^3	18
Üç eksenli yükleme rijitliği	E_{ref}	kN/m^2	8500
Poisson oranı	ν	-	0.35
Kohezyon	c	kN/m^2	75
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(˚)	0
Dilatasyon açısı	ψ	(˚)	0
Toprak basıncı katsayısı	K_0	-	0.50

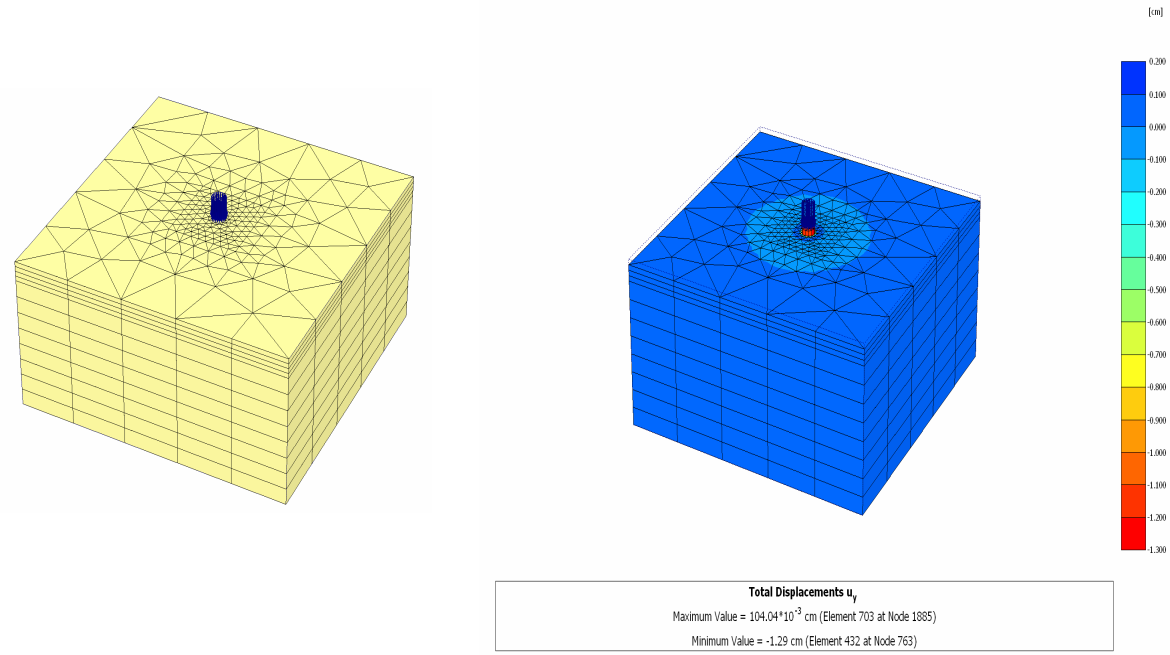
Tablo 2. Stabilize dolgu malzemesi model parametreleri

Parametre Adı	**Simge**	**Birim**	**Değeri**
Birim hacim ağırlığı	γ	kN/m^3	20
Üç eksenli yükleme rijitliği	E_{ref}	kN/m^2	42500
Poisson oranı	ν	-	0.20
Kohezyon	c	kN/m^2	1
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(˚)	43
Dilatasyon açısı	ψ	(˚)	0
Toprak basıncı katsayısı	K_0	-	1.00

İki ve üç boyutlu sayısal analizlerde elde edilen tipik sonlu elemanlar ağı ve zeminde oluşan düşey deformasyon dağılımları Şekil 2 ve 3'te yer almaktadır. Sayısal analiz çalışmalarına ilişkin diğer ayrıntılar, Örnek [20]'de yer almaktadır.



Şekil 2. Sonlu elemanlar ağı ve düşey deformasyon dağılımı (2D)



Şekil 3. Sonlu elemanlar ağı ve düşey deformasyon dağılımı (3D)

4. Analitik Yaklaşımlar

Bu bölümde, arazi deneyleri ile sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki ve üç boyutlu sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan analitik formülasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, uyumlulukları araştırılmıştır. Bu amaçla, zeminlerde taşıma gücünün hesaplanmasına yönelik geliştirilen ve literatürde yer alan Terzaghi [15], Meyerhof [16], Hu [17],

Krizek [18] ve Meyerhof ve Hanna [19] tarafından önerilen formülasyonlar kullanılmıştır. Aynı zamanda, arazi deney sonuçlarının regresyon analizi sonucu önerilen formülasyon kullanılarak taşıma gücü değerleri elde edilmiştir (Eşitlik 2). Bu eşitlik, temel çapları oranları ve göçme yükleri arasındaki oran belirlendikten sonra ölçek etkisinin derecesini belirlemek için yapılan regresyon analizi sonrasında tanımlanmıştır [20].

$$q_i = 166^{-}1.06D_i + 0.384D_0 + 0.632q_0 + 0.683H_i \quad (2)$$

burada, q_i (kPa) ve D_i (cm), göçme yükü bulunması istenen temelin göçme yükü ve çapını, q_0 (kPa) ve D_0 (cm), göçme yükü ve çapı belli olan temele ait göçme yükü ve temel çapını, H_i (cm) ise göçme yükü bulunması istenen sistemde stabilize dolgu tabakası kalınlığını ifade etmektedir. Bu sayede, yalnızca küçük temellerle deney yapmak suretiyle daha büyük çaplarda temeller kullanarak deneyler yapmaya ihtiyaç duymadan istenilen çaptaki temellere ait göçme yükleri hesaplanabilmektedir.

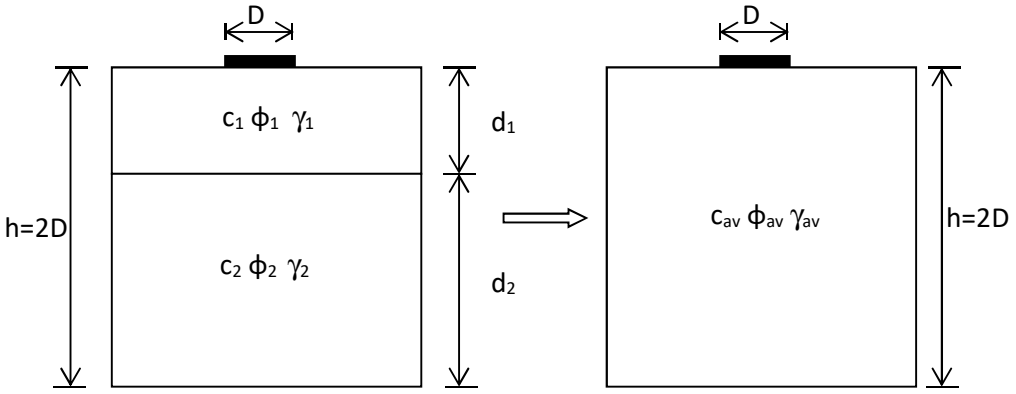
Farklı özelliklere sahip doğal kil zemin tabakası ve stabilize dolgu tabakasına ait mukavemet ve yoğunluk değerleri, ağırlık faktörü yöntemi ile homojenleştirilerek iki tabaka için tek bir c, φ ve γ değerleri kullanılmıştır [23]. Hesaplamalarda iki tabakanın toplam derinliği, herhangi bir sınır etkisi olmaması için temel çapının iki katı (h=2D) olarak alınmıştır (Şekil 4).

$$c_{av} = \frac{d_1}{d_1 + d_2} c_1 + \frac{d_2}{d_1 + d_2} c_2 \quad (3)$$

$$\varphi_{av} = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \varphi_1 + \frac{d_2}{d_1 + d_2} \varphi_2 \quad (4)$$

$$\gamma_{av} = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \gamma_1 + \frac{d_2}{d_1 + d_2} \gamma_2 \quad (5)$$

Burada; c_{av} ağırlıklı kohezyon değerini (kPa), φ_{av}, ağırlıklı içsel sürtünme açısı değerini (°), γ_{av}, ağırlıklı birim hacim ağırlık değerini (kN/m^3), d_1, stabilize dolgu tabakasının kalınlığını (m) ve d_2 ise doğal kil zemin tabakasının kalınlığını (m) ifade etmektedir. Tabakalı zemin sisteminde ağırlık faktörü yöntemine göre hesaplanan parametreler Tablo 3'de yer almaktadır.



Şekil 4. Tabakalı zeminlerde ağırlık faktörü yöntemi

Tablo 3. Ağırlık faktörüyle yöntemiyle hesaplanan parametreler

Parametre	Stabilize Dolgu Tabakası	Doğal Kil Zemin	Ağırlık Faktörü Yöntemi
Kohezyon (c; kPa)	1	75	62.79
İçsel Sürtünme Açısı (φ,°)	43	0.3	7.35
Birim Hacim Ağırlık (γ, kN/m^3)	18	20	19.67

Terzaghi [15] yöntemine göre dairesel temeller için nihai taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$q_u = 1.3c\,Nc + q\,Nq + 0.3\gamma\,D\,N\gamma \tag{6}$$

Burada; q_u, nihai taşıma kapasitesini (kPa), c, kohezyonu (kPa), q, sürşarj yükünü (kPa), D, temel çapını (m), Nc, Nq ve Nγ ise taşıma gücü katsayılarını ifade etmektedir.

Nihai taşıma kapasitesi, Meyerhof [16] tarafından aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$q_u = c\,Nc\,s_c\,d_c + q\,Nq s_q\,d_q + 0.5\gamma\,D\,N\gamma s_\gamma\,d_\gamma \tag{7}$$

Burada; s_c, s_q ve s_γ şekil katsayıları, d_c, d_q ve d_γ ise derinlik katsayılarıdır.

Hu [17] tarafından geliştirilen bir abak yardımı [24] ile taşıma gücü katsayıları (Nc, Nq, Nγ) elde edilmektedir. Taşıma gücü katsayıları içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişmektedir. Bu katsayılar daha sonra taşıma gücü eşitliklerinde yerine konmaktadır. Bu aşamada Terzaghi [15] tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

Krizek [18] tarafından sunulan taşıma gücü ifadesi, Eşitlik 6'da Terzaghi (1943) tarafından önerilen ifadeyle aynıdır, ancak taşıma gücü faktörleri, içsel sürtünme açısına (φ) bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$N_c = \frac{228 + 4.3\varphi}{40 - \varphi} \qquad N_q = \frac{40 + 5\varphi}{40 - \varphi} \qquad N_\gamma = \frac{6\varphi}{40 - \varphi} \tag{8}$$

Meyerhof ve Hanna [19] tarafından önerilen taşıma gücü ifadesi aşağıdaki gibidir. Burada zemin iki farklı tabaka olarak ele alınmaktadır. İlk olarak, doğal kil zemin durumunda elde edilen nihai taşıma kapasitesi, stabilize dolgu tabakası durumunda elde edilen nihai taşıma kapasitesine oranlanarak q_2/q_1 değeri bulunmaktadır. Daha sonra bu oran ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak geliştirilen abak yardımıyla zımbalama kayma göçmesi katsayısı (K_s) bulunmaktadır. Bu katsayı daha sonra aşağıdaki taşıma gücü eşitliğinde yerine konmaktadır [24]. Bu aşamada Terzaghi [15] tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

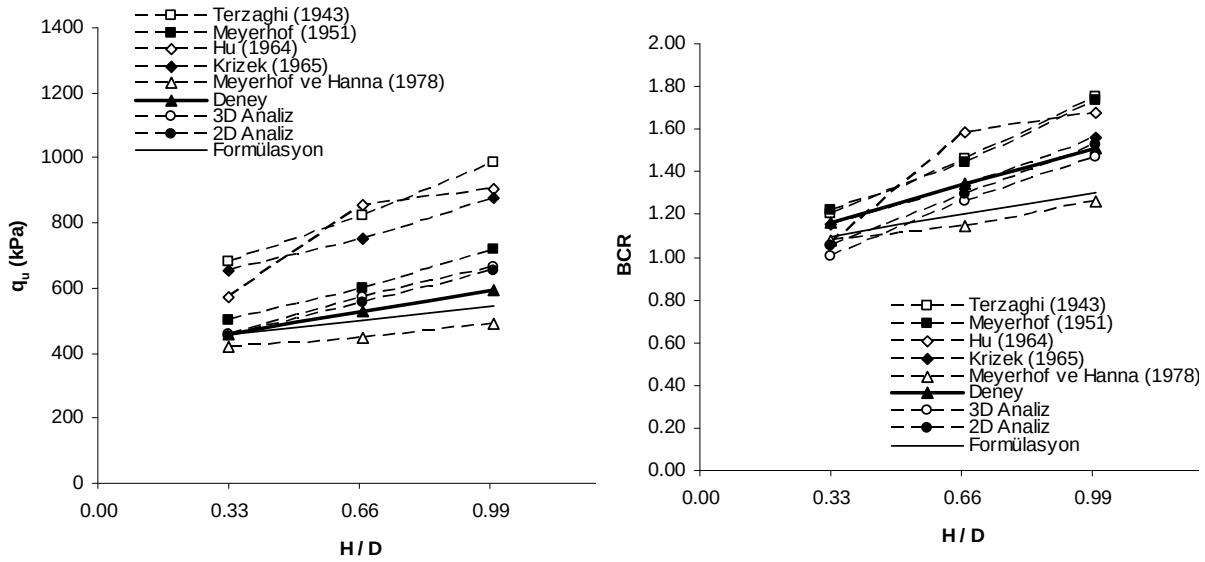
$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{5.14\,c_2}{0.5\gamma_1\,D\,N_{\gamma 1}} \tag{9}$$

$$q_u = 5.14\, c_2\, (1 + 0.2\, D) + (1 + D)\, \gamma_1\, d_1^2 \quad \frac{K_s \tan \varphi_1}{D}\, \lambda_s \qquad (10)$$

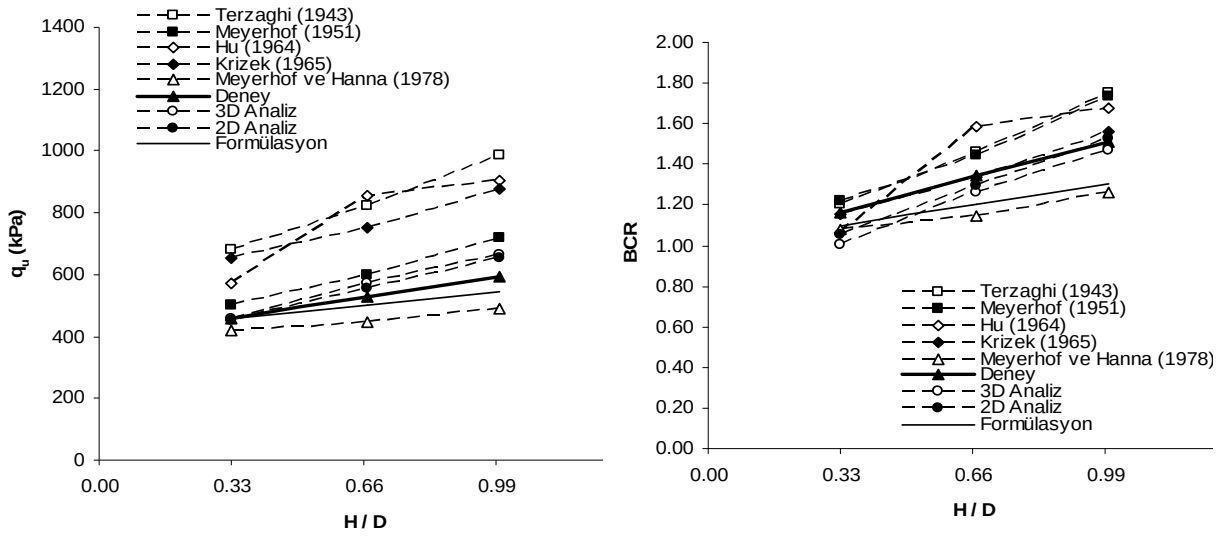
Burada; c_2, doğal kil zemin tabakasının kohezyon değeri (kPa), φ_1, doğal kil zemin tabakasının içsel sürtünme açısı değeri (°), γ_1, stabilize dolgu tabakasının birim hacim ağırlık değeri (kN/m^3), d_1, stabilize dolgu tabakasının kalınlığı (m), D, temel çapı (m), Ks, zımbalama kayma göçmesi katsayısı ve γ_s, şekil faktörüdür (dairesel temellerde 1 alınır).

5.Verilerin Karşılaştırılması

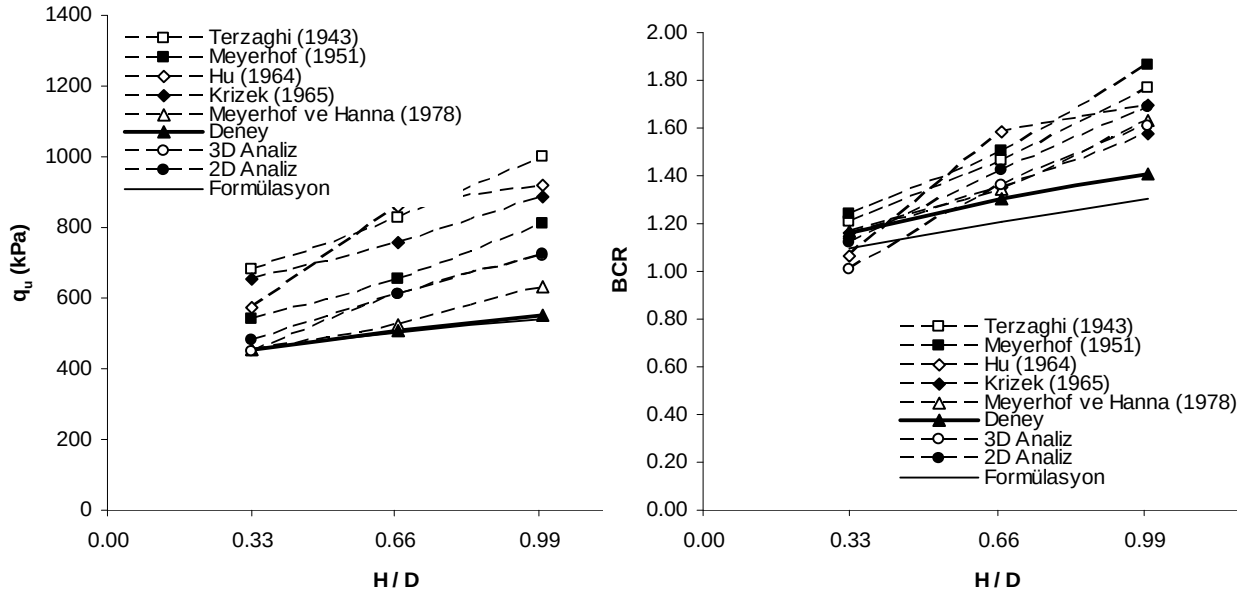
Doğal kil zeminin stabilize dolgu tabakası ile güçlendirildiği deneylerde ve sayısal analizlerde elde edilen sonuçlarla literatürde yer alan formülasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlar, her bir çap için Şekil 5-8 arasında sunulmuştur. Her bir çap için (30cm, 45cm, 60cm ve 90cm) hem nihai taşıma gücü değerleri, hem de taşıma gücü oranları bir arada sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde deney sonuçlarının literatürde yer alan formülasyonlara göre genel itibariyle daha düşük değerler verdiği, ancak genel eğilimin benzer olduğu görülmektedir.



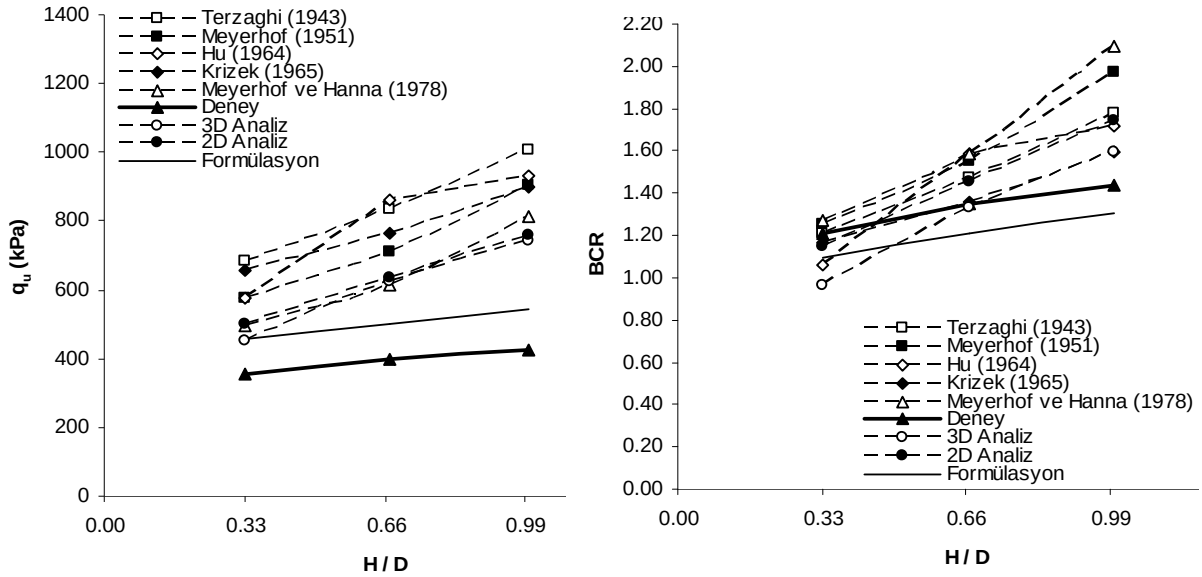
Şekil 5. Stabilize dolgu kalınlığı etkisi (D=30cm)



Şekil 6. Stabilize dolgu kalınlığı etkisi (D=45cm)



Şekil 7. Stabilize dolgu kalınlığı etkisi (D=60cm)



Şekil 8. Stabilize dolgu kalınlığı etkisi (D=90cm)

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, arazi ortamında iki seri olarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki ve üç boyutlu sayısal analizlerden elde edilen sonuçlarla ve literatürde yer alan analitik formülasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Arazi ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, sayısal analiz çözümleriyle genel anlamda uyum içerisindedir. Stabilize dolgu kalınlığı (H) etkisinin araştırıldığı iki ve üç boyutlu sayısal analizlerde, deney sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir.
- İki ve üç boyutlu sayısal analizlerde genellikle birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, bu tür problemlerde uygulamada pratiklik ve zaman tasarrufu açısından iki boyutlu olarak modellemenin iyi bir alternatif olabileceğini göstermiştir.
- Deney sonuçları ve sayısal analiz sonuçları, literatürde yer alan analitik çözümlere göre genel itibariyle daha düşük değerler vermiştir.
- Doğal kil zemin ve stabilize dolgu tabakası, kompozit bir sistem meydana getirmektedir. Dolayısıyla önce temele, temelden de kompozit zemin sistemine aktarılan yük, doğal kil zemin ve stabilize dolgu tabakası tarafından ortaklaşa taşınmaktadır. Stabilize dolgu tabakasının rijitliği, doğal kil zemine göre çok daha fazla olduğundan, yükün çoğunluğu stabilize dolgu tabakası tarafından karşılanmaktadır.

6. Kaynaklar

[1] Madhav, M. R., & Vitkar, P. P. (1978). Strip footing on weak clay stabilized with a granular trench or pile. *Canadian Geotechnical Journal*, *15*(4), 605-609.

[2] Hamed, J. T., Das, B. M., & Echelberger,W. F. (1986). Bearing capacity of a strip foundation on a granular trench in soft clay. *Civil Engineering for Practicing and Design Engineers*, Pergamon Press, 5(5), 359.

[3] Ornek, M., Laman, M., Demir, A., & Yildiz, A. (2012). Prediction of bearing capacity of circular footings on soft clay stabilized with granular soil. *Soils and Foundations*, *52*(1), 69-80.

[4] Demir, A., Örnek, M., Mısır, G., Laman, M., & Yıldız, A. (2009). Stabilize Granüler Dolgu İle İyileştirilen Yumuşak Kil Zeminlere Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. *TÜBİTAK, 106M496 Nolu Araştırma Projesi*, 145-150.

[5] Brinkgreve R.B.J. & Broere W. (2006). Plaxis Finite Element Code for Soil and Rock Analysis. 3D Foundation–Version 2.1.

[6] Ibrahim, K. M. H. I. (2016). Bearing capacity of circular footing resting on granular soil overlying soft clay. *HBRC Journal*, *12*(1), 71-77.

[7] Adams, M. T., & Collin, J. G. (1997). Large model spread footing load tests on geosynthetic reinforced soil foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *123*(1), 66-72.

[8] Saha Roy, S., & Deb, K. (2017). Bearing capacity of rectangular footings on multilayer geosynthetic-reinforced granular fill over soft soil. *International Journal of Geomechanics*, *17*(9), 04017069.

[9] Ghosh, B., Fatahi, B., & Khabbaz, H. (2016). Mechanical model to analyse multilayer geosynthetic reinforced granular layer in column supported embankments. *Procedia engineering*, *143*, 387-394.

[10] Alawaji, H. A. (2001). Settlement and bearing capacity of geogrid-reinforced sand over collapsible soil. *Geotextiles and Geomembranes*, *19*(2), 75-88.

[11] Hosseinpour, I., Almeida, M. S. S., & Riccio, M. (2015). Full-scale load test and finite-element analysis of soft ground improved by geotextile-encased granular columns. *Geosynthetics International*, *22*(6), 428-438.

[12] Mosallanezhad, M., Hataf, N., & Sadat Taghavi, S. H. (2016). Experimental and large-scale field tests of grid-anchor system performance in increasing the ultimate bearing capacity of granular soils. *Canadian Geotechnical Journal*, *53*(7), 1047-1058.

[13] Chen, Q. (2007). An experimental study on characteristics and behavior of reinforced soil foundation. PhD dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge, USA.

[14] Deb, K., Sivakugan, N., Chandra, S., & Basudhar, P. K. (2007). Numerical analysis of multi layer geosynthetic-reinforced granular bed over soft fill. *Geotechnical and Geological engineering*, *25*(6), 639-646.

[15] Terzaghi, K. 1943, Theoretical soil mechanics, Wiley, New York.

[16] Meyerhof, G. G. (1951). The ultimate bearing capacity of foudations. *Geotechnique*, *2*(4), 301-332.

[17] Hu, G. C. (1964). Variable-factors theory of bearing capacity. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, *90* (Proc. Paper 3969).

[18] Krizek, R. J. (1965). Approximation for Terzaghi's bearing capacity factors. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, *91*(Proc. Paper 4247).

[19] Meyerhof, G. G., & Hanna, A. M. (1978). Ultimate bearing capacity of foundations on layered soils under inclined load. *Canadian Geotechnical Journal*, *15*(4), 565-572.

[20] Örnek, M. (2009). *Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatıyla Güçlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

[21] Binquet, J., & Lee, K. L. (1975). Bearing capacity tests on reinforced earth slabs. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *101* (ASCE# 11792 Proceeding).

[22] Brinkgreve R.B.J. & Broere W. (2006). Plaxis Finite Element Code for Soil and Rock Analysis. 3D Foundation–Version 2.1.

[23] Bowles, J. E. (1988). Foundation analysis and design, McGraw-Hill International Editions, Singapore.

[24] Das, B. M. (2017). *Shallow foundations: bearing capacity and settlement*. CRC press.

Doğrusal Olmayan Zemin Davranışının Yapı Elemanları Üzerindeki Etkisi

Sevil KAÇAR[1], Ali DOĞAN[2], Murat ÖRNEK[3]

[1,2,3] İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Hatay, Türkiye
Email: sevilkacar.mfbe16@iste.edu.tr, ali.dogan @iste.edu.tr, murat.ornek @iste.edu.tr

Özet

Yatak katsayısının üst yapı programlarında temel altındaki zemini temsilen elastik yay katsayısı olarak kullanılması günümüzde zeminin elasto-plastik kabul edilen davranışını tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Bu bağlamda temel altına tanımlanmış bu yayların üst yapı sisteminde oluşturacağı etkiler de yanıltıcı olmaktadır. Yapılacak olan statik analizlerde zeminin gerçek davranışını yansıtabilmek için literatürden alınan tek bir yatak katsayısı değeri yerine, zeminin doğrusal olmayan davranışı için hesaplanmış gerilme-deformasyon eğrilerinden yararlanarak elde edilen rijitlik değerlerinin kullanılması daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemini esas alan üç boyutlu bir yazılım (Plaxis 3D) ile oluşturulan kum zemin ortamında çeşitli yüklemeler yapılmış ve gerilme-deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen gerilme-deformasyon değerleri ile SAP2000 yazılımında doğrusal olmayan zemin davranışına göre yapılan analizler sonucunda elde edilen kesit tesirleri Plaxis 3D yazılımı sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile, zeminin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışı kabulüne göre çeşitli yükler etkisi altında analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen yapıya ait kesit tesirlerindeki değişimler incelenmiş, bu değişimlerin yapının gerçek davranışı ile uyumu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapı-zemin etkileşimi, elasto-plastik davranış, doğrusal olmayan analiz

Abstract

The use of subgrade coefficient as an elastic spring constant which representing the soil under the foundation in superstructure software does not fully reflect the accepted elastoplastic behavior of the soil. In this context, the effects on the superstructure system of these springs defined under the foundation can be also misleading. In order to reflect the actual behavior of the soil in the static analysis, instead of a single subgrade coefficient value taken from the literature, using the calculated stress-deformation curves for the nonlinear behavior of the soil will provide more accurate results.

In this study, various loads were applied in sand soil environment which was created by a three-dimensional software (Plaxis 3D) based on finite element method and stress-deformation curves were obtained by these analyses. The structure reactions were compared with PLAXIS 3D analysis results according to the non-linear soil behavior analyses performed by SAP2000 with the help of stress-deformation values. In this study, under the influence of various loads according to the assumption of linear and nonlinear behavior of the

soil were analyzed. The changes in the structure reactions obtained from the analyses were examined and the compatibility of these changes with the real behavior of the structure was investigated.

Key words: Soil-structure interaction, elasto-plastic behaviour, non-linear analysis

1. Giriş

Temel tasarımı Alt Sistem ve Ortak Sistem olarak iki farklı yaklaşımda ele alınabilmektedir. Alt Sistem yaklaşımında üstyapı ve zemin-temel ayrı ayrı modellenip birbirleri ile etkileşimleri değerlendirilir. Bu yaklaşımda üstyapı modellendikten sonra kesit tesirleri, geoteknik yazılımlar yardımı ile zemin-temel modelinde etki ettirilerek temel tasarımı yapılır. Ortak sistemde ise üstyapı, zemin-temel bir arada modellenerek sistemin genel davranışı araştırılır. Bu yaklaşımdaki en büyük zorluk zeminin üstyapı yazılımlarında elasto-plastik davranışını yansıtamamak, geoteknik yazılımlarda ise üstyapının kompleks sistemlerini tam anlamıyla modelleyememek. Gelişen teknoloji ile birlikte bu yazılımların daha güncel versiyonları ile birçok yeni özellikler eklense de bu sorun tam anlamı ile çözülememiştir.

Bir çok araştırmacı zemin-yapı etkileşimi konusunda çalışmalar yapmış ve zeminin genel davranışı için bazı görüşlerde bulunmuşlardır. Bunlardan en eski ve bilinen yaklaşımı Winkler ile elastik zemine oturan kiriş modelidir. Winkler yönteminde temelin elastik zemine oturduğu varsayımı ile zemin temel altında sabit elastik yaylar olarak modellenir (Winkler, 1867). Bu yöntemin en büyük dezavantajı zeminin tek bir parametre ile temsil edilmesi ve doğrusal elastik davranışa göre hesaplanmasıdır. Oysa zeminde gerilmelerin artması ile gerilme-deformasyon eğrisi doğrusal değil doğrusal olmayan bir grafik sunar. Winkler yaklaşımında sadece düşey olarak tanımlanan yatak katsayısını geliştiren Terzaghi, hem yatay hem de düşey yay katsayıları için çalışmalar yapmış ve yükleme deneylerinden elde edilen yatay katsayılarının gerçek temel boyutları için kullanılabilecek yay katsayıları ile bağıntısını ortaya koymuştur (Terzaghi, 1955). Vesic ise, Winkler hipotezi üzerinden yola çıkarak belirli koşullar altında bu yaklaşımın uygunluğunu ve diğer durumlar için temel kesit etkisini incelemiştir (Vesic, 1961).

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte zeminin elasto-plastik davranışı üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayanan yazılımlar sayesinde çok karmaşık modellerde dahi analiz edilebilmektedir artık. Bu yazılımlardan en bilinen ve yaygın olarak kullanılan PLAXIS 3D de bu çalışmada zemin davranışını modellemek için kullanılmıştır (PLAXIS, 2013). Kompleks olmayan üst yapı elemanları PLAXIS yazılımında modellenebilmekte ve çeşitli yükler altında analizlerin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur (Gragnano , Fargnoli , & Boldini, 2014).

Bu çalışmada, zeminin doğrusal olmayan davranışını modelleyebilen bir yazılım yardımı ile zeminde teşkil edilecek temel ebatlarının da dikkate alındığı gerilme-deformasyon

eğrileri elde edilerek üstyapı modellerinde bu değerler yardımı ile SAP2000 yazılımında (Computers and Structures, 2014) doğrusal olmayan statik analizler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde yapıda oluşabilecek deformasyonlar ve doğrusal olmayan analizlerin doğrusal yaklaşımlara göre kıyaslaması yapılmıştır.

2. Kullanılan Yöntemler

Bu çalışmada daha önce yapılan araştırmalardan edinilen bilgiler ışığında farklı yöntemler üzerinde durulmuştur. Bunlardan biri; yoğun olarak kullanılan lineer davranışı esas alan Winkler modelidir. Winkler modelinde literatürde verilen yatak katsayısı değerleri kullanılmış ve temel altında elastik zemin yayları olarak modellenmiştir.

Winkler modelinden farklı olarak; temel altındaki zeminin doğrusal olmayan davranışını, belirli kabuller doğrultusunda yansıtabilen "link eleman (gap)" modeli de bu çalışmada ele alınmıştır. Bu yöntemde tüm doğrultularda tanımlanabilen elemanlara ait doğrusal olmayan rijitlik değerleri kullanılarak analizler yapılmaktadır.

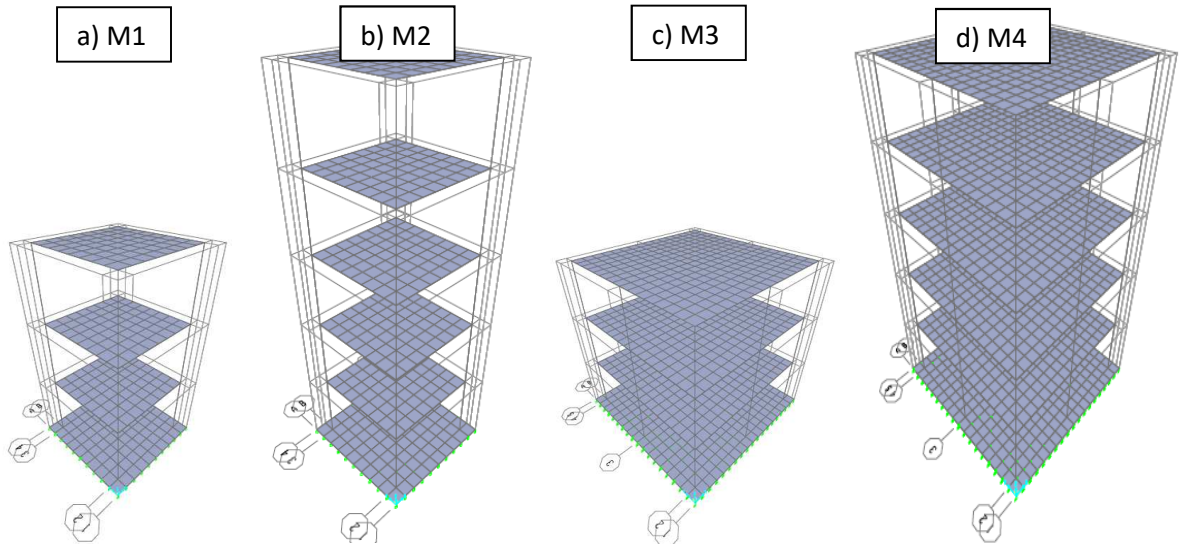
Diğer bir yöntem ise arazi deneylerinden ya da parametrik çalışmalardan elde edilen zemine ait gerilme-deformasyon eğrileri yardımı ile temel altında tanımlanan doğrusal olmayan "link eleman" (Q-z, P-y, T-x) ile yapılan analizlerdir. Bu analizlerde yük durumu inşaat aşamalarını yansıtacak şekilde analizde tanımlanmış ve sadece düşey yöndeki etkiler (Q-z) incelenmiştir.

Bu çalışmada zemine ait doğrusal olmayan gerilme-deformasyon eğrileri ve rijitlik değerleri sonlu elemanlar yöntemini esas alan üç boyutlu Plaxis yazılımı yardımı ile elde edilmiştir. Plaxis analizlerinde zemin için pekleşen zemin modeli seçilmiş ve mesh eleman sıklığı 'medium' olarak kullanılmıştır. Winkler modelinde kullanılacak doğrusal zemin parametreleri ise literatürde verilen yatak katsayısı değerlerinden seçilmiştir.

Doğrusal olmayan elemanlar için Pseudo-Coupled - Zonlama Yöntemi (Loukidis & Tamiolakis, 2018) de değerlendirilmiş ve kenardaki elemanların katsayıları içtekilerin iki katı olacak şekilde seçilmesi durumunda analizler yapılmıştır. Zonlama yönteminin kısa temel genişliğine sahip yapılarda yanıltıcı kesit tesirlerine neden olabileceği gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak tek açıklıklı bir sisteme sahip temellerin yayılı temel davranışı göstermemesi olabilir. (Önalp & Sert, 2010) bir temelin yayılı temel olarak nitelendirilebilmesi için aynı eksende üçten fazla kolon yükü taşıması ve bu eksenlerin iki veya fazla olması gerektiğini belirtmiştir.

3. Sayısal Uygulamada Kullanılan Yapı ve Zemin Bilgileri

Zemin üzerinde modellenecek yapı 3 katlı ve 5 katlı, tek açıklıklı ve 4 açıklıklı olacak şekilde farklı zemin sıkılıkları için analiz edilmiştir. Yapıya ait modeller Şekil 1 de, yapıya ait model parametreleri ise Tablo 1 'de verilmiştir.



Şekil 1Yapı modelleri a) M1 3 katlı tek açıklıklı b) M2 5 katlı tek açıklıklı c) M3 3 katlı çok açıklıklı d) M4 5 katlı çok açıklıklı

Tablo 1 Model parametreleri

Eleman	Tip	Ebat (m)	E (kN/m^2)	γ (kN/m^3)	Poisson, ν
Temel	Beton	5.00x5.00 / 9.00x9.00	3.10^7	24	0.2
Kolon	Beton	0.50x0.50	3.10^7	24	0.2
Kiriş	Beton	0.30x0.60	3.10^7	24	0.2

Çalışmada zemin olarak üç farklı sıkılıkta (%25, %50, %100) kum ortamı düşünülmüş, zemine ait parametreler literatürdeki bağıntılar yardımı ile belirlenmiştir (Tablo 2).

Tablo 2 Zemin parametreleri

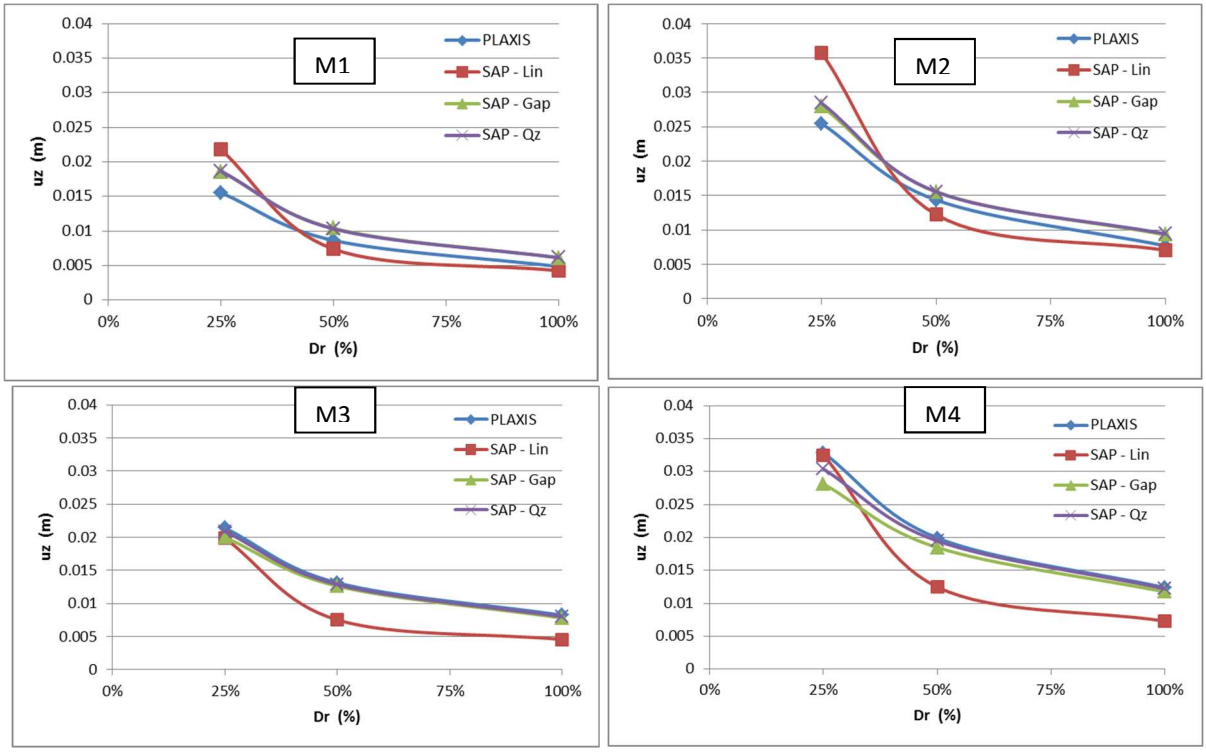
Zemin	γ (kN/m^3)	Ø (°)	E_{50} (kN/m^2)	Model
Gevşek Dr %25	19,00	35	16000	Hardening
Orta Sıkı Dr %50	19,00	38	31000	Hardening
Sıkı Dr %100	19,00	44	60000	Hardening

Analizlerde sadece yapının kendi ağırlığı altındaki etkileri incelenmiş, yatay deprem yükleri hesaba katılmamıştır.

4. Sayısal Uygulama Analiz Sonuçları

Zemin parametreleri ile yapılan Plaxis analizlerinden, her bir model için gerilme-deformasyon eğrileri elde edilmiştir. Bu eğriler "Q-z" modellerin analizlerinde direkt olarak programa girilmiş, "link-gap eleman" modellerinde ise eğrilerin eğim çizgileri ile modelde bu elemanlar için kullanılacak rijitlik değerleri hesaplanmıştır.

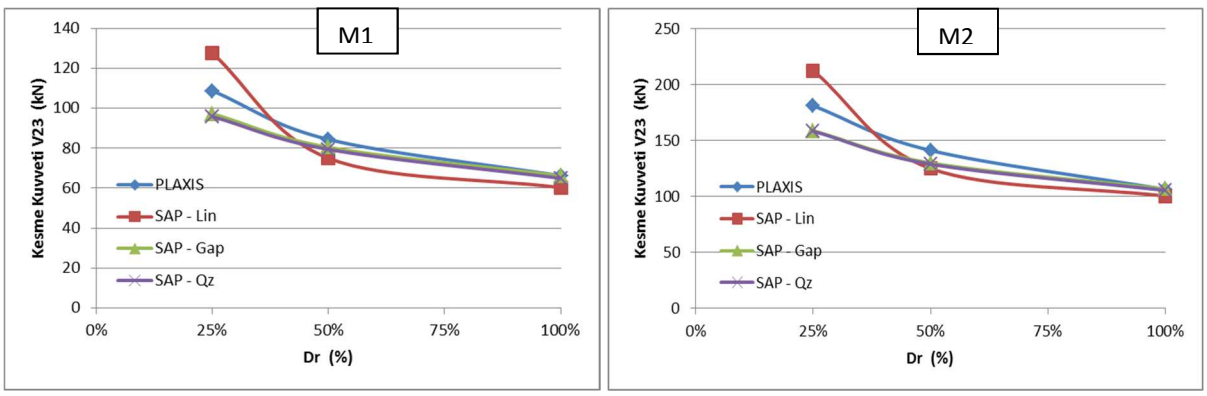
Analizlere göre temel plağında oluşan deplasmanlar ve kesit tesirleri için maksimum değerler grafiklerde kullanılmıştır.

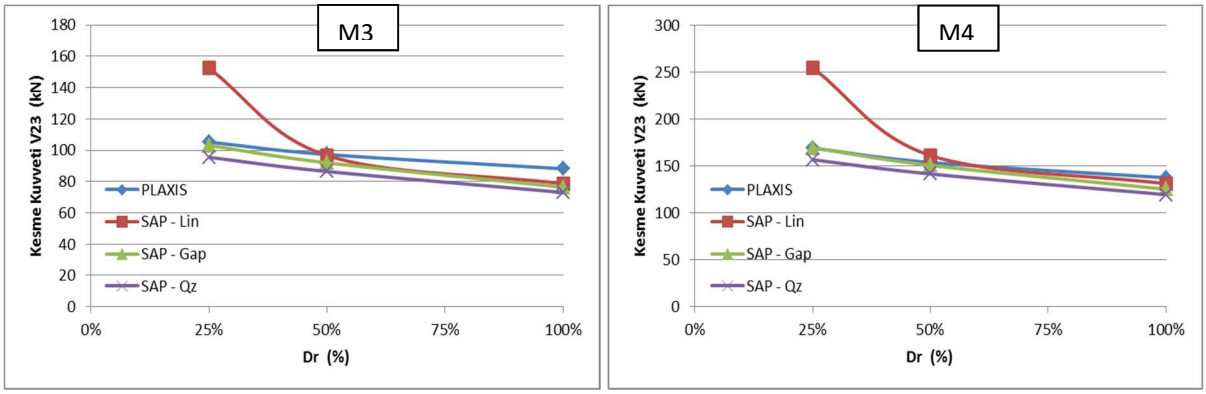


Şekil 2 Temel plağı düşey deplasman değerleri

Temel plağının düşey deplasman değerleri M1 ve M2 gibi tek açıklıklı basit modellerde genel olarak birbirine yakın değerler alırken, M2 de yükün artması ile gevşek kum ortamında doğrusal yaylar için daha farklı değerler elde edilmiştir. Zeminin rijitliği arttıkça belirli bir yük artışına kadar elastik davranış göstermesi, eğrilerin birbirine yakın değerler alması ile bu modellerde de açıkça görülmektedir. Ancak M3 ve M4 gibi daha karmaşık yapı modellerinde ise doğrusal yayların temel plağında oluşacak deformasyonları tam olarak yansıtamadığı aşikardır.

Temelde oluşan kesit tesirleri ise yapıdan gelen düşey yükler etkisindedir. Temelde oluşan kesme kuvvetleri zemin rijitliği ile ters orantılı olacak şekilde azalmaktadır. Nispeten daha sıkı zeminlerde yine Winkler yöntemi yakın sonuçlar verirken gevşek zeminlerde ise yüksek kesme kuvveti değerleri alabilmektedir.

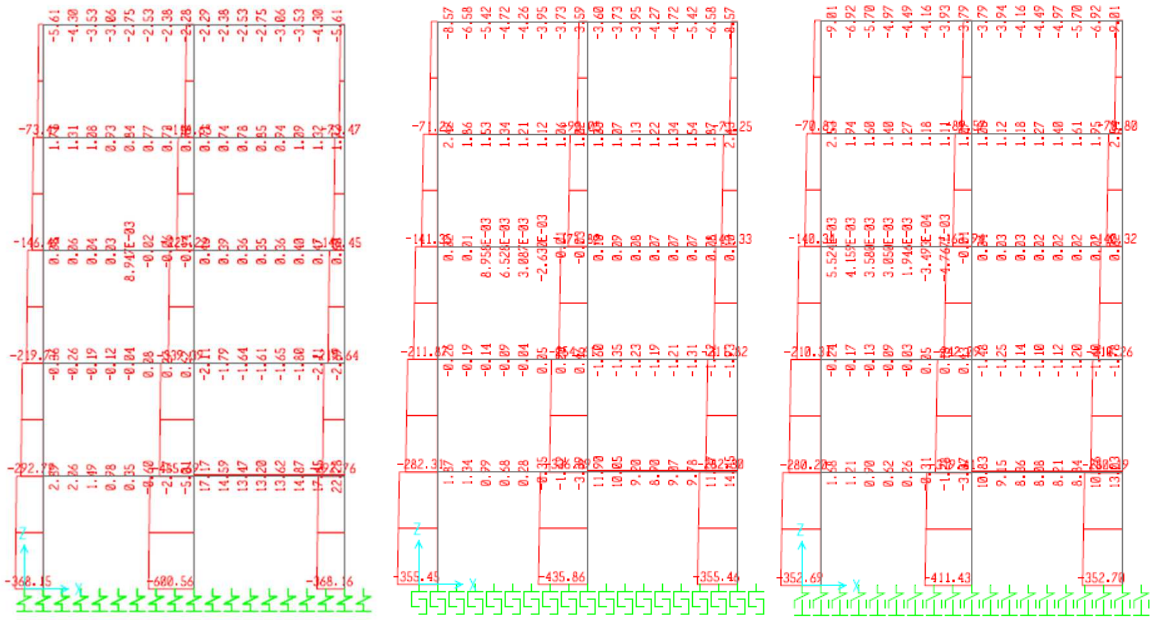




Şekil 3 Temel plağı Kesme Kuvveti değerleri

Plaxis torsiyon hareketlerini tam olarak yansıtamadığından temel plağının moment değerleri uyumlu değildir, ama SAP2000 de dönme sabitlikleri (rotation constraint) düzenlendiğinde Plaxis ile birbirine uyumlu değerler elde edilmektedir (Plaxis Bulletin). Ancak bu eylemin üstyapı için statik değerlendirmesi ayrıca yapılmalıdır ve bu çalışmada değerlendirmeye alınmamıştır.

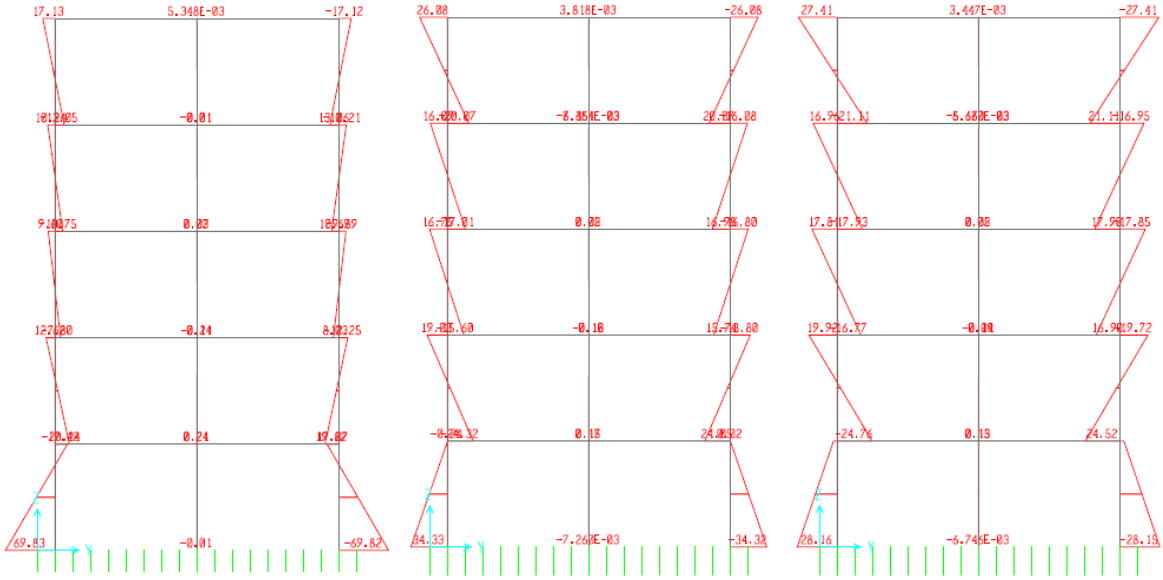
Yapıya ait kolon-kiriş elemanlarındaki en büyük kesit tesiri değişimleri, elemanların deplasman değerlerinde gözlenmiştir. Analizde sadece düşey yüklerin hesaba katıldığı düşünülürse yapı elemanlarında oluşacak moment-kesme kuvveti-eksenel kuvvet değerlerinin birbirine yakın çıkması beklenmektedir.



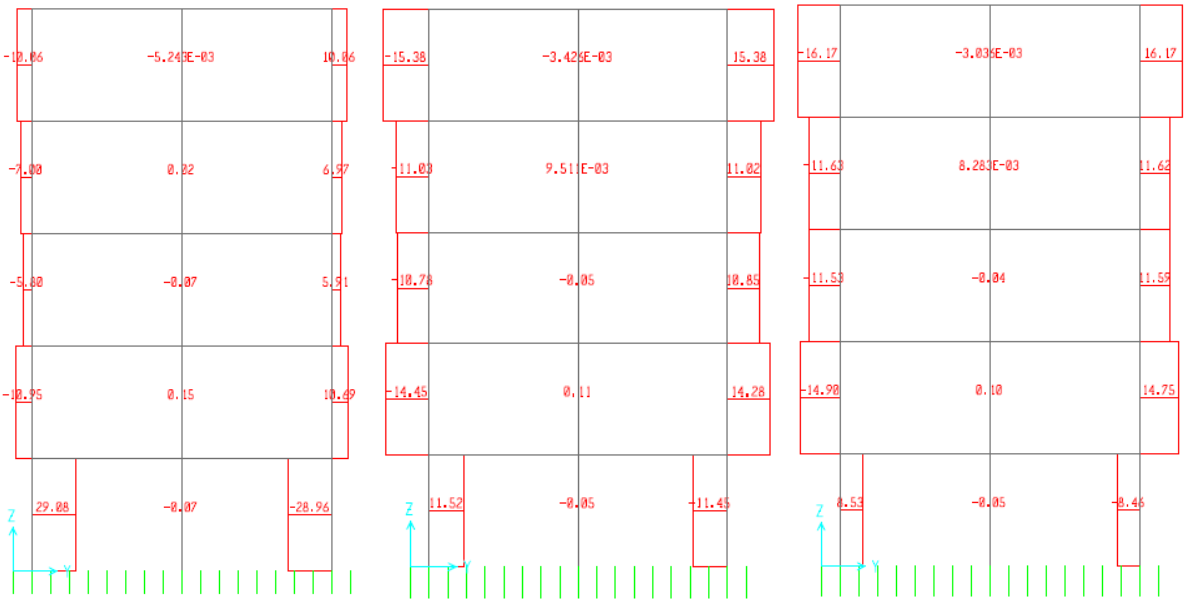
Şekil 4 M4 Modeli - Dr%25 için Eksenel Kuvvetler
a) SAP-Lineer b) SAP-Gap c) SAP-Qz

En elverişsiz olan M4 modeli ve %25 sıkılıkta gevşek kum tabakası için yapılan analiz sonuçları incelendiğinde, temel düşey deplasmanları birbirine yakın olmasına karşın doğrusal

davranışta orta kolonlarda daha yüksek eksenel kuvvetler, dış kolonlarda ise daha yüksek moment ve kesme kuvvetleri elde edilmiştir.



Şekil 5 M4 Modeli - Dr%25 için M22 Moment Kuvveti
a) SAP-Lineer b) SAP-Gap c) SAP-Qz



Şekil 6 M4 Modeli - S22 Kesme Kuvveti
a) SAP-Lineer b) SAP-Gap c) SAP-Qz

5. Sonuç ve Değerlendirme

Yapılan seri analizlerde, sonlu elemanlar geoteknik yazılımı olan PLAXIS sonuçlarına göre temelde oluşabilecek deformasyonlar ile uyumlu yaklaşımlar incelenmiştir. Bu yaklaşımlardan zemine ait gerilme-deformasyon eğrileri ve bu eğrilerden elde edilen rijitlik

katsayıları ile yapılan doğrusal olmayan analizler en uygun sistemler olarak gözlenmiştir. Bu yaklaşımların gevşek zemin parametreleri için dahi temel davranışını gerçeğe yakın şekilde yansıtabildiği gözlenmiştir. Doğrusal olmayan elastik yaylar ile yapılan analizlerin yanıltıcı sonuçlar verebildiği artık bilinmekte ve bir çok araştırmacı tarafından basit yapıların analizleri haricinde önerilmemektedir.

Üstyapı programlarında kullanılacak zemin modeli için temel altında tanımlanacak elemanların seçimi ve bu elemanlara ait parametrelerin geoteknik değerlendirme ile belirlenmesi, yapıyı doğru modelleyebilmenin en uygun yoludur.

Bu çalışmadaki analizlerde sadece yapının kendi ağırlığı altındaki etkileri incelenmiş, yatay deprem yükleri hesaba katılmamıştır. Deprem yükleri altında zeminin doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi ve üstyapı yazılımlarında kullanılacak zemin parametreleri ve yöntemleri detaylı olarak irdelenmelidir.

Referanslar

1. Computers and Structures. (2014). v.14 CSI Analysis Reference Manuel. Computers and Structures Inc.
2. Gragnano , C., Fargnoli , V., & Boldini, D. (2014). Comparison of Structural Elements Response in PLAXIS 3D and SAP2000. *PLAXIS Bulletin, Issue 35 / Spring*, 6-11.
3. Loukidis, D., & Tamiolakis, G. (2018). On the Pseudo-Coupled Winkler Spring Approach for Soil-Mat Foundation Interaction Analysis. *Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering* (s. 386-389). Springer Nature.
4. Önalp, A., & Sert, S. (2010). *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri.* İstanbul: Birsen Yayınevi Ltd. Şti.
5. PLAXIS. (2013). Plaxis 3D Reference Manual. Plaxis BV.
6. Terzaghi, K. (1955). Evaluation of Coefficient of Subgrade Reaction. *Geotechnique, 5*(4), 41-50.
7. Vesic, A. (1961). Beams on Elastic Subgrade and the Winkler's Hypothesis. *Proceedings of the 5th International Conference of Soil Mechanics*, (s. 845-850). Paris.
8. Winkler, E. (1867). *Die Lehre Von Der Elastizität Und Festigkeit.* Prague: H.Dominicus.

Use of Energy Piles in terms of Sustainability and its Future in Turkey (Oral)

Mert Tolon[1] and Ebru Toy[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul Gedik University, Turkey
Emails: mert.tolon@gedik.edu.tr, ebru.toy@gedik.edu.tr

Abstract

Increasing population and rising energy demands led countries to find alternative energy sources like renewables over the years. Among various renewable energy sources, geothermal energy is one of the most effective renewable energy sources since it has many great environmental, economic, and social benefits for long-term energy demand sustainability.

In a traditional geothermal energy system, to access the temperature of the ground, it is necessary to be able to reach kilometers deep by using geothermal boreholes. On the other hand, with the development of technology, a new way of utilizing geothermal energy source which called as energy pile foundations have been introduced. Using geothermal energy pile foundations as an energy source for heating and cooling overall building life provides many significant advantages for sustainable development.

Because of the fact that energy piles consist of two significant features which are load-bearing capacity and GHE, i.e., thermal, using of energy piles in extreme climate zones might be a reasonable solution in terms of whole-life costs of a building (Fadejev et al., 2017). In addition to this, utilizing the concrete foundation of newly designed buildings as an energy source helps to reduce energy consumption by a significant amount (Alberdi-Pagola et al., 2016). In other words, using of energy piles is the most promising geothermal energy concept that is now largely unknown.

Within this study, the using of foundation piles as bearing elements for transmitting the load of the building to the ground and also as heat exchangers for heating/cooling of the structure evaluated in terms of their energy efficiency, sustainability, its cost-effectiveness and also its future applicability to Turkey.

Keyword(s): Renewable energy, Geothermal energy, Foundation piles, Energy piles, Sustainability, Turkey

1. Introduction

It is well known that due to aging infrastructures and unsuccessful ecosystems in the developing and changing world, there are many difficulties such as droughts and pollution and these problems have led the designers to work on some of the most critical environmental issues in the world. In this sense, it is known what ecological problems are, but there is still a search for permanent solutions for water, shelter, and especially energy issues waiting to be solved with each passing day. For this reason, the traditional site engineering design branch

has not only focused on building infrastructure but today, engineers are also developing solutions as an integral part of multiple design teams (Sarté, S. B., 2010).

For this reason, with the concept of sustainability, several studies are carried out with different scientists and engineers to meet the demand of water, energy and structural materials and also try to integrate the green spaces; and many the parameters such as reducing carbon footprint in today's engineering solutions. In this context, efficient use of energy in terms of sustainable energy, integration of high-performance systems, carbon zero approaches, and of course, the use of renewable energies comes to the fore (Sarté, S. B., 2010).

In short, using geothermal energy pile foundations as an energy source for heating and cooling overall building life provides many significant advantages for sustainable development in order to solve energy demand in the local stage.

2. Sustainability

With the concept of sustainability introduced by the World Environment and Development Commission in 1987, it is foreseen that designs and decisions will be made to meet the current needs without compromising the capacity of next generations to meet their own needs. With this definition, it has been decided to take into consideration the social, economic expansion and environmental concerns, and to determine these three parameters as determinants on issues such as urbanization, development, and environment (Ünal, B., 2014). Sustainability, from a civil engineering perspective, is based on these three primary parameters: social, economic, and environmental factors (Ünal, B., 2014 and Jonker G., 2012).

In this sense, sustainable engineering activities depend on new technologies such as energy piles, for example, renewable energy types, which will enable people to protect the environment. For this reason, sustainability will develop with the guidance of local and national governments guidance of major industries with the help of developed legislation (Maczulak, A., 2010).

2.1. Sustainability in Engineering

Engineers, architects, city planners, and even sociologists should all work together to create sustainable cities and communities and to make a city sustainable. Therefore, the visual, spatial, thermal, air quality, acoustic parameters of new buildings to be built for sustainable cities should be examined with holistic approaches and the building performance should be evaluated according to many factors such as energy, economy, and environment. For example, solutions should be developed to achieve the desired performance of a building, to ensure that the heat source is what is needed, whether the use of renewable energy sources is appropriate, and what the performance of the heating system, ventilation, and air conditioning are (Mumovic D. et al., 2009 and French M., 2012).

As it is known, due to the inadequacy of the reserves of natural energy resources and the global environmental protection policies and agreements, renewable energy technologies have been developed by engineers, and then cheaper, more efficient and more sustainable energy resources have to be presented to the societies. Thus, the opportunity to design and implement energy systems over sustainability in the planning phase of the buildings in the last 15 years has arisen (Medved S., 2019).

2.2. Sustainability in Energy Systems

Turkey Green Building Council has defined the sustainable building, green building, or energy efficient building terms to express energy efficiency and buildings that aim to be environmentally friendly. These buildings can be defined as healthy facilities designed and built in a resource efficient manner by taking into consideration of ecological principles (Ünal, B., 2014 and Bauer, M. et al., 2009). This is why the efficiency of energy consumption and to further deterioration of the ecological balance stands out in this building. As a necessity, it is seen that geothermal energy is the most widely available type of energy when it comes to the use of renewable energy and comes to the fore with the solar energy in terms of literature. According to other alternative energy sources such as solar energy or wind energy, geothermal resources are available wherever there is volcanic activity in the region. And perhaps most importantly, geothermal energy is a renewable energy type which is a sustainable approach with the reason that the groundwater they use is sent back to the underground after the hot water is put into the pipe and the heat is transferred, and the water is sent back to the underground to take the heat again (Wachtel, A. et al., 2010).

3. Renewable Energy and Geothermal Energy Systems

Geothermal systems help to keep a building warm in the winter or cool in summer because the earth's temperature is constant throughout the year. Geothermal energy systems require a significant amount of financial investment. For this reason, compliance feasibility should be done with extreme caution (Sarté, S. B., 2010). Ground source thermal energy systems use the constant temperature and thermal storage capacity of the ground for heating and cooling of buildings. In this sense, the Energy Piles, in recent years, serve as the primary system support staff in civil engineering and are also used as heat exchangers for heating and cooling of the building (Ozudogru, T. et al., 2012). In this sense, the potential of geothermal energy is seen when the annual technical energy potentials of renewable energy sources are compared (Table 1).

4. Energy Piles

Energy piles, as one of the most widely used energy structures in the world, are designed and implemented both as carrier elements and as an alternative thermal energy source (Peng H. et al., 2018 and Alberdi-Pagola, M., 2018).

Table 1 – Technical potential of renewable energy resources (Tahiroğlu, E., 2009)

Energy Source	**EJ per year**
Hydropower	50
Biomass	276
Solar Energy	1575
Wind Energy	640
Geothermal Energy	5000
Total	**7541**

In addition, Peng H. et al., 2018 as stated in their study, small-scale model tests to understand the thermo-mechanical behavior of the energy piles have examined by many researchers like Laloui et al., 2006; Bourne-Webb et al., 2009; McCartney and Rosenberg, 2011; Kalantidou et al., 2012; Ng. et al., 2014; Stewart and McCartney, 2014; Wang B et al., 2014; Goode III and McCartney, 2015; Liu et al., 2016; Wang CL et al., 2016 over the past years. Energy piles are reinforced concrete piles containing double or quadruple plastic U-pipe heat exchangers and a polyethylene pipe network (Alberdi-Pagola, M., 2018 and Stober I., 2013). Typically, all or part of the foundation's foundation provides an average of 20% of the heating and cooling requirements of the building. For this purpose, energy piles connected to ground, source heat pumps are used. Energy stakes were first applied in Austria in the 1980s (Brandl, 2006) and later in many European countries (e.g., Koene et al., 2000, Pahud & Hubbuch, 2007, Desmedt and Hoes, 2007). For example, a single energy pile application can deliver between 25 and 50 W / m depending on the size, construction details, and surrounding soil types and how the system is operated (Amis A., 2014 and Olgun C. G., 2013). Different types of ground source heating systems that can be applied under buildings are given in Figure 1. Also, the performance comparisons of different heat exchange systems that can be applied under sustainable buildings are given in Figure 2.

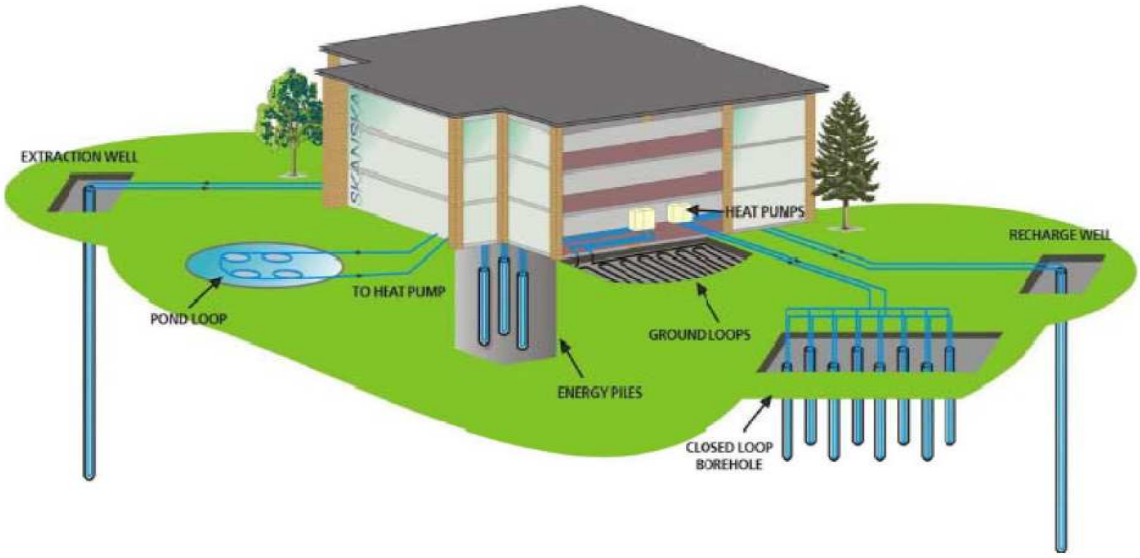


Figure 1 – Different types of ground source heating systems (Tahiroğlu, E., 2009).

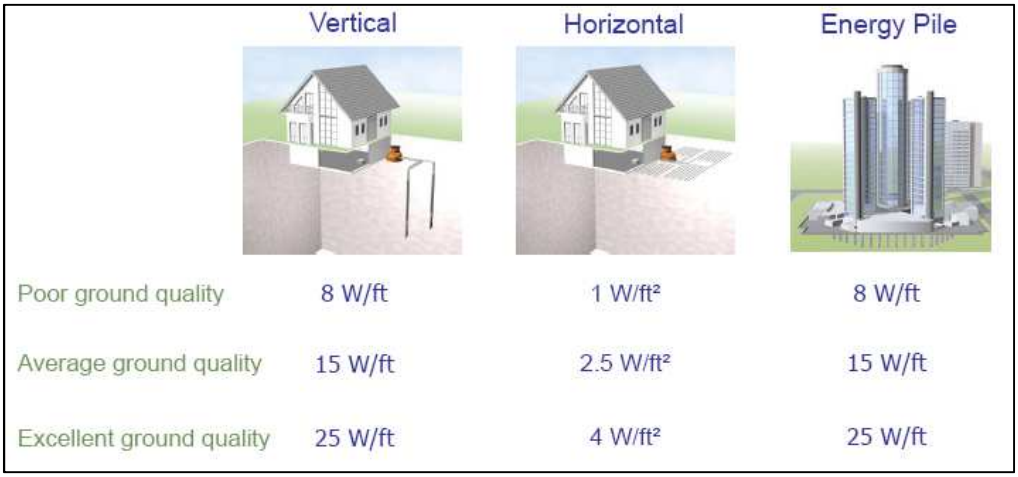


Figure 2 – The performance comparisons of different heat exchange systems (Olgun C. G., 2013).

5. Discussion

An energy pile system is known to repay the invested investment on average within eight years compared to a traditional system (Pahud D. et al., 2007). Today, in order to liberalize the energy sector and to restructure the "Energy Market Law" is being implemented from the new legislation in Turkey. However, Turkey has not carried out a comprehensive special law for the development of geothermal resources. On the other hand, there are several geothermal energy system projects which carried out nowadays in different regions of Turkey, and in total, these projects have 1262 MwT direct use potential. Turkey in geothermal findings in western Anatolia extending into the Sea of Marmara and the Aegean region and temperatures are common in these regions is higher than the naturally mountainous region of eastern Anatolia. In this context, western Anatolia, Aegean, north Anatolian fault zone, eastern Anatolia and Central Anatolia are the main geothermal areas that are available in Turkey. The first geothermal exploration drilling was carried out in Turkey in 1963 in Izmir-Urla currently uses the country's geothermal resources for heating, basically 90% of the total direct use (Battocletti L., 1999).

Moreover, as the most prominent feature in Turkey, nearly 40,000 homes are heated with geothermal resources. However, it is observed that a minimal number compared with the number of building stock in Turkey. A deficient percentage of these approximately 40000 households present in this equipment is known to apply an energy pile application (Battocletti L., 1999).

Furthermore, Figure 3 reveals the potential of geothermal energy that can be generated by energy piles depending on the depth map of the temperature distribution in Turkey. According to 2015 reports in Turkey, including surface temperatures ranging between 22.5^{o}C to 220°C in approximately, there are 110 areas that have 276 geothermal formations (Basel E., 2010).

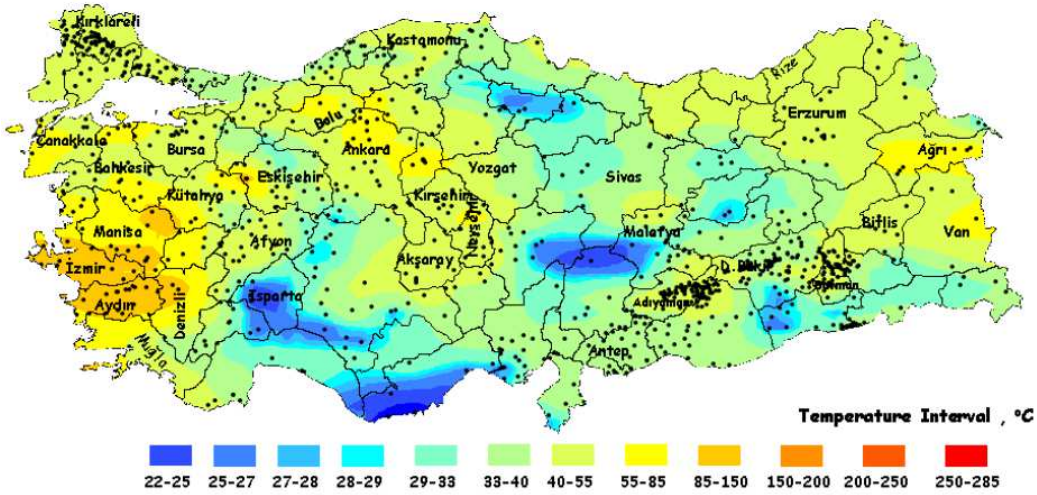


Figure 3 – Temperature distribution in Turkey for geothermal energy (Basel E., 2010)

On the other hand, today, energy demands are reduced from natural sources, and renewable energy technologies are integrated into the building design as much as possible in Europe. As part of these developments, the establishment of geothermal loops or energy piles on sustainable building foundations is becoming increasingly popular in the United Kingdom. For example, very serious financial sanctions are applied for buildings that do not provide energy savings of 40% in central London, and additional support is provided in areas where the use of energy piles is possible (Amis A., 2014). The increasing number of energy piles installed in the recent years in both UK and Austria (Figure 4 and Figure 5) showed that there had been an increasing amount of literature on applications of shallow geothermal heating and cooling systems in geotechnical engineering, most of it focused on energy pile foundations (Tahiroğlu, E., 2009 and Tester, J. W. et al., 2006).

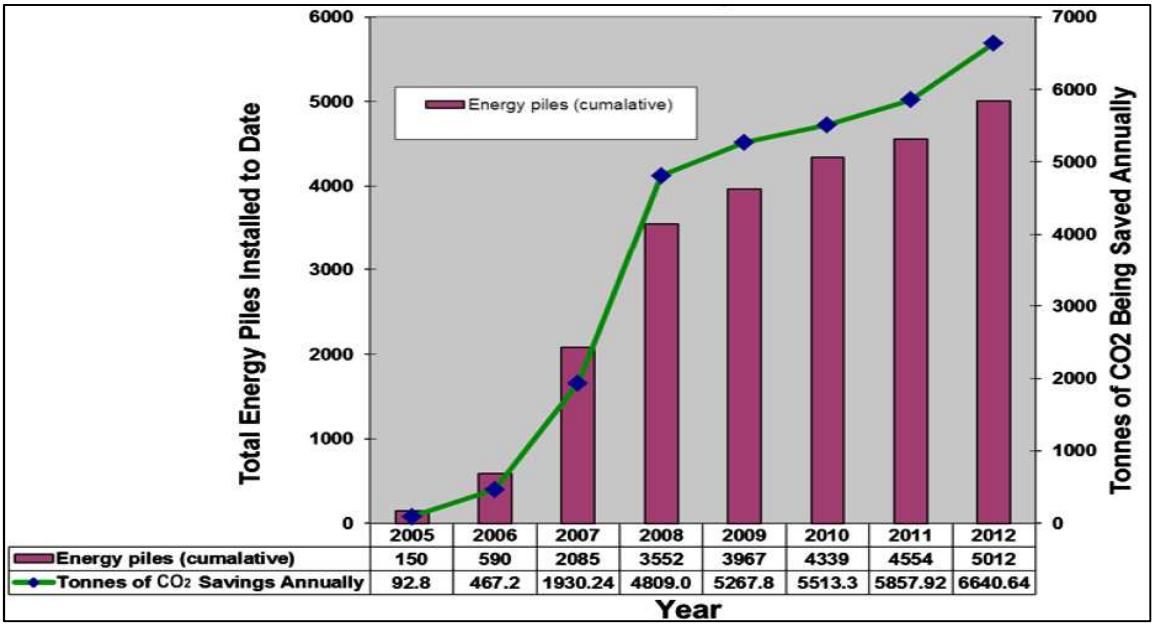


Figure 4 – The energy piles installed in the UK from 2005 to 2012 (Amis A., 2014).

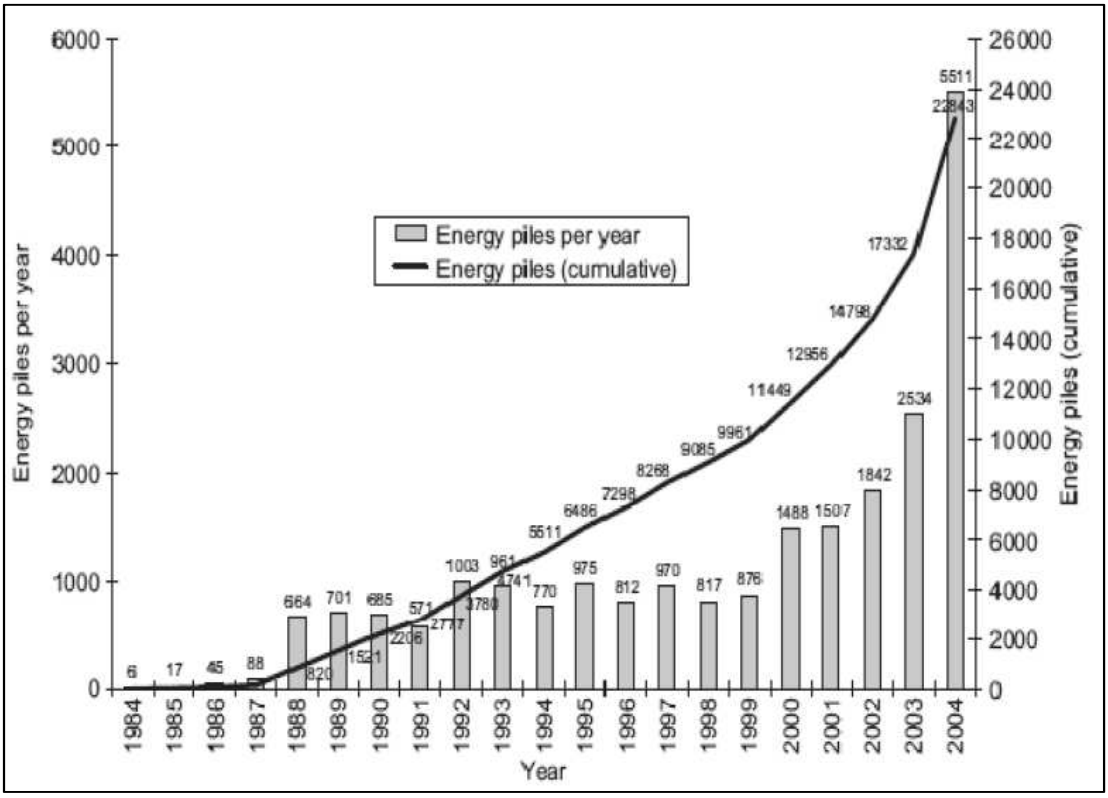


Figure 5 – The energy piles installed in Austria from 1994 to 2005 (Tahiroğlu, E., 2009).

In this sense, as explained above, it is evident that the number of applications is increasing in every country where the use of energy piles is used under the foundation of the structures as integration to the buildings when the first investment finances are met. Therefore, the cost-effectiveness of energy piles is directly proportional to the conditions of determining the system's heat performance, checking the validity of design procedures, and optimizing the operation of the system (Pahud, D. et al., 2007). In summary, it is seen that the thermal performance of the energy pile systems is extremely good and very close to the design values.

6. Conclusion

According to the European Parliament 2010/31 / EU directive, every new construction should be almost zero-energy buildings by the end of 2020. This requirement explicitly requires extensive use of renewable resources (Ferrantelli, A. et al., 2019). With the UK Government's incentives for renewable heat, the potential for greater adoption of energy pile solutions is rapidly increasing. In this context, there is great importance in supporting such incentives in Turkish regulations and provisions in terms of geothermal energy system application; especially energy piles (Amis A., 2014).

In this study, it is aimed to emphasize the importance of using the energy piles as the carrier elements by taking over the load of the building to the ground, as well as the use of the building as an energy source for heating/cooling. In this sense, it is understood that energy pile applications are becoming increasingly widespread in the world.

References

1. Fadejev, J., Simson, R., Kurnitski J., and Haghighat, F. 2017, "A review on energy piles design, sizing and modeling" Energy Volume 122, Pages 390-407.
2. Alberdi-Pagola, M., Jensen, R. L., and Poulsen S. E. 2016, "A performance case study of energy pile foundation at Rosborg Gymnasium (Denmark)" CLIMA 2016- proceedings of the 12th REHVA World Congress volume 3 Heiselberg, Per Kvols.
3. Sarté, S. B. 2010, "Sustainable Infrastructure: The Guide to Green Engineering and Design," John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
4. Ünal B., 2014, "Sustainable Development of Istanbul Built Environment," M.Sc. thesis, Department of Real Estate and Construction Management, KTH University, Stockholm.
5. Jonker G. and Harmsen J., 2012, "Engıneerıng for Sustaınabılıty: A Practıcal Guıde for Sustaınable Desıgn, Elsevier B.V., ISBN: 978-0-444-53846-8.
6. Maczulak, A., 2010, "Sustainability: Building Eco-Friendly Communities," Facts On File, Inc., ISBN-13: 978-0-8160-7201-9.
7. Mumovic D. and Santamouris M., 2009, "A Handbook of Sustainable Building Design and Engineering: Integrated Approach to Energy, Health & Operational Performance," UK, Cromwell Press, Trowbridge.
8. French M., 2012, "Sustainable Housing for Sustainable Cities: A Policy Framework for Developing Countries," Report, United Nations Human Settlements Programme, ISBN: 978-92-1-132488-4.
9. Medved S., Domjan S., and Arkar C., 2019, "Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings Design and Evaluation Methods," Springer Nature Switzerland AG, ISBN 978-3-030-02822-0 (eBook).
10. Bauer, M., Mösle, P., & Schwarz, M., (2009). Green building: a guidebook for sustainable architecture. Springer Science & Business Media.
11. Wachtel, A., and Voege, D. (2010). Geothermal Energy. Chelsea Clubhouse, ISBN 978-1-4381-3291-4.
12. Ozudogru, T., Brettmann, T., Olgun, G., Martin, J., & Senol, A. (2012). Thermal conductivity testing of energy piles: field testing and numerical modeling. Proceedings of the GeoCongress.
13. Tahiroğlu, E., (2009). 3D Finite element analysis for geothermal energy in environmental geotechnics (Doctoral dissertation), Department of Civil Engineering, Istanbul Technical University.
14. Peng, H. F., Kong, G. Q., Liu, H. L., Abuel-Naga, H., & Hao, Y. H., (2018). Thermo-mechanical behavior of floating energy pile groups in the sand. Journal of Zhejiang Univ.-SCIENCE, 19(8), 638-649.
15. Alberdi-Pagola, M., (2018). Design and performance of energy pile foundations: Precast quadratic pile heat exchangers for shallow geothermal energy systems (Doctoral dissertation, Aalborg Univ.).
16. Stober I. and Bucher K., 2013, "Geothermal Energy From Theoretical Models to Exploration and Development," Springer Heidelberg New York Dordrecht London, ISBN 978-3-642-13352-7 (eBook), DOI 10.1007/978-3-642-13352-7.
17. Amis, A., & Loveridge, F. A., (2014). Energy piles and other thermal foundations for GSHP–developments in UK practice and research. REHVA Journal, 2014(1), 32-35.
18. Olgun, C. G., (2013). Energy piles: background and geotechnical engineering concepts. In Proceedings of the 16th Annual George F. Sowers Symposium, Atlanta, GA, USA (Vol. 7).
19. Pahud, D., & Hubbuch, M., (2007). Measured thermal performances of the energy pile system of the dock midfield at Zürich Airport.
20. Battocletti L., (1999), "Geothermal resources in Turkey, Report No. INEEL/EXT-99-01282.
21. Basel, E. D. K., Serpen, U., & Satman, A. (2010, February). Turkey's geothermal energy potential: updated results. In Proc. 35th Workshop on Geothermal Reservoir Eng., Stanford University, Stanford, CA, SGP-TR-188.
22. Ferrantelli, A., Fadejev, J., & Kurnitski, J. (2019). Energy pile field simulation in large buildings: validation of surface boundary assumptions. Energies, 12(5), 770.
23. Tester, J. W. et al. (2006). The future of geothermal energy. The Future of Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 372, ISBN: 0-615-13438-6.

Patlatmalı temel kazılarında patlayıcı yük hesabı ve titreşim analizi: Hatay İli Mansurlu Huzurevi kampüs inşaatı örneği (Oral)

Bayram Ali MERT[1], Davut YÜREK[2]

[1]Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
E-posta: bali.mert@iste.edu.tr
[2]Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
E-posta: davutyurek@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada patlatmalı temel kazısından kaynaklı titreşimlerin yakın civarda bulunan yapılarda hasar oluşturmaması için önerilen titreşim ve patlayıcı madde miktarı sınırları incelenmiştir. Patlatma sonucu oluşan şok dalgaları havada ve ateşlenen kaya birimi içinde belirli bir hız, frekans ve genlikte yayılmaktadır. Bu yayılım patlatma konumundan uzaklaştıkça sönme eğilimi göstermektedir. Farklı uzaklıklardaki tepe parçacık hızı (PPV, Peak Particle Velocity), teorik olarak kullanılacak patlayıcı madde miktarı (W) ve mesafeler (D) dikkate alınarak bir takım eşitlikler yardımıyla, uygulamada ise yerinde ölçüm yapılarak elde edilir. Elde edilen sonuçların kabul edilebilir sınır değerlerle karşılaştırılması suretiyle çevresel etki değerlendirilmesi yapılır. Çalışmada örnek uygulama olarak, Hatay İlinde bir yerleşim alanı içerisinde yapımı sürdürülen Huzurevi inşaatının temel kazısındaki patlatmaların çevre yapılardaki oluşturacağı titreşimler incelenmiştir. Sonuç olarak, yapılacak patlatmaların en yakın 20 metre uzaklıkta bulunan bir yapıda hasar oluşturmaması için uygulamada kullanılacak patlayıcı şarj miktarları ve patlatma yapılabilecek alanlar hesaplanmış, elde edilen bulgular ışığında 200 ayrı delikte patlatma yapılarak yerinde yapılan ölçümlerle PPV tahmin sonuçları test edilmiş ve doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: patlatma, titreşim, maksimum parçacık hızı, temel kazısı

Analyzing of vibrations and charge weights for the urban construction blasting: A case study of Mansurlu Nursing Home construction in Hatay Province (Oral)

Bayram Ali MERT[1], Davut YÜREK[2]

[1] Department of Petroleum and Natural Gas Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
Email: bali.mert@iste.edu.tr
[2] Institute of Engineering and Sciences, , Iskenderun Technical University, Turkey
Email: davutyurek@hotmail.com

Abstract

In this study, vibration and charge limits were investigated to avoid damage to nearby buildings in a blasting operations. When the environmental problems caused by blasting are explored it can be observed that these problems are caused by effects such as ground vibrations, air shock, flying rocks and high noise. Shock waves caused by blasting operations are spread at a certain speed, frequency and amplitude in the air and rock unit. Frequency of vibrations generated by the blasting varies depending on the space and the geology of rocks (rock types) in the blasting area. If the ground in which the blasting is made is homogeneous, the speed of the vibration usually fades at a far certain distance. Therefore, the peak particle velocities, vibration frequency, and field coefficients are also important and determinative factors in the occurrence of damage to buildings. Peak particle velocity (PPV) at various distances are calculated with the help of a number of equations taking into consideration the charge and

distance of the explosive substances to be used theoretically. In practice, it is obtained by on-site measurement. Environmental impact assessment is made by comparing the results with acceptable limit values.

In this study, the effects of blasting vibrations on the nearest buildings were investigated in a construction of a nursing home in the residential area of Hatay Province. Within the scope of the study, maximum charge weights were calculated in order not to cause any damage to the building which is located at a distance of 20 meters. Finally, the findings were confirmed by in site measurements at blasting 200 holes.

Keyword(s): urban blasting, ground vibration, peak particle velocity, basement construction

1. Giriş

Delme ve patlatma işlemleri, kazı/hafriyat işlemlerinin gerçekleştirildiği tüm sektörlerde ekonomik ve uygulanabilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu türden bir yöntemin uygulanmasına yönelik örnek olarak seçilen Mansurlu huzur evi kampüs inşaatı yaklaşık 2 hektarlık alanda 4-6 m derinliğinde temel kazısının zorunlu olduğu bir projedir. Projeye ilk başlanıldığında kazı faaliyetlerinin ekskavatörler yardımıyla yürütülmesinde birçok zorlukla karşılaşılmış, beraberinde yaşanan zaman kaybı ve maliyetler kayaçların delme patlatma yöntemiyle gevşetilmesini zorunlu kılmıştır. Projede delme patlatma faaliyeti ekonomik ve uygulanabilir bir yöntem olmasına karşın inşaat kazı alanının yakın çevresinde bulunan yapılar operatör açısından kısıtlayıcı bir çevre sorunu olarak ortaya çıkmıştır.

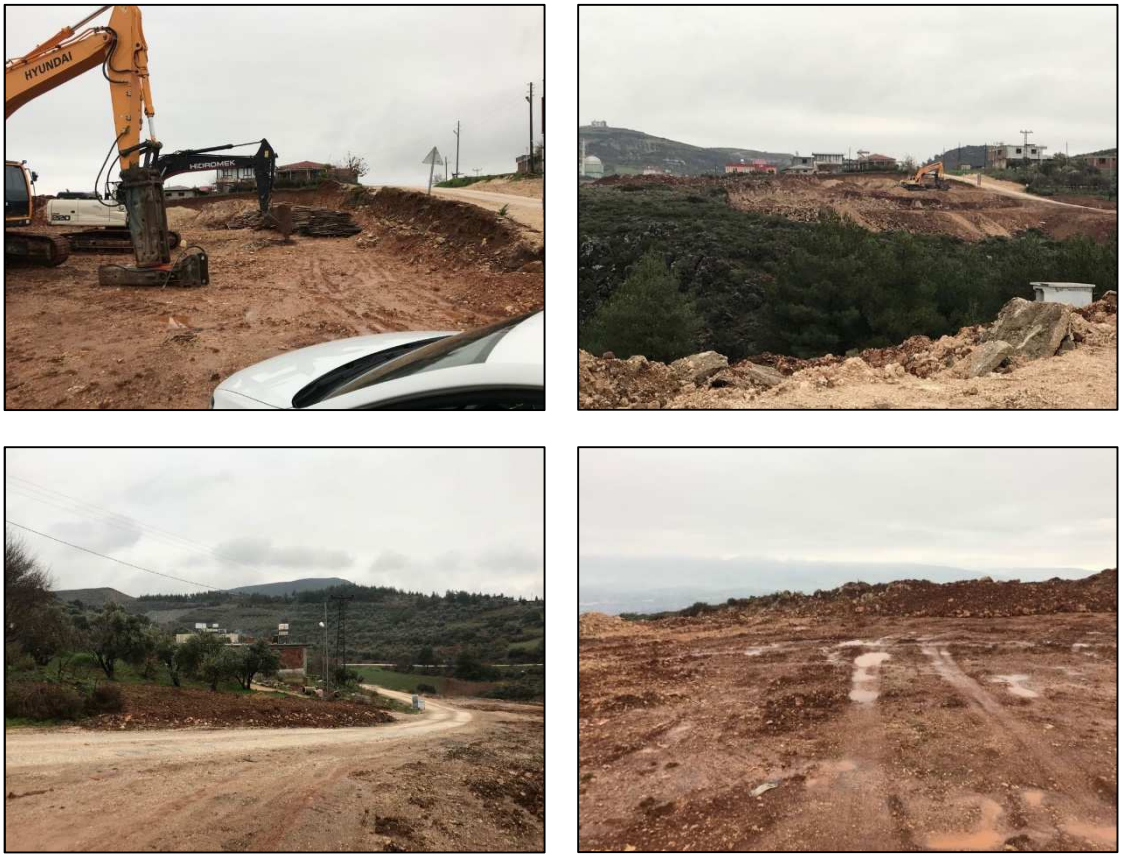
Patlatmadan kaynaklı çevresel sorunlar incelendiğinde sebeplerinin yer sarsıntısı, hava şoku, kaya fırlaması ve yüksek ses gibi sonuçlardan kaynaklandığı görülmektedir. İlgili literatür incelendiğinde, patlatmalardan kaynaklı olumsuz etkilerin tamamen ortadan kaldırılamadığı görülse de uygun delik geometrisi, şarj miktarı ve gecikme aralıkları ile tasarlanmış kontrollü patlatmalar sayesinde bu etkileri minimize etmenin mümkün olduğu görülür [1-2]. Patlatma sonucu oluşan şok dalgaları havada ve ateşlenen kaya birimi içinde belirli bir hız, frekans ve genlikte yayılmaktadır. Bu yayılım atım yerinden uzaklaştıkça sönme eğilimi göstermektedir. Literatürde patlatmadan kaynaklı oluşacak titreşimlerin yayılma hızının kullanılan patlayıcı madde miktarı ve ilgili patlatma alanının jeolojik ve jeoteknik koşulları ile doğrudan ilişkili olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya koyulmuştur [3-4]. Farklı mesafelerdeki titreşim hızları, teorik olarak kullanılacak patlayıcı madde miktarı ve uzaklıklar dikkate alınarak geliştirilmiş ampirik denklemler yardımıyla [5], uygulamada ise yerinde ölçüm yapılarak elde edilen sonuçların kabul edilebilir sınır değerlerle karşılaştırılması suretiyle etki değerlendirilmesi yapılır.

2. Patlatma Alanı Çevresindeki Yapıların Genel Özellikleri

Huzur Evi inşaatı Hatay İli Antakya İlçesi Mansurlu Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Kazı alanı çevresinde en yakını 20 metre uzaklıkta olmak üzere 6 ayrı konut mevcuttur (Şekil 2-3). Civardaki konutların genellikle taş duvarlı, yığma kagir ve yığma yarı kagir vasfında olan olduğu gözlenmiştir. Ayrıca bölgede daha uzak mesafelerde betonarme karkas binalarda mevcuttur. Yapılar genellikle 1 veya 2 kattan oluşmaktadır. Taşıyıcı duvar elemanı olarak taş, tuğla ve beton briket, bağlayıcı malzeme olarak da genelde çimentolu kireç harcı kullanılmıştır.

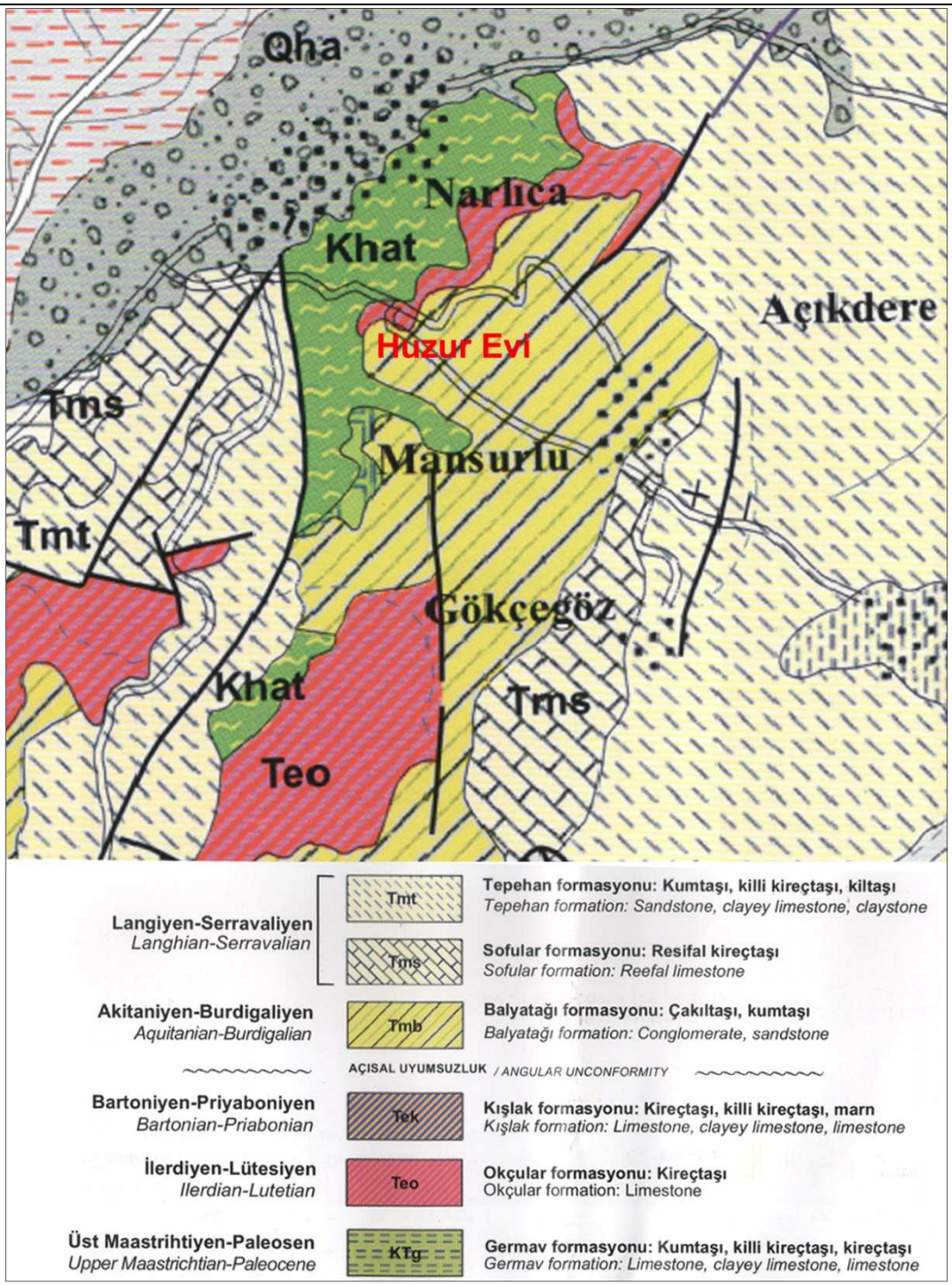
Şekil 1. Mansurlu huzur evi yapım işi yer bulduru haritası

Şekil 2. Kazı alanı ve çevresindeki konutları gösterir uydu görüntüsü



Şekil 3. Temel kazısı faaliyetinden bir görünüm

Huzur evi inşaatı yaklaşık 2 hektarlık alanda tabanı kireçtaşı olan Okçular formasyonu içerinde yer almaktadır. Tektonizmanın yoğun yaşandığı alanın kuzeyinde ofiyolitik kayaçlar, doğusunda ise kumtaşı ve çakıltaşı gibi birimler yer almaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Huzur evi inşaatı ve çevresinin jeoloji haritası [6]

3. Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Analizi

Patlatmadan kaynaklanan yer sarsıntılarının önceden tahmin edilmesi amacıyla başlıca Duvall ve ark. [7,8] , Langefors ve Kihlström [9], Ambraseys ve Hendron [10], IS [11], Davies ve ark. [12], Ghosh ve Daemen [13], Roy [14] tarafından birçok araştırma yapılmış, elde edilen bulgular ışığında parçacık hızı bileşenleri tahmininde patlayıcı madde miktarı (W) ve mesafeye (D) bağlı olarak farklı eşitlikler bulmuşlardır. Literatür de sıklıkla önerilen bu eşitlikler aşağıda sunulmuştur (Eşitlik 1 -8).

Duwall [7,8], $PPV = k.\left[\frac{D}{\sqrt{W}}\right]^{-\beta}$ (Eşitlik 1)

Langefors ve Kihlström [9], $PPV = k.\left[\frac{\sqrt{W}}{D^{\frac{2}{3}}}\right]^{\beta}$ (Eşitlik 2)

Ambraseys ve Hendron [10], $PPV = k.\left[\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}}\right]^{-\beta}$ (Eşitlik 3)

IS [11], $PPV = k.\left[\frac{D}{W^{\frac{2}{3}}}\right]^{\beta}$ (Eşitlik 4)

Davies ve ark. [12], $PPV = kR^{-\beta}W^{A}$ (Eşitlik 5)

Ghosh ve Daemen [13], $PPV = k\left[\frac{D}{\sqrt{W}}\right]^{-\beta} e^{-\alpha.D}$ (Eşitlik 6)

Ghosh ve Daemen [13], $PPV = k\left[\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}}\right]^{-\beta} e^{-\alpha.D}$ (Eşitlik 7)

Roy [14], $PPV = n + k\left[\frac{D}{\sqrt{W}}\right]^{-1}$ (Eşitlik 8)

ISEE [15] birçok ülkede yapılmış olan binlerce ölçüm, izleme ve istatistiki analiz sonucunda patlatma kaynaklı yer titreşimi tahminine yönelik genel olarak Eşitlik (1)'in kullanılmasını önermektedir.

Bu eşitlikte; PPV maksimum parçacık hızı (mm/sn), "*D*" patlatma noktasından uzaklık (metre), "*W*" gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg), "*k*" yer iletim katsayısı ve "*β*" jeolojik sabiti temsil eder.

Oriard [16] n sabitinin yaklaşık olarak 1.6 ve "*k*" sabitinin 26-960 arasında değişen değerler alabileceğini önermiştir. New [17] ise *k* ve "*n*" sabitlerinin sırasıyla 700-2000 ve 1.5-2 değerleri arasında değişebileceği belirtilmiştir. "*k*" ve "*n*" sabitlerini belirlemek için ölçülmüş saha-spesifik veri olmadığında, "*k*" değeri kayanın fiziksel özellikleri ve patlamanın sıkılama derecesi baz alınarak tahmin edilebilir. Bu tip durumlarda "*k*" faktörü 1140 alınarak değişik mesafelerdeki maksimum parçacık hızı hesaplanabilir. Bu şekilde seçilecek olan büyük "*k*" değeriyle, tahmin edilen titreşim seviyesi gerçekte ölçülecek değerlerden daha yüksek olacaktır. Benzer durumda saha üs sabiti "*β*" için değişik kayalarda önerilen değerler şu şekildedir: Riyodasit / Rhyolite: 2.2-2.5, Granit: 2.1-2.4, Kireçtaşı: 2.1, Ordovisiyen çökelleri: 2.8, Kömür madeni üst yapısı: 1.5 – 1.8, Bazalt (kil zemin): 1.5 – 1.6, Bazalt (masif): 1.9-3.0.

USBM [18] ve OSMRE [19] tarafından yapılan veya yararlanılan çok sayıda titreşim ölçüm sonuçlarının analizi sonucunda bazı madencilik türleri ve patlatma yapılan işkollarında geçerli, yer titreşimi tahmin formülleri aşağıda Tablo 1'de sunulmuştur [20].

Tablo 1. Farklı madencilik türleri ve patlatma yapılan işkolları için geçerli titreşim tahmin formülleri [20]

Patlatma türü	Metrik Formül, mm/s	Güvenirlik Derecesi	Kaynak
Genel	$P = 1140 \times SD^{-1.6}$	En iyi uyum (%50 güvenirlik)	Dupont
İnşaat	$P = 173 \times SD^{-1.6}$	Alt sınır eşitliği (%50'den az güvenirlik)	Oriard

İnşaat	$P = 1730 \times SD^{-1.6}$	Üst sınır eşitliği %95 güvenirlik)	Oriard
İnşaat	$P = 4320 \times SD^{-1,6}$	Üst sınır- yüksek sıkılama/patlayıcı fazla gömülmüş (%95 güvenirlik)	Oriard
İnşaat	$P = 53 \times SD^{-1.09}$	En iyi uyum (%50 güvenirlik)	USBM
Taş ocağı	$P = 1090 \times SD^{-1.82}$	En iyi uyum (%50 güvenirlik)	USBM
Kömür madeni	$P = 905 \times SD^{-1.52}$	En iyi uyum (%50 güvenirlik)	USBM
Kömür madeni	$P = 3330 \times SD^{-1.52}$	Üst sınır eşitliği (%95 güvenirlik)	USBM
Kömür (düşük frekanslı sahalar)	$P = 1252 \times SD^{-1.31}$	En iyi uyum (%50 güvenirlik)	USBM

Saha sabitleri, K ve n, sahada aletsel olarak ölçülerek elde edilen çok sayıda maksimum parçacık hızı (PPV) ve ölçekli mesafe (Ds) değerleri Denklem 1'de verilen bağıntıya uygun olarak yapılacak regresyon analizinden de elde edilebilir [21]. Parçacık hızı tahmin denkleminin güvenilir olması için kararlılık katsayısı (R^2) değerinin 0.7'den büyük olması gereklidir [22].

4. Konutlar İçin Patlatma Kaynaklı Titreşimin Güvenli Seviyesi

Yapıların dinamik davranış özellikleri tolere edebilecekleri titreşim seviyesini belirler. Yapı ve elemanlarının belirli bir titreşim frekansı vardır ve eğer yakın frekansta meydana gelen bir ekti tarafından harekete geçirilirse rezonans oluşma olasılığı vardır.

Değişik görüşler olmasına rağmen 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazetede yayınlanmış ve halen yürürlükte olan "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" Madde.25'e göre Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunulan alanlardaki patlatmaların çevredeki çok hassas kullanımlarda oluşturduğu zemin titreşim seviyesi bu Yönetmeliğin ekindeki Ek-VII'de yer alan Tablo-6'da verilen sınır değerleri aşamaz." Denilmektedir [20]. Yönetmelik Ek-VII'de yer verilen Tablo-6 aşağıda Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Çok Hassas Kullanım Alanının Dışında Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri [20]

Titreşim Frekansı(Hz)	İzin Verilen En Yüksek Titreşim Hızı (Tepe Değeri-mm/s)
1	5
4-10	19
30-100	50

Not: 1 Hz- 4 Hz arasında 5 mm/s'den 19 mm/s'ye; 10 Hz- 30 Hz arasında 19 mm/s'den 50 mm/s'ye, logaritmik çizilen grafikte doğrusal olarak yükselmektedir.

Tablo 2'nin altında sözel olarak ifade edilen logaritmik grafik çizilmiş ve verilen frekanslar dışındaki değişik sismik dalga frekansları için yer titreşim hızı tepe (en yüksek) değerinin kaç mm/s değerini aşmaması gerektiği hesaplanmış ve Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğine göre farklı dalga frekansları için izin verilen (aşılmaması gereken) üst sınır zemin titreşim hızları [20]

Sismik Dalga Hakim Frekansı, Hz	Bina Zemininde İzin Verilen Yer Titreşim Hızı, mm/s
1,0	5,00
1,5	6,95
2,0	9,35
2,5	11,60
3,0	13,86
3,5	16,40
4-10	19,00
12	24,10
14	26,00
16	29,85
18	32,35
20	35,05
25	42,90
30 – 100	50,00

Tablo 3'e göre değerlendirme yapabilmek için, inceleme konusu maden işletmesinde titreşim ölçümü yapılmış, sismik dalgalar kaydedilmiş ve incelenmiş, sismik dalganın hakim (baskın) frekansı tespit edilmiş olması gerekir. "Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği" Madde 25 sadece hassas kullanımlardan söz etmekte ve bunlar için aşılmaması gereken üst sınır değerleri vermektedir. Hassas kullanımlar; konut, okul, hastane, kütüphane, ibadethane vb. yapılardır [20].

5. Maksimum Parçacık Hızı Tahmini ve Patlayıcı Şarj Hesabı

Aşağıda Bölüm 2 de verilen formüller kullanılarak yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiştir. Eşitlik (1) kullanılarak değişik şarj miktarı (patlayıcı miktarı, W) ve kaynaktan olan uzaklık (D) değerleri için en büyük parçacık hızı belirlenerek Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Farklı mesafelere göre en yüksek parçacık hızı, PPV tahminleri

		Mesafe, m									
		10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	**79 m**	90 m	100 m
Şarj Miktarı, kg	1 kg	28.64	9.45	4.94	3.12	2.18	1.63	1.27	1.05	0.85	0.72
	2 kg	49.86	16.45	8.60	5.43	3.80	2.84	2.22	1.83	1.48	1.25
	3 kg	68.96	22.75	11.89	7.50	5.25	3.92	3.07	2.53	2.05	1.73
	4 kg	86.81	28.64	14.97	9.45	6.61	4.94	3.86	3.18	2.58	2.18
	5 kg	103.77	34.23	17.89	11.29	7.90	5.90	4.61	3.80	3.09	2.61
	6 kg	120.07	39.61	20.70	13.07	9.14	6.83	5.34	4.40	3.57	3.02
	7 kg	135.83	44.81	23.42	14.78	10.34	7.73	6.04	**4.97**	4.04	3.41
	8 kg	151.14	49.86	26.06	16.45	11.51	8.60	6.72	5.54	4.49	3.80
	9 kg	166.07	54.78	28.64	18.07	12.65	9.45	7.38	6.08	4.94	4.17
	10 kg	180.68	59.60	31.15	19.66	13.76	10.28	8.03	6.62	5.37	4.54

Tablo 4'e göre, patlama noktasından yaklaşık olarak D = 79 m uzaklıktaki bir noktada izin verilen en büyük parçacık hızı olan 5 mm/s'nin aşılmaması için bir gecikme aralığında

kullanılacak en yüksek patlayıcı ağırlığı 7 kg olarak tespit edilmiştir. 79 metrelik etkili mesafe baz alınarak her bir konut merkez alınarak Şekil 5'de gösterildiği üzere 79 metre yarıçapında daireler çizilmiş, bunun sonucu olarak patlatmalı kazı faaliyetinin güvenli bir şekilde yürütüleceği alanlar belirlenerek Şekil 6 da sunulmuştur.

No	Sağa(Y)	Yukarı (X)
K1	249838.566	4013024.618
K2	249871.821	4013042.494
K3	249875.968	4013034.778
K4	249871.223	4013032.228
K5	249874.055	4013026.960
K6	249875.608	4013027.795
K7	249891.050	4012999.084
K8	249881.934	4012994.181
K9	249866.492	4013022.892
K10	249868.692	4013024.075
K11	249865.860	4013029.345
K12	249852.822	4013022.336
K13	249855.653	4013017.070
K14	249859.350	4013019.059
K15	249874.795	4012990.341
K16	249865.678	4012985.438
K17	249850.706	4013013.275
K18	249850.763	4013013.306
K19	249847.458	4013019.453
K20	249842.714	4013016.903

No	Sağa(Y)	Yukarı (X)
K21	249838.278	4012964.565
K22	249869.999	4012981.626
K23	249874.430	4012973.387
K24	249851.609	4012961.113
K25	249854.666	4012955.428
K26	249858.065	4012957.256
K27	249873.520	4012928.510
K28	249864.394	4012923.603
K29	249845.881	4012958.033
K30	249842.709	4012956.326
K31	249865.201	4012961.095
K32	249874.328	4012966.002
K33	249889.783	4012937.256
K34	249880.657	4012932.349
K35	249890.895	4012991.997
K36	249917.438	4013006.273
K37	249921.146	4012999.379
K38	249894.602	4012985.103
K39	249900.076	4012979.843
K40	249909.194	4012984.745

No	Sağa(Y)	Yukarı (X)
K41	249924.635	4012956.026
K42	249915.517	4012951.124
K43	249931.773	4012959.866
K44	249916.333	4012988.583
K45	249925.450	4012993.485
K46	249940.890	4012964.768
K47	249851.070	4012910.784
K48	249872.209	4012922.170
K49	249872.921	4012920.849
K50	249881.112	4012925.261
K51	249881.824	4012923.940
K52	249896.093	4012931.625
K53	249895.666	4012932.418
K54	249896.072	4012933.773
K55	249912.455	4012942.597
K56	249913.336	4012940.964
K57	249928.506	4012949.134
K58	249927.790	4012950.464
K59	249937.816	4012955.839
K60	249938.620	4012954.580

No	Sağa(Y)	Yukarı (X)
K61	249954.943	4012963.370
K62	249964.593	4012945.450
K63	249948.270	4012936.659
K64	249959.138	4012916.477
K65	249943.968	4012908.308
K66	249933.100	4012928.490
K67	249923.868	4012923.519
K68	249925.742	4012920.039
K69	249907.597	4012910.266
K70	249905.629	4012913.921
K71	249901.533	4012911.715
K72	249901.296	4012912.155
K73	249893.545	4012907.980
K74	249903.768	4012888.999
K75	249888.707	4012880.887
K76	249878.483	4012899.868
K77	249864.875	4012892.538
K78	249859.495	4012902.526
K79	249856.364	4012900.954

Şekil 5. Patlatma etkili mesafelerin görünümü

Konutların Patlatma Alanına En Yakın Köşe Koordinatları

Nokta No	Sağa(Y)	Yukarı (X)
Konut_1	249982	4012925
Konut_2	249980	4012944
Konut_3	250008	4012974
Konut_4	249922	4012836
Konut_5	249950	4012833
Konut_6	249805	4013101

Patlatma Yapılabilecek Alan Köşe Koordinatları

Nokta No	Sağa(Y)	Yukarı (X)
1	249840	4013040
2	249960	4013040
3	249960	4013019
4	249914	4012972
5	249912	4012912
6	249870	4012880
7	249840	4012880

K1, K2, K3.....K78, K79 olarak numaraklandırılmış bina temelleri köşe koordinatları Şekil 6 da verilmiştir.

Şekil 6. Patlatmalı kazı faaliyetinin güvenli bir şekilde yürütülebileceği alanlar

Bu çerçevede Olofsson [23]'ün önerdiği eşitlikler yardımıyla kazı yapılacak alanın topografik durumuna göre 3-6 metre derinliğinde, 3 m aralıklarla 89 mm çapında delikler delinerek, delik başına en fazla 7 kg. ANFO, 0.5 kg dinamit, 2 adet elektriksiz gecikmeli kapsül kullanmak suretiyle patlatma faaliyeti yürütülmüştür. Her bir patlatmada 10-15 delik patlatılarak toplamda 200 delik patlatılmıştır. Yapılan ilk üç patlatmada en yakın konut

tabanından titreşim hızı ölçülmüş 1 Hz hakim frekansta en fazla 4.13 mm/s PPV değeri kaydedilmiştir. Konutlarda herhangi bir zarar gözlenmemiştir. Şekil 7'de projenin son hali görülmektedir.

Şekil 7. Projenin son halinin uydu görüntüsü

6. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Hatay İli, Antakya İlçesi, Mansurlu Mahallesi sınırları içinde yer alan Huzur Evi kampüsü inşaatı temel kazısı işi için yapılan patlatmalardan kaynaklı titreşimlerin hızı ve etki mesafesi hesaplanılarak, şantiye civarında bulunan konutlara olan olası etkileri araştırılmış, hesaplamalar ve sonuçları ÇSB [20] öneri ve esaslarına dayanılarak irdelenmiştir.

Yapılan hesaplamalarda delik başına yaklaşık 7 kg. ANFO, 0.5 kg dinamit, 2 adet elektriksiz gecikmeli kapsül kullanmak suretiyle gerçekleştirilecek patlatmalardan kaynaklı titreşim hızının yaklaşık 79 metreden itibaren 5 mm/sn' nin altına düşeceği görülmüştür. Dolayısıyla hali hazırda şantiye sınırlarına 79 metre mesafede bulunan Konut_1, Konut_2 ve Konut_3 ile isimlendirilmiş konutların etkilenmesi muhtemeldir. Bu konutları merkezleyen 79 m yarıçapındaki daireyi çevreleyen sınırlarda patlatma yapılmaması anlamı taşımaktadır.

Sonuç olarak Şekil 5'de belirtilen alanlar içerisinde patlatma yapılması suretiyle oluşacak titreşimlerin, mevcut yakın yerleşim birimleri üzerine olumsuz bir etki yaratması söz konusu değildir sonucuna ulaşılmıştır. Nitekim bu alanlar dışında yapılan ilk üç patlatmadaki

ölçümlerde en yakın konut tabanındaki titreşim hızı 1 Hz hakim frekansta en fazla 4.13 mm/s PPV olarak kaydedilmiştir. Sonuç olarak proje süresince gerçekleştirilen 200 ayrı delikteki patlatmalarda çevre konutlarda herhangi bir zarar gözlenmemiştir.

7. Kaynaklar

[1] Singh, P. K., Vogt, W., Roy, P. P., & Singh, D. P. (1996). Prediction and control of ground vibration in a dolomite quarry in India. Braunkohle-Surface Mining, 48(4), 391-398.
[2] Dowding, C. H. (1985). Blast vibration monitoring and control(Vol. 297). Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
[3] Mesec, J., Kovač, I., & Soldo, B. (2010). Estimation of particle velocity based on blast event measurements at different rock units. Soil dynamics and earthquake engineering, 30(10), 1004-1009.
[4] Nateghi, R. (2011). Prediction of ground vibration level induced by blasting at different rock units. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 48(6), 899-908.
[5] Yilmaz, O. (2016). The comparison of most widely used ground vibration predictor equations and suggestions for the new attenuation formulas. Environmental earth sciences, 75(3), 269.
[6] Herece, E. (2008). Dogu Anadolu Fayi (DAF) Atlasi. Maden Tetkik ve Arama Genel Mudurlugu, Ozel Yayin Serisi, 13.
[7] Duvall, W. I., & Petkof, B. (1958). Spherical propagation of explosion-generated strain pulses in rock (No. BM-RI-5483). Bureau of Mines.
[8] Duvall, W. I., & Fogelson, D. E. (1962). Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations (p. 5968). US Department of the Interior, Bureau of Mines.
[9] Langefors, U., and Kihlstrom, B., 1978, The Modern Technique of Rock Blasting, 3rd ed. (Halsted Press, a Division ot John Wiley & Sons, Inc.,New York), 438 pp.
[10] Abraseys, N. and Hendron, A., 1968, "Dynamic Behavior of Rock Masses," in Rock Mechanics in Engineering Practice, Stagg and Zienkiewicz, Eds. (John Wiley & Sons, Inc., New York), pp. 203-236.
[11] IS 6922. Criteria for safety and design of structure subject to underground blast. New Delhi, India: Bureau of Indian Standards; 1973.
[12] Davies, B., Farmer, I. W., & Attewell, P. B. (1964). Ground vibration from shallow sub-surface blasts. Engineer, 217(5644).
[13] Ghosh, A., & Daemen, J. J. (1983, January). A simple new blast vibration predictor (based on wave propagation laws). In The 24th US symposium on rock mechanics (USRMS). American Rock Mechanics Association.
[14] Roy, P. (1993). Putting ground vibration predictions into practice. Colliery Guardian, 241(2), 63-7.
[15] ISEE Blasters' Handbook, (2011). International Society of Explosives Engineers, Stiehr, J.F.(Ed.), Cleveland, Ohio, USA, 18th Edition, 1030 pages.
[16] Oriard L.L. (1982). Blasting effects and their control, SME Handbook. Littleton, Colorado, pp. 1590-1603.
[17] New B.M (1996). Ground vibration caused by civil engineering Works. Research Report 53, Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport, Berkshire.
[18] United States. Bureau of Mines, & Siskind, D. E. (1980). Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting (p. 74). New York, NY, USA: US Department of the Interior, Bureau of Mines.
[19] OSMRE (2004). Federal Regulations. Code of Federal Regulations 30 CFR Part 700.

[20] ÇSB (2017). Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi İçin Teknik Yardım Projesi, Çevresel Etkiler Ve Alınacak Önlemler Kılavuzu, Madencilik Projeleri, Aralık 2017

[21] Costa, E., Silva, V., Ayderes Da Silva. L. A., 1996, "Practical Ways to Reduce Environmental Rock Blasting Problems", Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. SWEMP., Cagliari, Italy.

[22] Kahriman, A. (2004). Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24(11), 887-892.

[23] Olofsson, S.O., (1991), Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Arla, Sweden, 2nd Edition, 304 pages.

Derin Kazı Uygulamalarında Efektif Gerilme Azalmalarına Bağlı Sıvılaşma Sorunları – Bir Vaka Çalışması

Mahmut A. Kılıçoğlu[1], Sefa Elibol[2], Murat Örnek[3]

[1,3]İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
[2]Murat Turistik Tesis Yatırımları Otelcilik San. ve Tic. A.Ş., Türkiye
E-mail: mkilicoglu.mfbe13@iste.edu.tr, elibolsefa@gmail.com, murat.ornek@iste.edu.tr

Özet

Derin kazılar, her koşulda üzerinde kapsamlı çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulan, projelendirilmesi ve uygulamaları geoteknik mühendisliği açısından uzmanlık gerektiren bir alandır. Özellikle, deniz kıyısında ve yeraltı su seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu bölgelerde, konu derinlemesine incelenerek uygulanacak projeye karar verilmeli ve hiç bir parametre göz ardı edilmemelidir. Bu çalışmada, İskenderun Park Forbes Projesi'nde iksa uygulaması sonrası, derin kazı esnasında, iksa dışında meydana gelen zemin oturmasını inceleyen bir vaka analizi sunulmuştur. Bu kapsamda, proje sahasında 12 adet SPT sondaj kuyusu açılarak zemin katmanlarından numuneler alınmış ve saha ile ilgili arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin ardından proje sahasının zemin profili oluşturulmuş ve iksa sistemi olarak "diyafram duvarlı konsol - öngermeli ankrajlı iksa"ya karar verilmiştir. İksa uygulaması sonrası, hazırlanan jeoloji ve hidrojeoloji haritalarında açıkça görülen bir geçirimli granüler zemin bölgesi nedeniyle, saha kazısı esnasında düşen efektif gerilmelerin, iksanın dış tarafından içeriye doğru etki eden sızıntı suyu basıncına yenilmesiyle zeminde sıvılaşma meydana gelmiştir. Oluşan zemin sıvılaşması sonrası, sorunlu bölgede gerekli güvenlik önlemleri alınarak, iksa tabanındaki geçirimli zemine bentonit enjeksiyonu yapılmış ve sorun giderilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma, derin kazılar, sızıntı suyu, arazi deneyleri, laboratuvar deneyleri

Abstract

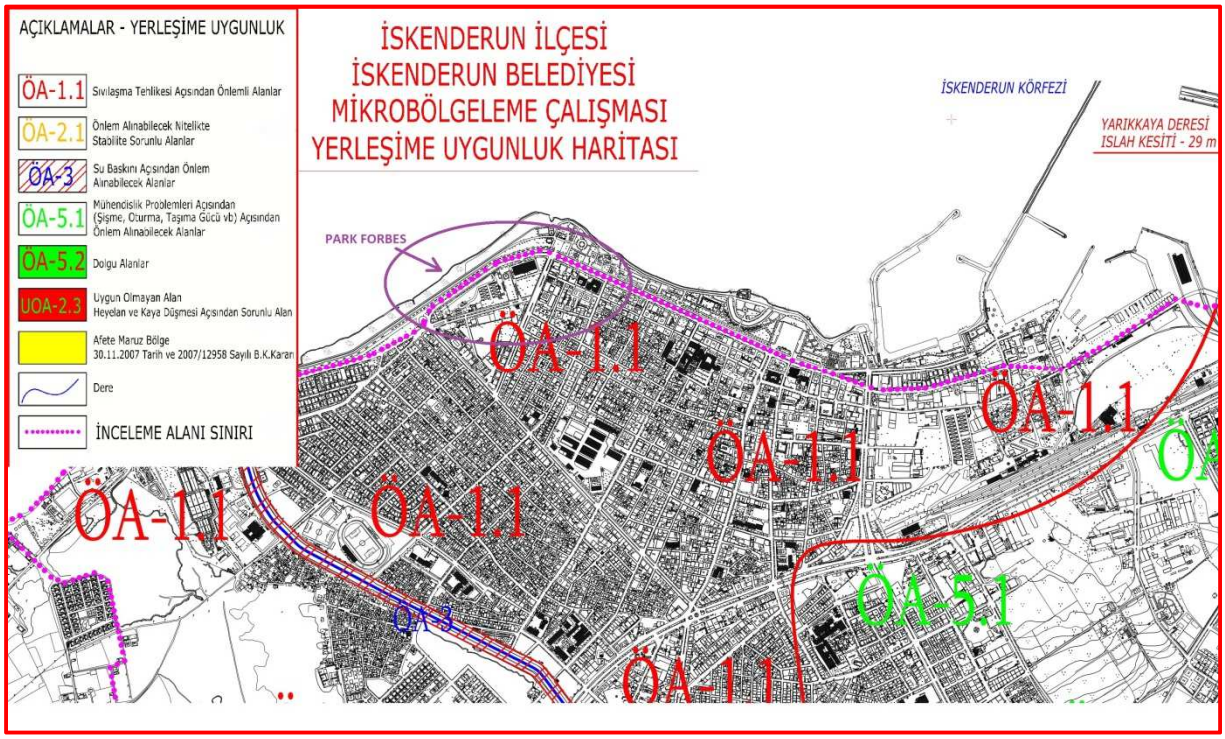
Deep excavation is an area that requires extensive work on all conditions, and its design and applications require expertise in terms of geotechnical engineering. In particular, in areas where the sea level and the ground water level are very close to the surface, the project should be examined in depth and the project should be decided and no parameter should be ignored. A case study examines the ground settlement after the application of shoring at Iskenderun Park Forbes Project is presented in this study. In this scope, 12 SPT boreholes were opened at the project site and samples were taken from the soil layers and field and laboratory tests were performed. After the tests, the ground profile of the project site was established and the ''diaphragm walled console - prestressed anchoring'' was decided as a shoring system. After the shoring, due to a permeable granular ground region clearly visible in the geology and hydrogeology maps prepared, liquefaction occurred on the ground by the effective stresses falling during the field excavation by seepage water pressure acting on the outside from the inner side. After the ground liquefaction, all necessary safety precautions were taken in the failure area, bentonite injection was applied to the permeable ground around the shoring base and the problem was corrected.

Keywords: Liquefaction, deep excavations, seepage, field tests, laboratory tests

1. Giriş

İskenderun Park Forbes Projesi 17.000 m^2 alanda yapılmış olup, temel kazı derinliği 10.50m'dir. Proje sahası deniz kenarında ve yeraltı su seviyesi zemin kotundan 1.5-2m aşağıdadır. İskenderun Belediyesi tarafından yaptırılan, İskenderun Mikrobölgeleme Çalışması kapsamında hazırlanan Yerleşime Uygunluk Haritası'nda arazi en riskli grupta yer alıp, ''ÖA-1.1 Sıvılaşma Tehlikesi Açısından Önlemli Alanlar'' olarak tanımlanmıştır (Şekil 1). Yapılan çalışmada litolojisi kuvaterner alüvyon, siltli kil, killi silt, siltli kum olarak tespit edilmiştir. Mikrobölgeleme çalışması doğrultusunda, proje sahasının kuvaterner alüvyon yani taşınmış zemin olduğu ve bunun da zeminin mühendislik davranışını olumsuz yönde önemli ölçüde etkileyeceği açıktır [5].

Bölgenin litolojisine bakıldığında, yeraltı su seviyesinin de yüksek oluşu proje sahasının zemin sıvılaşmasına duyarlı olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır. Sıvılaşma kavramını açıklamak için çeşitli tanımlamalar yapmak mümkündür. Casagrande [1], Geoteknik Mühendisliği Bölümü Zemin Dinamiği Komitesi [12], Seed [10], Ishihara [6] ve Day [3] tarafından yapılan tanımlamalar konuyu açıklamakla birlikte, Komite'nin [12] yaptığı "Sıvılaşma, zeminin stabil halden akışkan hale geçme davranış ve sürecidir. Kohezyonsuz zeminler, boşluk suyu basıncının artması ve efektif gerilmelerin azalmasıyla sıvılaşır." tanımlaması belki de en yalın olanıdır.



Şekil 1. İskenderun Yerleşime Uygunluk Haritası (İskenderun Belediyesi, 2010)

Mollamahmutoğlu ve Babuçcu [9]'ya göre, deprem anında meydana gelen kayma dalga yayılımının neden olduğu devirsel kayma gerilmeleri gevşek ve suya doygun kohezyonsuz bir zeminde hacimsel büzülmeye neden olur. Bu büzülme zemin tanelerini daha sıkı konumda olmaya zorlar ve daneden daneye yük aktarımına neden olur. Bu yük transferi boşluk suyu basıncını arttırır. Sismik sarsıntı çok hızlı meydana geldiği için, kohezyonsuz zemin drenajsız yüklemeye maruz kalır ve taneli yapı içinde aşırı boşluk suyu basıncı oluşur. Bu basınç arttıkça öyle bir seviyeye ulaşır ki,

daneden daneye aktarılan efektif gerilme kaybolur, zemin sıvı gibi hareket eder ve böylece sıvılaşma meydana gelir.

Wang [13]'a göre, sıvılaşmada 3 tip mekanizmadan bahsetmek mümkündür.

(1) Sızıntı suyu basıncı nedeniyle sıvılaşma: Bir doymuş zemin tabakasında boşluk suyu basıncı üst tabakanın efektif gerilmesine ulaşır ve onu aşarsa, zemin tabakası sahip olduğu taşıma gücünü kaybeder. Bu sürecin zeminin yoğunluğu ve hacimsel daralması ile ilgisi yoktur. Bu nedenle, genellikle sızıntı suyu stabilite sorunu olarak değerlendirilir. Ancak, zeminin mekanik davranışı göz önüne alındığında sıvılaşma kategorisindedir.

(2) Akma sıvılaşması: Zeminin statik dengesi için gerekli kayma gerilmelerinin, zeminin dayanımından büyük olduğu durumlarda oluşur. Genellikle büyük bir zemin kütlesinin onlarca metre deplasman yapması şeklinde oluşan akma türü sıvılaşma, bir kez tetiklendikten sonra tamamen statik kayma gerilmeleri tarafından sürdürülür [7].

(3) Devirsel mobilite: Zeminin statik dengesi için gerekli kayma gerilmelerinin, zeminin dayanımından küçük olduğu durumlarda oluşur. Devirsel mobilite nedeniyle oluşan deformasyonlar deprem sarsıntıları süresince artarak devam eder. Yanal yayılma olarak adlandırılan bu tür deformasyonlar, su kütlelerinin yanındaki az eğimli veya hemen hemen düz yüzeyli zeminlerde görülür [7].

Boşluk suyunun yukarı doğru süzülmesine neden olan sızıntı kuvvetleri, genellikle granüler zeminlerin dayanımını düşürür ve stabilite sorunlarına yol açar. Derindeki doymuş granüler zeminlerin deprem etkisiyle sıkışması veya artezyen basıncı yukarı doğru sızıntının nedenlerindendir. Bu sıvılaşma türünün sıklıkla karşılaşılan sonucu taşıma gücü kaybıdır [14].

Bu çalışma, İskenderun Park Forbes Projesi'nde, iksa uygulaması sonrası yapılan derin kazı esnasında iksanın dışındaki yolda oluşan zemin çökmesi problemi ve problemin irdelenmesi üzerine bir vaka çalışmasıdır. Bu kapsamda, proje sahasının parsel bazlı arazi ve laboratuvar deneyleriyle incelenerek arazi modelinin çıkarılması, uygulanacak iksa sistemine ve derinliğine karar verilmesi, uygulama esnasında karşılaşılan problemler irdelenmiş, karşılaşılan sorunun nedenleri ve çözüm önerileri üzerinde durulmuştur.

2. Saha Koşulları ve Yöntem

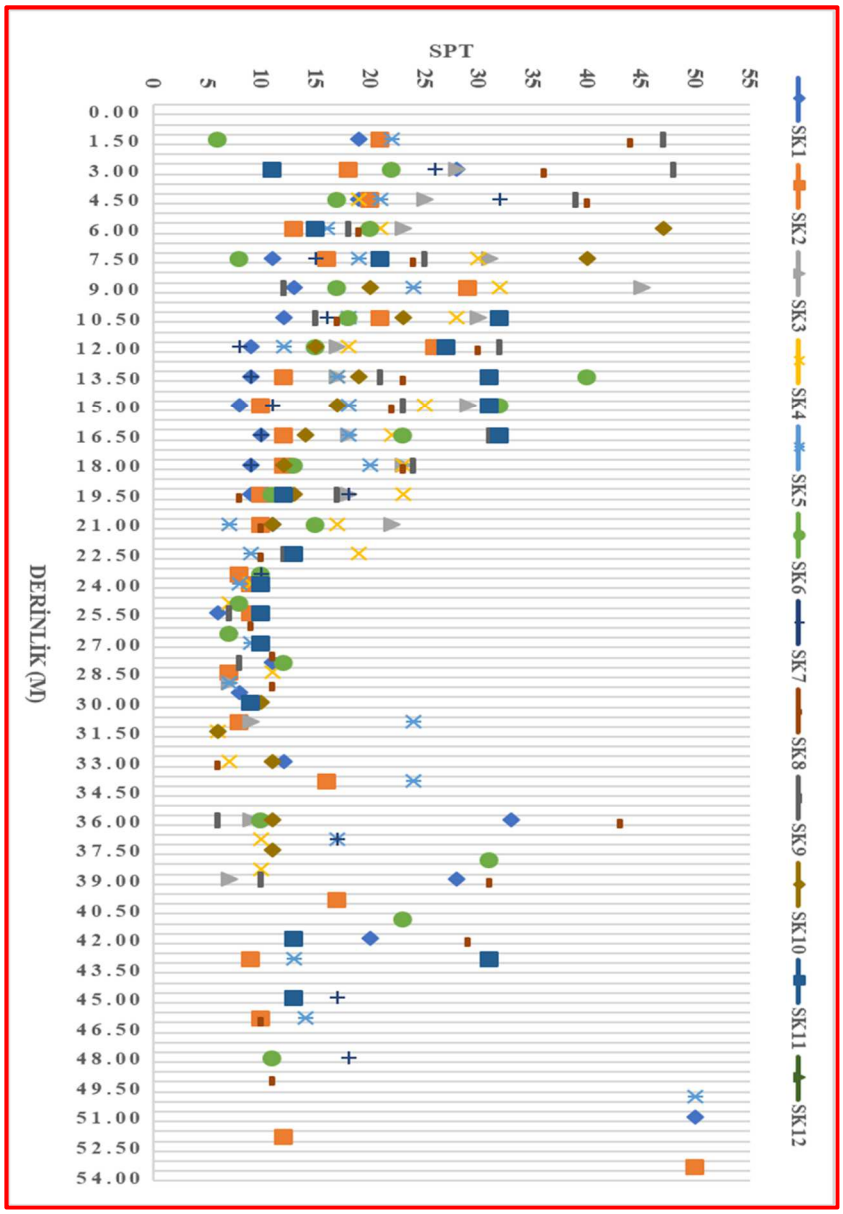
Park Forbes Projesi 5 katlı AVM ve onun üzerinde yükselen 15 katlı iki rezidans kuleden oluşmaktadır. AVM, 2 bodrum kata sahiptir. Bölgede zemin kotu +1 m'de olup -9.5m kotuna kadar kazı yapılmış ve temel çalışması bu derinlikten sonra başlatılmıştır. İnşaat sahası deniz kenarında bulunmakta olup yeraltı su seviyesinin kotu yüzeyden 1.5-2m aşağıdadır. 17.000 m^2 gibi geniş bir alanda 10.5m derinlikte kazı yapılacak olması ciddi bir iksa sistemini gerekli kılmıştır.

İksa sisteminin tipine ve derinliğine karar vermek için proje sahasında 12 adet SPT sondaj kuyusu açılmıştır. Günümüzde zemin türünü, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin sıkılık, mukavemet, kıvam ve sıvılaşma durumu ile temel zemini taşıma kapasitesi ve tahmini oturmayı belirlemekte kullanılan bu deney için 'Standart Penetrasyon Deneyi' terimi ilk olarak Terzaghi

tarafından 1947'de düzenlenen Teksas Zemin Mekaniği Konferansı'nda kullanılmış ve bir örnek alıcı tüpün zeminin içerisine çakılması olarak tanımlanmıştır [2].

Deneyde elde edilen örnek, zeminin sağlıklı bir şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır. Bu nedenlerle uygulamada tüm zemin etütlerinde SPT yapılmaktadır [4]. Literatürde SPT sonuçları ile kohezyonsuz zeminlerin göreceli sıkılığı, kohezyonlu zeminlerin kıvam durumu, zeminlerin kayma dayanımı ve sıkışabilirlik parametreleri, sıvılaşma potansiyeli arasında çok sayıda korelasyon mevcuttur. SPT, birçok zeminde uygulanabilse de özellikle iri granüler danelerin olmadığı kumlu zeminlerde gerçekçi ve tutarlı sonuçlar vermektedir [8].

12 adet sondaj kuyusunda yapılan SPT deneylerinde alınan darbe sayıları (Şekil 2) ile ilgili veriler ve alınan arazi örneklerinin laboratuvar deney sonuçları (Tablo 1) aşağıda paylaşılmıştır.



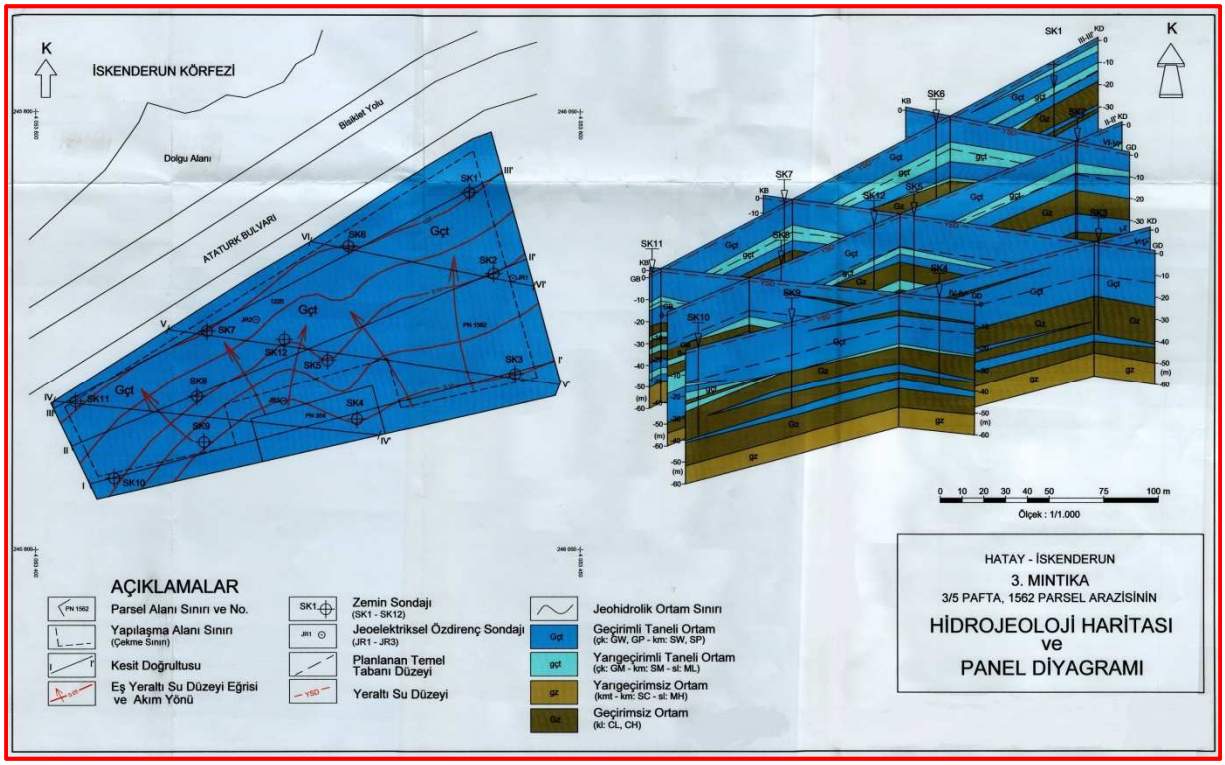
Şekil 2. SPT N_{30} darbe sayılarının derinlik ile değişimi

Tablo 1. Laboratuvar deney sonuç raporu

NUMUNE			SU İÇERİĞİ	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK	ÖZGÜL AĞIRLIK	ATTERBERG (KIVAM) LİMİTLERİ			ELEK ANALİZİ		ZEMİN SINIFI	KONSOLİDASYON		KESME KUTUSU DENEYİ	
SONDAJ NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	w_D %	γ_n t/m^3	G_S	LL %	PL %	PI %	10 No %	200 No %		m_v cm^2/kg	P_c kgf/cm^2	C Kgf/cm^2	Ø° Derece
SK1-SPT7	3	10.50-10.95	30.64						99.9	6.3	SW				
SK1-SPT9	4	13.50-13.95	32.03						99.9	46.8	SM				
SK1-SPT10	5	15.00-15.45	25.77						100.0	7.9	SW				
SK1-SPT11	6	16.50-16.95	31.04						99.8	52.9	ML				
SK1-SPT13	7	19.50-19.95	26.55						99.9	97.4	ML				
SK1-SPT14	8	21.00-21.45	30.04			51.2	16.5	34.6	99.9	95.6	CH				
SK1-UD1	9	25.00-25.50	34.31	1.96	2.39	51.2	16.5	34.6	100.0	99.9	CH	0.0011	0.41		
SK1-UD2	10	31.00-31.45	28.18	2.17					98.8	88.5	ML			0.11	25.2
SK1-SPT20	11	33.00-33.45	34.80			53.2	16.3	36.9	98.7	95.1	CH				
SK1-SPT21	12	36.00-36.45	12.01						29.0	1.3	GP				
SK1-SPT22	13	39.00-39.45	11.89						54.7	1.6	SP				
SK1-SPT23	14	42.00-42.45	32.73						63.9	48.3	SM				
SK1-UD3	15	45.00-45.50	37.95	2.03		49.8	17.5	32.4	99.5	96.8	CL			0.3	5.6
SK2-SPT10	21	15.00-15.45	21.25						93.4	5.0	SW				
SK2-SPT11	22	16.50-16.95	27.57						99.9	3.9	SP				
SK2-SPT14	23	21.00-21.45	23.66						97.4	6.7	SW				
SK2-SPT15	24	23.50-23.95	19.48			49.7	16.3	33.3	99.9	95.8	CL				
SK2-UD1	25	28.00-28.45	37.15			50.9	16.4	34.4	99.6	99.1	CH				
SK2-SPT20	26	34.00-34.45	20.38						100.0	49.1	SM				
SK2-SPT21	27	40.00-40.45	20.09						99.4	51.2	ML				
SK2-UD2	28	43.50-44.00	35.52	1.94	2.31	51.5	16.3	35.2	100.0	99.8	CH	0.0008	0.35		
SK3-SPT10	30	16.50-16.95	23.57						95.5	6.7	SW				
SK3-SPT14	31	24.00-24.45	21.71						55.8	6.0	SW				
SK3-UD1	32	26.00-26.50	23.06	1.99		53.2	17.7	35.5	100.0	98.5	CH			0.36	5
SK3-SPT15	33	29.00-29.45	24.26			49.9	16.6	33.2	100.0	98.5	CL				
SK3-UD2	34	33.00-33.50	25.59	1.97		50.3	17.4	32.9	99.4	96.4	CH			0.31	4.8
SK4-SPT9	35	16.50-16.95	27.07						100.0	1.5	SP				
SK4-	36	22.50-	27.24						99.9	1.5	SP				

SPT13		22.95													
SK4-SPT14	37	24.00-24.45	36.06						95.3	90.0	ML				
SK4-UD1	38	27.00-27.50	33.53	1.89		53.2	17.7	35.5	99.9	99.4	CL			0.33	5.4
SK4-SPT16	39	28.50-28.95	27.29			50.5	17.4	33.1	99.5	98.7	CH				
SK4-SPT19	40	33.00-33.45	22.45			49.4	16.1	33.3	99.1	97.2	CL				
SK5-SPT13	41	21.00-21.45	26.53						99.3	2.3	SP				
SK5-SPT14	42	22.50-22.95	22.36			51.1	17.2	33.8	100.0	99.2	CH				
SK5-UD1	43	25.00-25.50	27.47	2.01	2.40	51.5	17.3	34.2	99.9	98.9	CL	0.0008	0.32		
SK5-SPT18	44	31.00-31.45	18.74						63.7	19.5	SM				
SK6-SPT11	**45**	**16.50-16.95**	**26.03**						**99.8**	**62.5**	**ML**				
SK6-SPT17	**46**	**26.50-26.95**	**25.30**						**98.4**	**25.5**	**SM**				
SK6-SPT18	**47**	**28.00-28.45**	**28.71**						**100.0**	**99.1**	**ML**				
SK6-UD1	**48**	**33.00-33.50**	**35.21**	**1.98**	**2.35**	**50.2**	**17.5**	**32.7**	**99.9**	**98.3**	**CH**	**0.0015**	**0.38**		
SK7-SPT11	49	19.50-19.95	29.23						100.0	18.8	SM				
SK7-SPT12	50	21.00-21.45	24.76						99.8	48.7	SM				
SK7-UD1	51	28.00-28.50	37.29	1.96		50.3	16.3	34.0	99.9	99.0	CH			0.34	8.8
SK7-UD2	52	34.00-34.50	20.07						97.4	83.4	ML				
SK8-SPT12	53	18.00-18.45	23.13						99.7	17.6	SM				
SK8-SPT13	54	19.50-19.95	25.69						98.6	90.8	ML				
SK8-UD1	55	23.00-23.50	20.57	2.09					94.4	82.1	ML			0.09	27.4
SK8-UD2	56	30.00-30.50	31.44	2.11					99.9	99.1	ML			0.12	25.7
SK9-SPT11	57	16.50-16.95	29.84						99.6	7.1	SW				
SK9-UD1	58	21.00-21.50	26.96						99.8	0.1	SW				
SK9-SPT14	59	22.50-22.95	27.02			49.8	16.6	33.2	100.0	99.1	CL				
SK9-SPT18	60	30.00-30.45	20.98						96.6	67.7	ML				
SK10-SPT10	61	19.50-19.95	30.94						99.8	20.6	SM				
SK10-SPT11	62	21.00-21.45	20.33			53.4	16.4	37.0	100.0	90.0	CH				
SK10-UD1	63	24.00-24.50	26.30	2.19					95.8	42.4	SM			0.13	27.7
SK10-SPT12	64	30.00-30.45	34.15			52.0	16.5	35.4	99.6	98.7	CH				
SK11-SPT8	65	16.50-16.95	24.08						99.5	4.6	SP				
SK11-SPT10	66	22.50-22.95	18.59						98.0	5.5	SW				
SK11-SPT11	67	24.00-24.45	22.79			50.3	16.6	33.7	99.6	96.2	CH				
SK11-UD1	68	27.50-28.00	37.68						100.0	99.8	ML				
SK11-SPT14	69	30.00-30.45	22.32			53.1	16.4	36.7	100.0	99.2	CH				
SK11-UD2	70	33.00-33.50	36.76						96.6	88.0	ML				

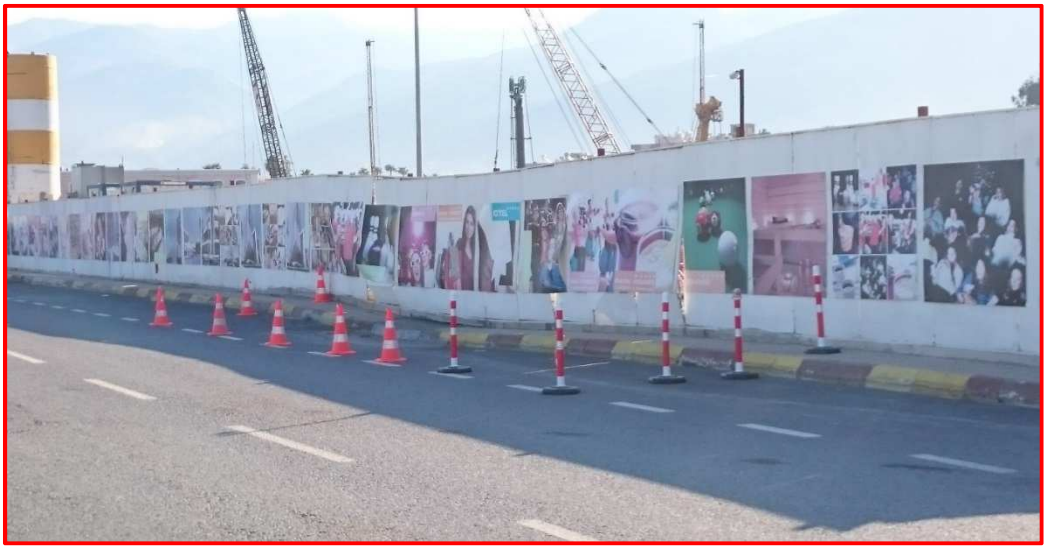
Yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda proje sahasının zemin profili oluşturulmuştur. Şekil 3'te verilen hidrojeoloji haritasında zeminin 20m derinliğe kadar tamamen geçirimli granüler tabakalardan oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3. Hidrojeoloji Haritası ve Panel Diyagramı

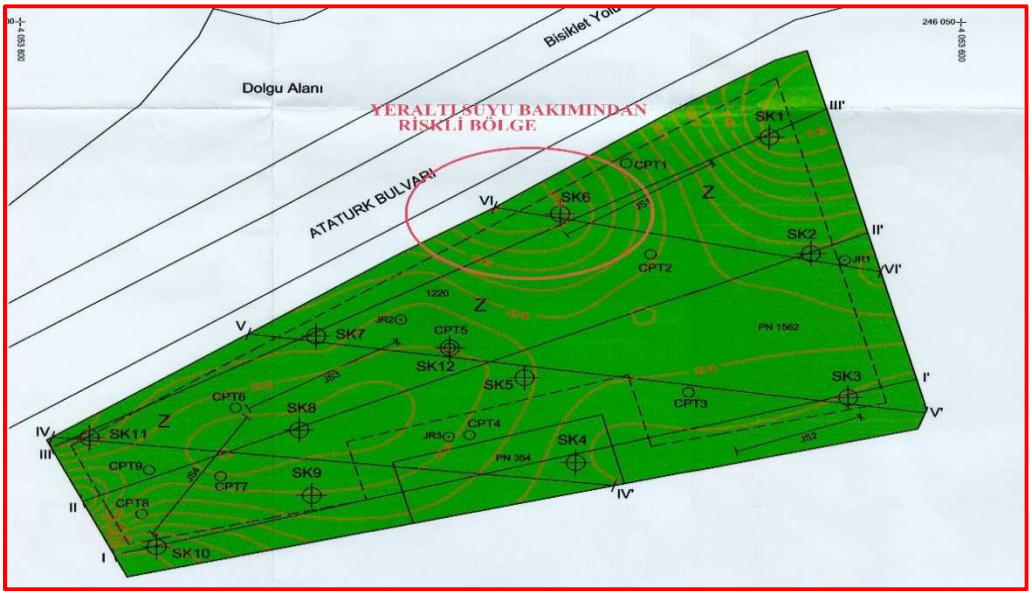
Yapılan analiz ve değerlendirmelerin ardından, iksa sistemi olarak "diyafram duvarlı konsol - öngermeli ankrajlı iksa"ya karar verilmiştir. Diyafram duvar uygulaması, proje sahasının yeraltı sularından tecrit edilmesinde de etkili olduğu için tercih edilmiştir. Burada önemli olan nokta iksanın kaç metre derinliğe kadar indirileceğidir. Yalnız uygulama projesi göz önüne alındığında, iksanın -18m kotuna kadar indirilmesi yeterli görünmektedir. Ancak bu durumda geçirimli granüler zemin tabakaları nedeniyle taban suyunun engellenmesi imkânsız olmaktadır. Proje sahasının zemin profili de göz önüne alınarak, iksanın geçirimsiz kohezyonlu zemin tabakasına kadar indirilmesi ve böylece taban suyu sorununun engellenmesi mümkün olmaktadır. Tüm bu veriler ışığında iksanın -25 m. kotuna kadar indirilmesine karar verilmiştir.

Proje sahasında, diyafram duvar uygulamasının ardından kademeli kazı ve ankraj uygulamalarına geçilmiştir. Bu esnada, diyafram duvarın dış tarafında, imar yolunda, zeminde oturma meydana gelmiştir. Bu durum Şekil 4'te gösterilmiştir.

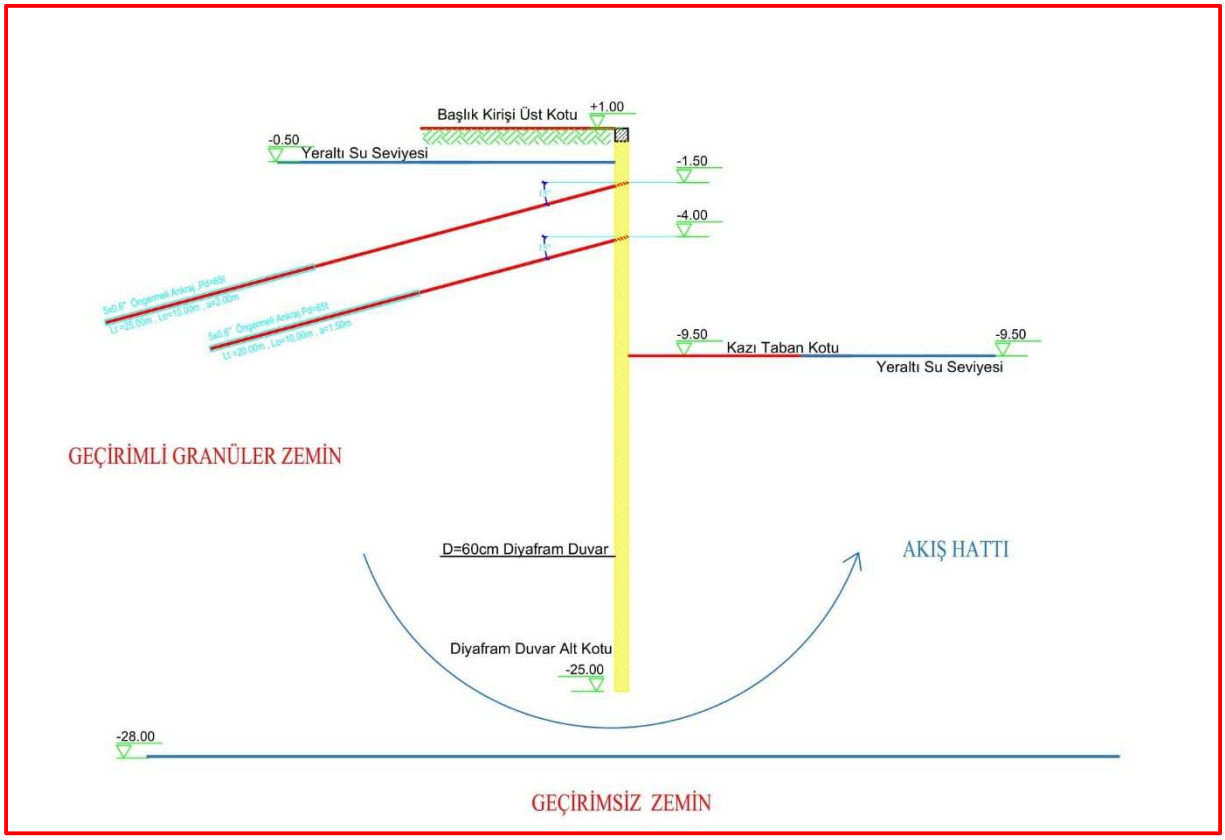


Şekil 4. Diyafram Duvar Dışındaki Zemin Oturması

İnşaat sahasında yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda hazırlanan jeoloji ve hidrojeoloji haritaları tekrar incelendiğinde, stabilite sorunu oluşan bölgenin 6 nolu sondaj kuyusuna denk geldiği ve bu sondaj kuyusundan alınan numunelerin deney sonuçları incelendiğinde geçirimsiz zeminin -28 m kotundan sonra başladığı, -26.5m kotunda granüler siltli kum tabakasının bulunduğu ve yapılan elek analizi sonucunda %25.5'inin 200 nolu elekten geçtiği tespit edilmiştir. 6 nolu sondaj kuyusunun (SK6) deney sonuçları deney sonuç raporunda (Tablo 1) kırmızı renkte gösterilmiştir. Şekil 5'te, hazırlanan jeoloji haritasında çakıl-kum eş kalınlık eğrisi kil zonu tavan topoğrafyası görülmektedir.



Şekil 5. Jeoloji Haritası (Kil Zonu Tavan Topoğrafyası)



Şekil 6. Sızıntı suyu akış kesiti

Şekil 6'daki kesitte de görüldüğü üzere, zemin oturması olan bölgede diyafram duvar alt kotu geçirimsiz zemine kadar inmemiştir. Sıvıların yüksek potansiyelden düşük potansiyele doğru hareket ettiği bilinmektedir. Diyafram duvar inşaatı sonrası, proje sahasında yeraltı su seviyesi düşmüştür. Dolayısıyla duvarın dış tarafından (yüksek su kotundan) içeriye doğru (düşük su kotuna) bir sızıntı suyu akış potansiyeli oluşmuştur. İnşaat sahasında kademeli kazı sonrası, kazılan zemin ile ilgili düşey gerilmeler ortadan kalkmıştır. Zeminin yük altında sıkışması, şekil değiştirmesi ve kayma gerilmelerine karşı direnci gibi ölçülebilen bütün mühendislik davranışları efektif gerilmeler tarafından kontrol edilmektedir [11].

$$\sigma' = \sigma - u \tag{1}$$

$$\sigma = \sum_{i=1}^{i} \gamma_{ni} . h_i \tag{2}$$

$$u = \gamma_w . h_w \tag{3}$$

Eşitlik 1, 2 ve 3'de görüldüğü üzere, inşaat sahasında kazı nedeniyle gerilmelerde ve dolayısıyla efektif gerilmelerde azalma olmuştur. Wang'ın [13] da belirttiği gibi; bir doymuş zemin tabakasında boşluk suyu basıncı üst tabakanın efektif gerilmesine ulaşır ve onu aşarsa, zemin tabakası sahip olduğu taşıma gücünü kaybeder. Mevcut durumda da, sızıntı suyu nedeniyle zeminde stabilite problemi meydana gelmiştir. Boşluk suyu basıncı zeminden gelen gerilmeleri aşmış ve diyafram duvarın dış tarafından iç tarafına doğru zeminde akmaya sebep olmuştur. Konu literatürde sızıntı suyu stabilite

sorunu olarak geçmektedir, ancak zeminin mekanik davranışı göz önüne alındığında sorun sıvılaşma kategorisindedir.

Oluşan zemin sıvılaşma sonrası, sorunlu bölgede gerekli emniyet tedbirleri alınarak, iksa tabanındaki geçirimli bölgeye bentonit enjeksiyonu yapılarak sorun giderilmiştir.

3. Sonuçlar

Derin kazılar, üzerinde kapsamlı zemin mekaniği çalışması gerektiren bir Geoteknik Mühendisliği alt disiplinidir. Yapılacak zemin etütleriyle sahadan toplanabilecek maksimum veri toplanmalıdır. Ne kadar çok ve çeşitli veriye ulaşılırsa zemin modelinin ve parametrelerinin doğru belirlenmesi kolaylaşacaktır. Bu noktada, arazi ve laboratuvar deneylerinin titizlikle ve ilgili standartlara uygun şekilde yapılması büyük önem arz etmektedir.

İskenderun Park Forbes Projesi'nin zemin etüt çalışmaları kapsamında 12 adet SPT sondaj kuyusu açılmış ve SPT deneyinin yanı sıra bu sondaj kuyularından alınan zemin örneklerinin laboratuvar deneyleriyle kapsamlı şekilde incelenmesiyle proje sahasına ait zemin profili oluşturulmuştur. Bu zemin profili göz önünde bulundurularak iksa sistemine karar verilmiş ve uygulama sonrası 10.5m derinlikte saha kazısı yapılmıştır. Deney sonuçları ile ilgili bazı verilerin gözden kaçması sonucu, kazı sonrası diyafram duvarın bir bölgesinde (Şekil 5), taban kotunun altındaki geçirimli granüler zemin nedeniyle sızıntı suyu basıncı kaynaklı zemin sıvılaşması meydana gelmiştir. Yeterli kapsam ve nitelikte zemin etüt çalışmasının yapılması çok önemlidir. Yalnızca bu şekilde zeminle ilgili doğru çıkarımlarda bulunulabilir. Ancak daha da önemlisi, deneylerden elde edilen verilerin doğru şekilde değerlendirilmesi ve yorumlanmasıdır. En küçük ayrıntı dahi göz ardı edilmemelidir. Proje hazırlanırken risk alınmamalı ve maliyetten kaçınılmamalıdır. Zeminin gerektirdiği uygulama ne ise, doğru şekilde yapılmalıdır.

Genellikle zemin sıvılaşmasının deprem anında dinamik kuvvetler altında meydana geldiği kabul edilir. Literatür tarandığında yapılan çalışmaların büyük bölümünün deprem anında oluşan akma sıvılaşması veya devirsel mobilite üzerine olduğu görülmektedir. Ancak, zemin sıvılaşmasının deprem dışı statik durumda da oluşabileceği unutulmamalıdır. Mevcut durumda, kazı nedeniyle efektif gerilmelerin azalması ve boşluk suyu basıncına yenilmesi sonucunda zemin stabilitesini kaybetmiş ve akarak sıvılaşmaya neden olmuştur.

4. Kaynaklar

[1] Casagrande, A. (1975). Liquefaction and Cyclic Deformation of Sands, A Critical Review. *5th Pan-American Conf. Soil Mechanics Foundation Eng.*, Buenos Aires, Argentina, (5), 80-133.
[2] Clayton, C.R.I., Matthews, M.C. & Simons, N.E. (1995). Jeoteknik Saha İncelemesi (Çetin, H., Kayabalı, K. ve Arman, H., Çev.). *Gazi Kitabevi*, Ankara (2005).
[3] Day, R.W. (2002). Geotechnical Earthquake Engineering Handbook. *McGraw Hill*, New York, Chapter 6.
[4] Erol, A.O. & Çekinmez, Z. (2014). Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri. *Yüksel Proje Yayınları*, Ankara, 2.
[5] Holtz, R.D. & Kovacs, W.D. (1981). An Introduction to Geotechnical Engineering. *Prentice Hall*, New Jersey, 6-7.

[6] Ishihara, K. (1985). Stability of Natural Deposits During Earthquakes. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1,* San Francisco, 321-376.
[7] Kramer, S.L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. *Prentice Hall*, New Jersey, 349.
[8] Kulhawy, F.H. & Mayne, P.W. (1990). Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. *Electric Power Research Instituten (EPRI),* New York, EL-6800 Project 1493-6 Final Report.
[9] Mollamahmutoğlu, M. & Babuçcu, F. (2006). Zeminlerde Sıvılaşma. *Gazi Kitabevi*, Ankara, 3-4.
[10] Seed, H.B. (1979). Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquake. *JGED, ASCE, Vol. 105*, No. GT2, 201-255.
[11] Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. *John Wiley & Sons*, New York, 11-12.
[12] The Committee on Soil Dynamics of the Geotechnical Engineering Division. (1978). Definition of Terms Related to Liquefaction. *JGED, ASCE, Vol. 104*, No. GT9, 1197-1200.
[13] Wang, W.S. (1981). Mechanism of Soil Liquefaction. *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, 14.
[14] Youd, T.L. (1973). Liquefaction, Flow and Associated Ground Failure. *U.S. Geological Survey*, Circular 688.

Kayaya Soketli Kazıklarda Yükleme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Cevat Kandemir[1], Sami Oğuzhan Akbaş[2]

[1]TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye
[2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Email: cevatkandemir@gmail.com, soakbas@gazi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada kayaya soketli üç adet betonarme fore kazık üzerinde uygulanan yükleme deneylerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Deney kazıklarının çapları 1500 mm, kayadaki soket boyları ise 6 metredir. Kazık boyları farklı olup, 35 m, 31 m ve 13 m'dir. Deneylerin sonucunda kazıkların ikisinde kalıcı deplasmanlar ihmal edilebilecek seviyede (1 mm'nin altında) kalırken, diğer kazıkta 9 mm'nin üzerinde gerçekleşmiştir. Kazıkların soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak literatürde kabul gören eşitliklerle hesaplanan taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Hesaplanan teorik kapasiteler oldukça geniş bir aralığa yayılmıştır. Ayrıca yükleme deneylerinin sonuçlarına bağlı olarak literatürde verilen on bir farklı yöntemle deney kazıklarının nihai taşıma güçleri elde edilmiş, teorik kapasiteler ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kayaya soketli kazık, Kazık yükleme deneyi, Fore kazık, Nihai taşıma kapasitesi

Abstract

In this study, the results of loading tests on three reinforced concrete rock socketed drilled shafts were investigated. The diameters of the test shafts are 1500 mm, and the length of the sockets are 6 meters. The lengths of the drilled shafs are not the same: 35 m, 31 m and 13 m. As a result of the tests, permanent displacements remained as negligible (less than 1 mm) in two of the drilled shafts, while 9 mm settlement was recorded for one of them. The ultimate capacities of the shafts were calculated as a function of the uniaxial compressive strength of the rock where the piles are socketed, based on the various equations available in the literature. The calculated capacities are spread over a wide range. Furthermore, the ultimate bearing capacities of the test shafts were estimated through load test results, using eleven widely accepted methods.

Keywords: Rock-socketed piles, Pile load test, Drilled shaft, Ultimate bearing capacity

1. Giriş

Ülkemizde en çok tercih edilen kazık tipi betonarme fore kazıklardır. Mühendislik ve yapım tekniklerinin zaman içinde gelişmesiyle beraber, yapıların çeşitliliği ve yapıdan zemine aktarılan yük miktarı artmıştır. Büyük yüklerin emniyetli bir şekilde nasıl taşınabileceğini araştıran mühendislerin ortaya koyduğu yöntemlerden biri kayaya soketlenen kazıklardır.

Kayaya soketli fore kazıklar yük taşıma esasına göre üç farklı şekilde tasarlanabilir: i) Sadece soket bölümü sürtünme direncine bağlı olarak tasarım, ii) Sadece uç direncine bağlı olarak tasarım, iii) Uç direnci ve soket sürtünme direncinin kombinasyonu şeklinde yapılacak tasarım (AASHTO, 2012).

Kulhawy, Prakoso ve Akbaş (2005) tarafından yapılan çalışmada soket yüzeyi sürtünme direncinin belirlenmesi için literatürde yer alan on farklı yöntem karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin hepsinde, soket yüzeyi sürtünme direnci kazığın soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak belirlenmektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi için her yöntemde verilen eşitlikler Eş. 1 formatında yeniden yazılmıştır. Karşılaştırılan yöntemler Çizelge 1'de özet halinde verilmektedir.

$$\frac{f}{P_a} = C\left(\frac{q_u}{P_a}\right)^n \qquad \text{(Eş. 1)}$$

f: Soket yüzeyi sürtünme direnci,
q_u: Kayanın tek eksenli basınç dayanımı,
P_a: Atmosferik basınç (P_a = 1 atm veya P_a = 101,3 kN/m2),
C: Katsayı,
n: Üs.

Çizelge 1. Kulhawy ve diğerleri (2005) tarafından incelenen yöntemler

Yöntem	C	n
Rosenberg ve Journeux (1976)	1,09	0,52
Horvath ve Kenny (1979)	D<400 mm ise 1,04 D>400 mm ise 0,65	0,50 0,50
Meigh ve Wolski (1979)	0,55	0,60
Williams, Johnston ve Donald (1980)	1,84	0,37
Rowe ve Armitage (1984)	1,42	0,50
Carter ve Kulhawy (1988)	0,63	0,50
Reese ve O'Neill (1988 ve 1999)	$17 < q_u/P_a < 19$ ise 0,63 $q_u/P_a > 19$ ise 0,65	0,50 0,50
Kulhawy ve Phoon (1993)	1,42	0,50
Zhang ve Einstein (1998 ve 1999)	0,63	0,50
Prasoko (2002)	1,00	0,50

Oluşturulan kazığın tasarım yükünü karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek için veya tasarım yükünü karşılayabilecek en ekonomik çözümün ortaya konulması amacıyla yükleme deneyleri yapılır. Kazık yükleme deneyleri tam ölçekli saha deneyleridir. Çok büyük miktarlarda yük uygulanmasını gerektirebilir. Diğer pek çok saha deneyine nazaran daha yüksek maliyetlidir.

Kazık yükleme deneylerinde göçme yükü çoğu zaman deney sonuçlarından net olarak belirlenemeyebilir. Deney sırasında göçme gözlenmemiş olabilir. Göçme yükünün net olarak belirlenemediği durumlarda yükleme deney sonuçlarının yorumlanması gerekir. Araştırmacılar tarafından deney sonuçlarının yorumlanmasıyla nihai taşıma gücünün belirlenmesine yönelik çok sayıda yöntem ortaya konulmuştur. Literatürde kabul görmüş olan onbir yöntem hakkında Çizelge 2'de özet bilgi verilmiştir.

Çizelge 2. Nihai taşıma gücü belirleme yöntemleri hakkında özet bilgiler

Yöntem	Grafik Eksenleri		Nihai Taşıma Gücünün Bulunması
	Düşey Eksen	Yatay Eksen	
Brinch Hansen %90 (1963)	Δ	Q	Deneme-yanılma yoluyla "$\Delta \Rightarrow 0{,}9.Q_{ult}$ ve $2.\Delta \Rightarrow Q_{ult}$" şartlarını sağlayan yük grafikten bulunur.
De Beer (1967)	Δ	Q	Logaritmik ölçekli grafikte doğruların kesiştiği yere denk gelen yük grafikten bulunur.
Davisson (1972)	Δ	Q	Üç adımda çizilen ofset hattının yük-deplasman eğrisini kestiği yere denk gelen yük grafikten bulunur.
Hirany-Kulhawy (2002)	Q/Q_{ult}	Δ/D	Kazık çapının %4'ü kadar oturmaya sebep olan yük grafikten bulunur
Van Der Veen (1973)	$\ln(1-(Q/Q_{ult}))$	Δ	Deneme-yanılma yoluyla grafiği doğrusal yapan yük bulunur.
Butler-Hoy (1976)	Δ	Q	Yük-deplasman eğrisi eğiminin 0,28 mm/ton olduğu yere denk gelen yük grafikten bulunur.
Brinch Hansen %80 (1963)	$\sqrt{\Delta}/Q$	Δ	$Q_{ult} = 1/(2.\sqrt{(C_1.C_2)})$ eşitliği ile yük bulunur.
Chin-Kondner (1970)	Δ/Q	Δ	$Q_{ult} = 1/C_1$ eşitliği ile yük bulunur.
Mazurkiewicz (1972)	Δ	Q	Beş adımda çizilen doğrunun yük eksenini kestiği yere denk gelen yük grafikten bulunur.
Decourt (1999)	Q/Δ	Q	$Q_{ult} = C_2/C_1$ eşitliği ile yük bulunur.
Paikowsky-Tolosko (1999)	Δ/Q	Δ	Matematiksel işlem yapılarak yük bulunur.

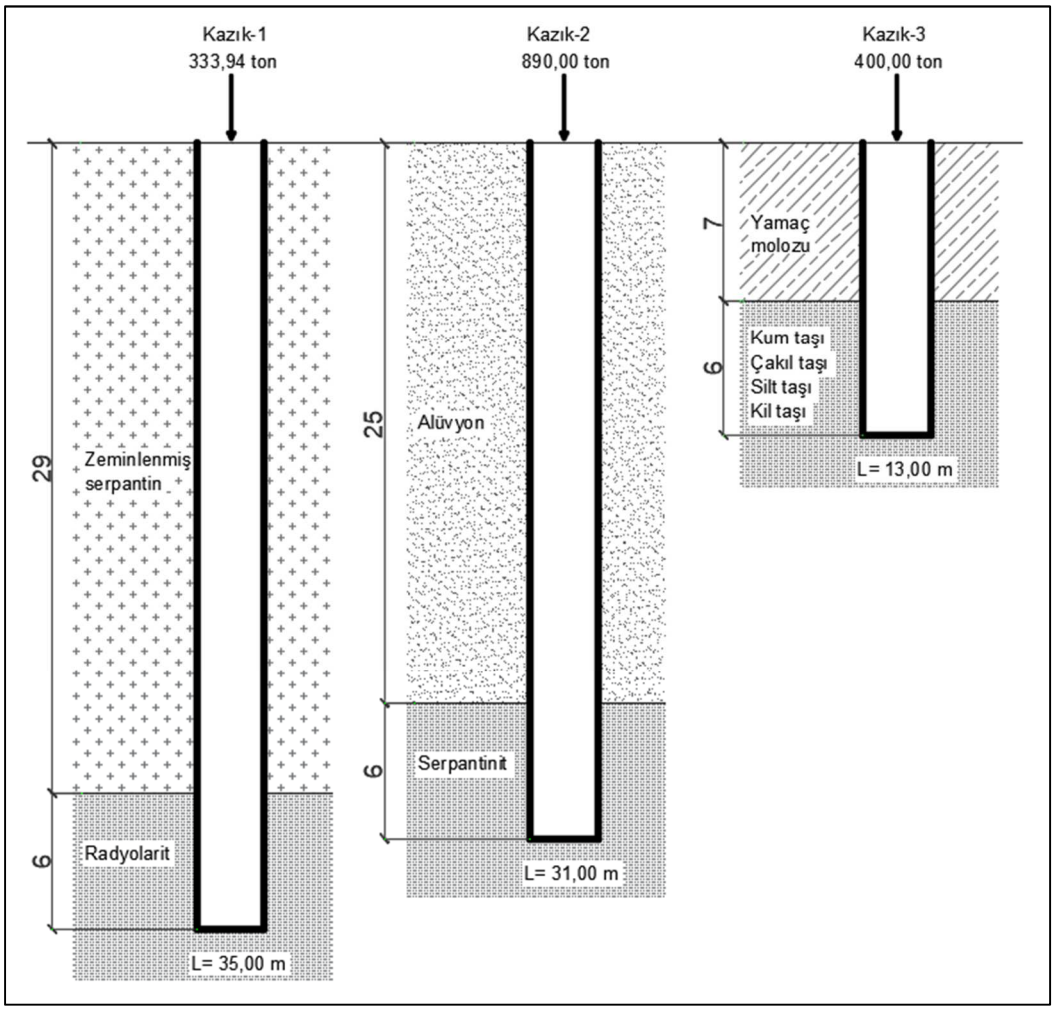
Çizelgedeki simgelerin anlamları aşağıdaki gibidir:
Q_{ult}: Göçme yükü,
Q: Yük kademesi,
Δ: Düşey deplasman,
D: Kazık çapı,
C_1: Yöntemde çizilen doğrunun eğimi,
C_2: Yöntemde çizilen doğrunun düşey ekseni kestiği değer.

Bu çalışmada kayaya soketli üç adet betonarme kayaya soketli fore kazık üzerinde uygulanan yükleme deneylerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Kazıkların soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak literatürde kabul gören eşitliklerle hesaplanan taşıma

kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca yükleme deneylerinin sonuçlarına bağlı olarak literatürde verilen on bir farklı yöntem kullanılarak deney kazıklarının nihai taşıma güçleri elde edilmiştir.

4.2. Deney Kazıkları

Deney kazıkları Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Projesi güzergâhındaki viyadüklerin temellerinde oluşturulan kayaya soketli üç adet betonarme fore kazıktır. Kazıkların çapı 1500 mm, kayadaki soket boyu 6 metredir. Kazıkların boyu ise değişkendir; 1 numaralı kazık 35 metre, 2 numaralı kazık 31 metre, 3 numaralı kazık 13 metre boyundadır. Şekil 1'de idealize kazık profillerine yer verilmiştir.



Şekil 1. Kazık profilleri

Deney yükleri hesaplanan tasarım yüklerinin iki katı olacak şekilde planlanmıştır. Çizelge 3'te kazıklar için hesaplanan yükler, deney yükleri ve kazıkların soketlendiği kayaların özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 3. Deney kazıkları ve soketlendikleri kaya birimleri

Kazık No	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Soket Boyu (m)	Tasarım Yükü (ton)	Maksimum Deney Yükü (ton)	Soketlenen Kaya Özellikleri
1	1,50	35,00	6,00	333,94	668,00	Radyolarit. Kahverengi, bordo renkte. Mat, pürüzlü. Tamamen bozunmuş - artık zemin, çok - tamamen ayrışmış, çok çatlaklı - parçalanmış, aşırı derecede zayıf. Süreksizlikler, çatlaklar kalsit dolgulu. Ayrışma Derecesi: W5, RQD = 0, $q_u \cong 15$ MPa
2	1,50	31,00	6,00	890,00	1 600,00	Serpantinit. Açık yeşil - bej ve yeşil - koyu yeşil renklerde. Yer yer mat, yer yer parlak ve pürüssüz görünümlü. Tam ayrışmış, parçalanmış, parçalı kırıklı, çatlaklı, çatlaklar arasında yer yer kalsit dolgulu. Birim içerisinde yer yer killeşmiş birimler mevcut. Aşırı zayıf - orta derecede sağlam aralığında dayanıma sahip. Ayrışma Derecesi: W4-W5, RQD = 0, $q_u \cong 30$ MPa
3	1,50	13,00	6,00	400,00	800,00	Kum taşı, çakıl taşı, kil taşı, silt taşı. Açık kahverengi sarımsı bej renkli, zayıf - çok zayıf dayanımlı, orta

						derecede - çok ayrışmış, yer yer tamamen bozunmuş. Ayrışma Derecesi: W3-W4, RQD = 15, $q_u \cong 8,5$ MPa

4.1.2.1. Kazık Tasarımı

Kazıkların soket yüzeyi birim sürtünme direnci Eş. 2 kullanılarak hesaplanmıştır. α_e değeri Çizelge 4'e göre, kazıkların soketlendiği kayaların hepsi parçalanmış, ayrışmış kayaçlar olarak tanımlandığından, 0,45 olarak alınmıştır.

$$f_s = 0,65 \cdot \alpha_e \cdot P_a \cdot \left(\frac{q_u}{P_a}\right)^{0,5} \quad \text{(Eş. 2)}$$

f_s: Birim sürtünme direnci,
α_e: Kaya eklem durumuna göre azaltma faktörü,
q_u: Kayanın tek eksenli basınç dayanımı,
P_a: Atmosferik basınç (≈100 kPa).

Çizelge 4. α_e nin belirlenmesi (O'Neill ve Reese, 1999)

RQD (%)	α_e	
	Aralıksız eklemler	Aralıklı veya ara dolgulu eklemler
100	1,00	0,85
70	0,85	0,55
50	0,60	0,55
30	0,50	0,50
20	0,45	0,45

Soket bölümü sürtünme direnci (Q_{sk}) Eş. 3'ten hesaplanmıştır. Soket boyu deney kazıklarının hepsinde 6 metredir. Çizelge 5'te deney kazıklarının hesaplanan güvenli kapasiteleri gösterilmektedir. Güvenlik sayısı geoteknik raporlarda 2 alınmıştır.

$$Q_{sk} = f_s \cdot \pi \cdot D \cdot L_s \quad \text{(Eş. 3)}$$

Q_{sk}: Soket bölümü sürtünme direnci,
D: Kazık çapı,
L_s: Soket boyu.

Çizelge 5. Deney kazıklarının soket bölümü sürtünme dirençleri

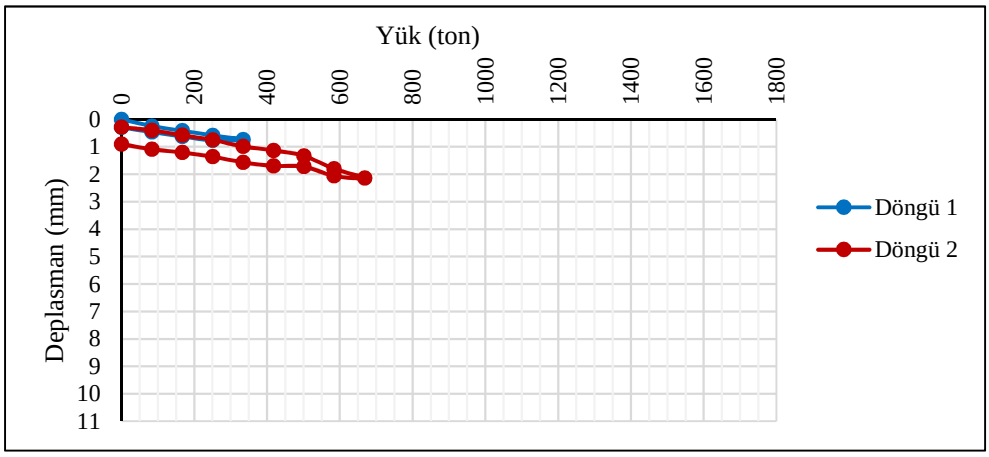
Kazık No	qu (MPa)	f_s (MPa)	f_s (ton/m^2)	L_s (m)	D (m)	Güvenlik Sayısı	Q_{sk} (ton)
Kazık-1	15,0	0,36	36	6,0	1,5	2	510
Kazık-2	30,0	0,51	51				720

Kazık-3	8,5	0,27	27				380

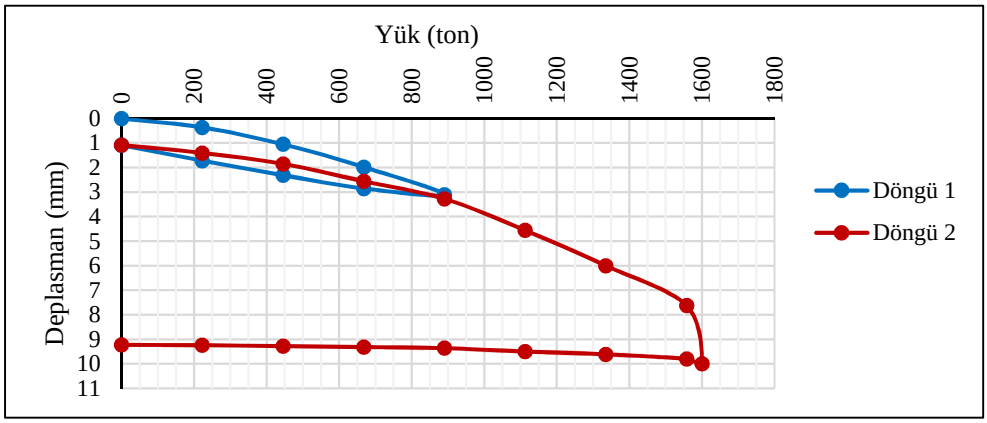
~~5.~~3. Yükleme Deneyleri

Kazık yükleme deneyleri ASTM D1143/D1143M-07 standardında verilen kademeli deney yükleme yöntemine göre iki döngülü olarak yapılmıştır. Birinci döngüde kazık tasarım yüküne kadar yükleme yapılması ve yükün boşaltılması, buna müteakiben ikinci döngüde kazık tasarım yükünün iki katına kadar yükleme yapılması ve yükün boşaltılması tasarlanmış, yük artış ve azalış kademeleri tasarım yükünün 1/4'ü şeklinde uygulanmıştır.

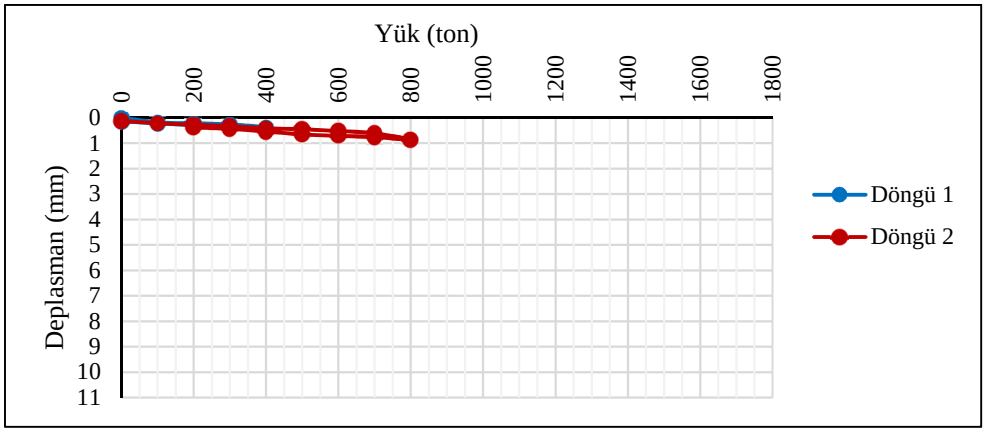
Kazık-1 ve Kazık-3'te tasarım yükünün 2,0 katına kadar yükleme yapılmıştır. Kazık-2'de yüklemede kullanılan hidrolik krikonun kapasitesinin sınırlı olması sebebiyle tasarım yükünün 1,8 katına kadar yükleme yapılabilmiştir. Kazık-3'te ikinci döngü yük boşaltma aşamasında deney düzeneğinde ve ekipmanlarında herhangi bir sorun olmamasına rağmen son yük kademesi uygulanmamıştır. Deney sonuçları ile oluşturulan yük-deplasman grafikleri ise Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 2. Kazık-1'e ait yük-deplasman grafiği



Şekil 3. Kazık-2'ye ait yük-deplasman grafiği

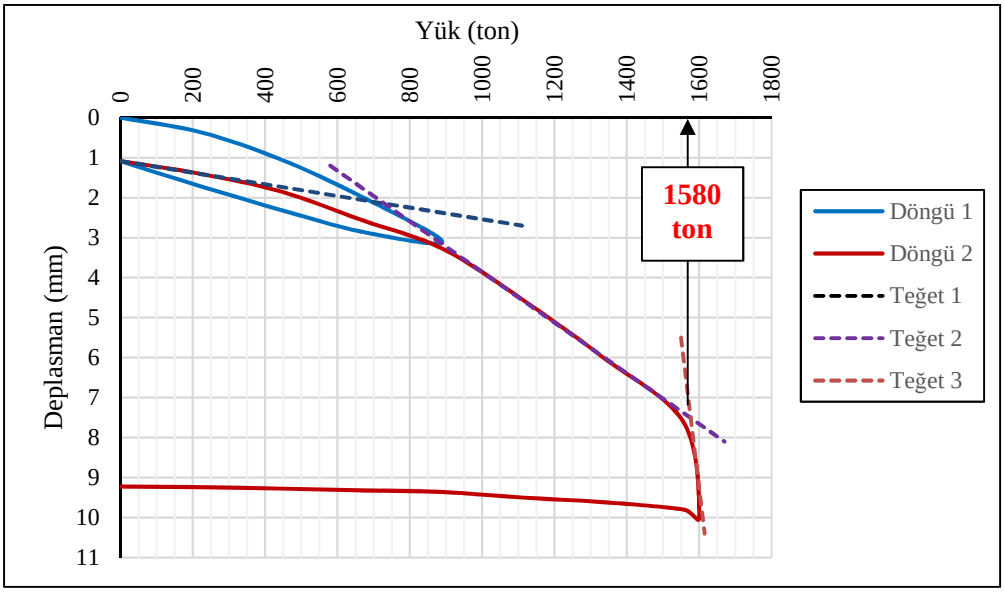


Şekil 4. Kazık-3'e ait yük-deplasman grafiği

En büyük deplasman miktarı Kazık-1'de 2,135 mm, Kazık-2'de kazığında 9,998 mm, Kazık-3'te 0,868 mm olarak ölçülmüştür. Kalıcı deplasman miktarı ise Kazık-1'de 0,898 mm, Kazık-2'de 9,223 mm, Kazık-3'te 0,382 mm olarak ölçülmüştür.

Deneylerin birinci döngüsünde yük-deplasman eğrileri benzer davranış göstermiştir. Hem yükleme hem de boşaltma süresi boyunca yüke bağlı deplasman miktarı doğrusala yakın bir artış ve azalış göstermiştir. İkinci döngüde ise Kazık-1 ve Kazık-3'te birinci döngüdekine benzer bir yük-deplasman davranışı gözlenmesine rağmen, Kazık-2'de ikinci döngüde yükün kaldırılmasına karşın deformasyon miktarı azalma göstermemiş, neredeyse sabit kalmıştır.

Kazık-1 ve Kazık-3'ün taşıyabileceği maksimum yükün (göçme yükünün), deneylerde uygulanan maksimum yükten (ikinci döngüde uygulanan en büyük yükten) daha fazla olduğu açıktır. Kazık-2'de birinci döngüde kalıcı deformasyon 1 mm mertebesindedir. İkinci döngüde ise özellikle 1580 tondan sonra yüke bağlı deplasman miktarı çok daha hızlı artış göstermiş, yenilme net olarak gözlenmiştir. Teğet yöntemiyle göçme yükünün belirlenmesi için Kazık-2'ye ait yük-deplasman eğrisinin farklı bölgelerini temsil edecek şekilde çizilen teğetler Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. V10-P12 kazığı yük-deplasman grafiğine çizilen teğetler

~~6.~~4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

~~6.1.~~4.1. Tasarımdaki Birim Sürtünme Dirençlerinin Literatürle Karşılaştırılması

Deney kazıklarının tasarım kapasiteleri, Kulhawy ve diğerlerinin (2005) çalışmasında yer verilen yöntemlerle hesaplanan teorik kapasitelerle karşılaştırılmıştır. Kazık-1'e ait karşılaştırma sonuçları Çizelge 6'da gösterilmektedir.

Hesaplanan teorik birim sürtünme dirençleri tasarımda öngörülenin oldukça üzerinde geniş bir aralığa yayılmıştır. Hesaplanan değerlerin tasarım değerlerine oranı 2,1 ile 4,8 arasında değişmektedir. Bu büyük farkın ortaya çıkmasının önemli bir sebebi, tasarımlarda kazığın soketlendiği kayanın süreksizlik durumuna bağlı olarak verilen azaltma faktörünün (α_e) kullanılmış olmasıdır (Bkz. Çizelge 4). Kullanılan azaltma faktörü α_e =0,45'dir. Bu faktör göz önüne alınmadığında hesaplanan değerlerin tasarım değerlerine oranı 1,0 ile 2,2 arasında değişecektir. Karşılaştırma yapılan on farklı yöntem arasında en düşük birim sürtünme direncini veren dört yöntem Horvath ve Kenny (1979), Carter ve Kulhawy (1988), Zhang ve Einstein (1999), Reese ve O'Neill (1999) yöntemleridir.

Çizelge 6. Kazık-1'de hesaplanan birim sürtünme dirençleri

Hesap Yöntemi	C	n	q_u (kPa)	f_s (kPa)	f_s (ton/m^2)	Tasarımda hesaplanan f_s'ye oranı
Rosenberg ve Joırneux	1,09	0,52	15000	1476	148	4,1
Horvath ve Kenny	0,65	0,50		796	80	2,2
Meigh ve Wolski	0,55	0,60		1112	111	3,1
Wiiliams ve diğerleri	1,84	0,37		1175	118	3,3
Rowe ve Armitage	1,42	0,50		1739	174	4,8
Carter ve Kulhawy	0,63	0,50		772	77	2,1
Reese ve O'Neill	0,65	0,50		796	80	2,2
Kulhawy ve Phoon	1,42	0,50		1739	174	4,8
Zhang ve Einstein	0,63	0,50		772	77	2,1
Prasoko	1,00	0,50		1225	123	3,4

~~6.2.~~4.2. Deney Sonuçlarından Nihai Taşıma Gücünün Belirlenmesi

İki döngü halinde yapılan yükleme deneylerinde, birinci döngülerin sonunda çok az da olsa bir miktar kalıcı deformasyonbulunmaktadır. Birinci döngü sonunda kalan oturma miktarı ikinci döngünün başlangıç aşamasındaki oturma miktarlarından çıkarılmış ve yük-deplasman eğrisinin orijinden başlaması sağlanmıştır. Yük-deplasman grafikleri kullanılarak deney kazıklarının nihai taşıma güçleri literatürde verilen on bir farklı yöntemle belirlenmeye çalışılmıştır. Çizelge 7'de belirlenen nihai taşıma güçleri ve güvenlik sayısına bölünmemiş haliyle kazık tasarım kapasiteleri gösterilmektedir.

Brinch Hansen %80, Chin-Kondner, Mazurkiewicz, Decourt ve Paikowsky-Tolosko yöntemleriyle tüm kazıkların nihai taşıma gücü hesaplanabilmiştir. Brinch Hansen %90, De Beer, Davisson ve Hirany-Kulhawy yöntemleriyle ise kazıkların nihai taşıma gücü hesaplanamamıştır. Van Der Veen yöntemi ile sadece Kazık-1'in, Butler-Hoy yöntemi ile de sadece Kazık-2'nin nihai taşıma gücü hesaplanabilmiştir.

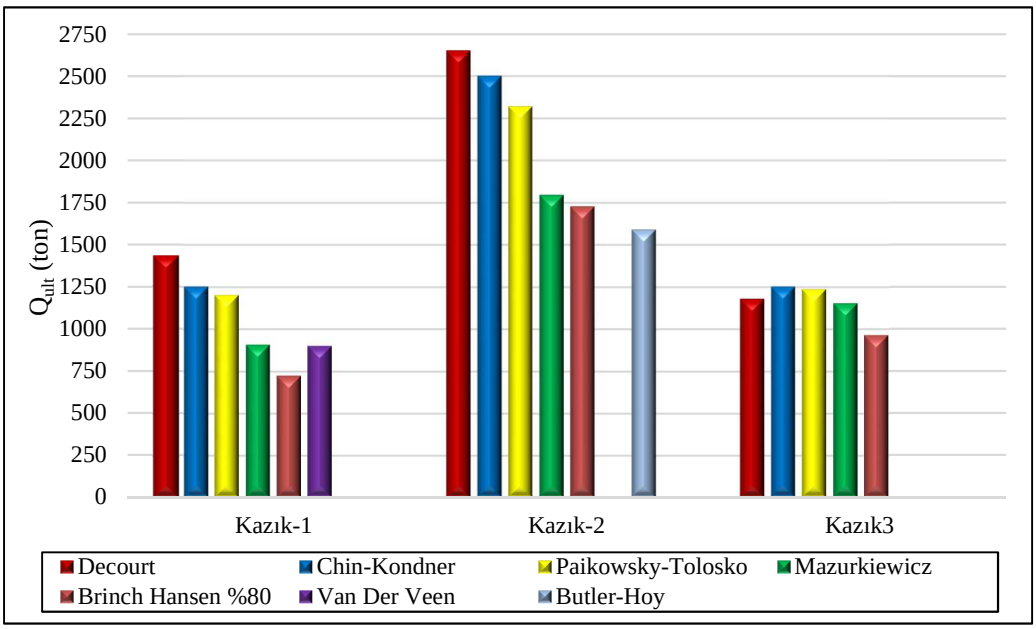
Çizelge 7. Belirlenen nihai taşıma güçleri

Yöntem	Kazık-1	Kazık-2	Kazık-3

	Göçme Yükü (ton)	Tasarım Yükü (ton)	Göçme Yükü (ton)	Tasarım Yükü (ton)	Göçme Yükü (ton)	Tasarım Yükü (ton)
Van Der Veen	900	1020	-	1440	-	760
Brinch Hansen %80	722		1725		962	
Brinch Hansen %90	-		-		-	
De Beer	-		-		-	
Chin-Kondner	1250		2500		1250	
Davisson	-		-		-	
Mazurkiewicz	908		1795		1152	
Butler-Hoy	-		1590		-	
Decourt	1429		2651		1180	
Paikowsky-Tolosko	1200		2318		1235	
Hirany-Kulhawy	-		-		-	

~~6.2.1.~~4.2.1. Belirlenen nihai taşıma güçlerinin karşılaştırılması

Şekil 6'daki grafikte fore kazıklar için belirlenen nihai taşıma güçleri karşılaştırılmıştır. Göçme gerçekleşmeyen kazıklarda (Kazık-1 ve Kazık-3) en küçük nihai taşıma güçleri Brinch Hansen %80 yöntemiyle elde edilmiştir. İkinci en küçük nihai taşıma güçleri ise Mazurkiewicz yöntemiyle elde edilmiştir.



Şekil 6. Yöntemlere göre belirlenen nihai taşıma güçlerinin karşılaştırılması

Kazık-1'de belirlenen nihai taşıma güçleri 722-1429 ton arasında değişmektedir. En küçük değer en büyük değerin %50'si kadardır. Kazık-2'de belirlenen nihai taşıma güçleri 1590-2651 ton arasında değişmektedir. En küçük değer en büyük değerin %60'ı kadardır. Kazık-3'te belirlenen nihai taşıma güçleri 962-1250 ton arasında değişmektedir. En küçük değer en büyük değerin %77'si kadardır. Oransal olarak en geniş aralık Kazık-1'de, en dar aralık ise Kazık-3'te ortaya çıkmıştır Özellikle Kazık-1 ve Kazık-2 için belirlenen nihai taşıma güçleri geniş bir aralığa dağılmıştır. Aralık genişliğinin kazığın deneyde göçmeye uğraması ile bir ilişkisi olmadığı görülmüştür.

Deney sırasında göçme gözlenen Kazık-2'de yük-deplasman grafiğine geçici ve kalıcı deformasyon bölgelerinde çizilen teğetlerin kesiştirilmesiyle belirlenen göçme yükü 1580 tondur (Bkz. Şekil 5). Butler-Hoy yönteminde Kazık-2'nin nihai taşıma gücü 1590 ton olarak belirlenmiştir. Butler-Hoy yöntemiyle belirlenen nihai taşıma gücü, teğet yöntemiyle bulunan göçme yükü ile uyumludur.

Kazık-2'de nihai taşıma gücü belirlenen diğer beş yöntemle (Decourt, Chin-Kondner, Paikowsky-Tolosko, Mazurkiewicz ve Brinch Hansen %80) elde edilen değerler 2651 tona kadar çıkmaktadır. Bu değerler teğet yöntemiyle bulunan göçme yüküne göre yüksek miktarda sapma göstermektedir. Yöntemlerin göçmeye ulaşmış kazıklarda kullanılması halinde yanıltıcı değerler elde edilmesine sebep olacağı görülmüştür.

~~6.2.2.~~4.2.2. Nihai taşıma gücü değerlerinin tasarım kapasiteleri ile karşılaştırılması

Deney kazıklarının tasarım kapasiteleri güvenlik sayısına bölünmemiş haliyle Çizelge 8'de gösterilmektedir. Şekil 7'deki grafikte ise literatürdeki yöntemlerle belirlenen nihai taşıma güçleri ile tasarım kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

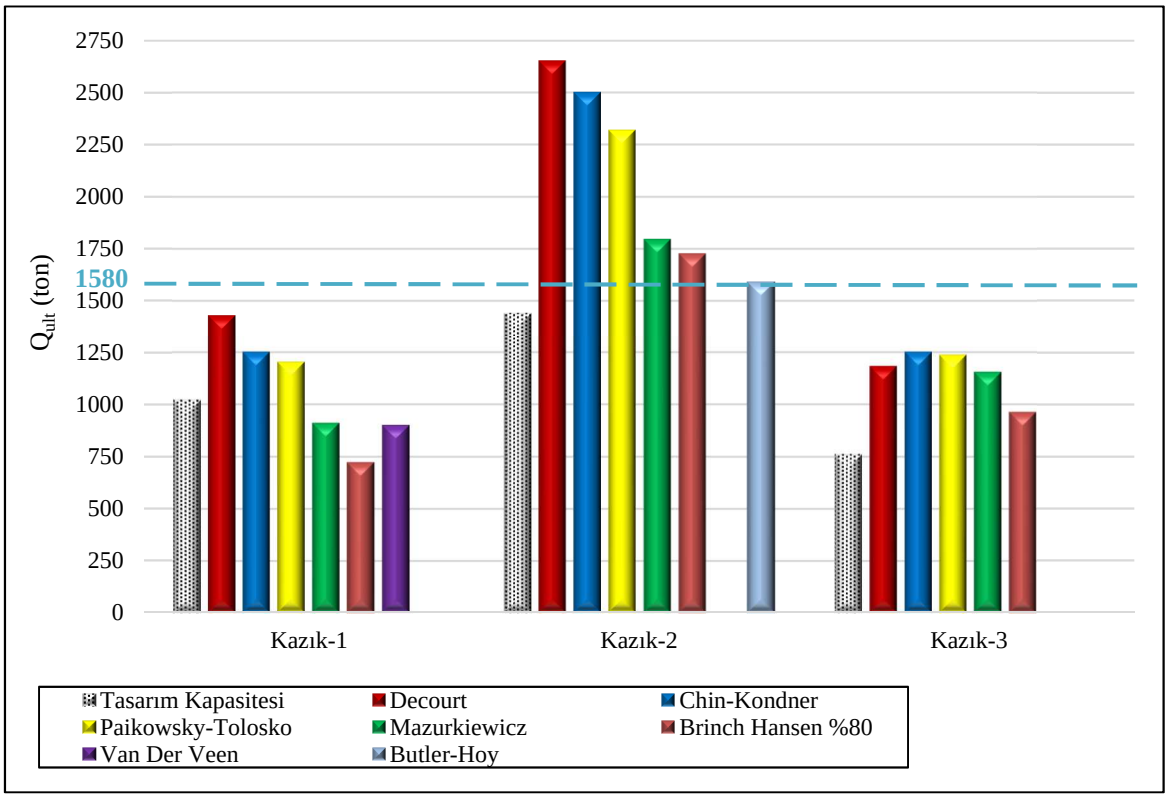
Kazık-2 ve Kazık-3'te belirlenen nihai taşıma güçlerinin tamamı tasarım kapasitelerinden büyüktür. Kazık-1'de ise durum farklıdır. Decourt, Chin-Kondner ve Paikowsky-Tolosko yöntemleriyle belirlenen nihai taşıma güçleri tasarım kapasitesinden büyük iken, Van Der Veen, Mazurkiewicz ve Brinch Hansen %80 yöntemleriyle belirlenen nihai taşıma güçleri ise tasarım kapasitesinden küçüktür.

Çizelge 8. Tasarım kapasiteleri

Kazık No	Q (ton)
Kazık-1	1020
Kazık-3	1440
Kazık-3	760

Tasarım kapasitesine en yakın nihai taşıma gücü Kazık-1'de Van Der Veen yöntemiyle, Kazık-2'de Butler-Hoy yöntemiyle, Kazık-3'te Brinch Hansen %80 yöntemiyle elde edilmiştir.

Tasarım kapasitesinin literatürdeki yöntemlerle belirlenen en yakın nihai taşıma gücüne oranı Kazık-1'de %88, Kazık-2'de %110, Kazık-3'te %127 oranındadır.



Şekil 7. Nihai taşıma güçlerinin tasarım kapasiteleri ile karşılaştırılması

~~7.~~5. Sonuçlar

Bu çalışmada kayaya soketli üç adet betonarme fore kazığın tasarımı ve bu kazıklarda uygulanan yükleme deneylerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Kazıkların soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak literatürde kabul gören eşitliklerle hesaplanan taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca yükleme deneylerinin sonuçlarına bağlı olarak literatürde verilen on bir farklı yöntem kullanılarak deney kazıklarının nihai taşıma güçleri elde edilmiştir.

Deney kazıklarının tasarım kapasiteleri, Kulhawy ve diğerlerinin (2005) çalışmasında yer verilen yöntemlerle hesaplanan teorik kapasitelerle karşılaştırılmıştır. Hesaplanan teorik birim sürtünme dirençleri, tasarımdaki birim sürtünme dirençlerinin üzerinde geniş bir aralığa yayılmıştır. Hesaplanan değerlerin tasarım değerlerine oranı 1,0 ile 2,2 arasında değişmektedir. Her bir kazıkta aynı yöntemle hesaplanan değerlerin tasarım değerlerine oranı hemen hemen aynı olmuştur. Karşılaştırma yapılan on farklı yöntem arasında en düşük birim sürtünme direncini veren dört yöntem Horvath ve Kenny, Carter ve Kulhawy, Zhang ve Einstein, Reese ve O'Neill yöntemleridir. Buna göre diğer pek çok yönteme nazaran tasarımda Reese ve O'Neill yöntemi kullanılarak daha güvenli tarafta kalınmıştır.

Literatürde kabul gören on bir farklı yöntemle deney kazıklarının nihai taşıma gücü belinlenmeye çalışılmıştır. Bu yöntemlerle belirlenen nihai taşıma güçleri geniş bir aralığa

saçılmaktadır. Chin-Kondner ve Paikowsky-Tolosko yöntemleriyle belirlenen değerler diğer yöntemlerle belirlenen değerlere oranlara birbirine yakın değerler almaktadır. En küçük değer Brinch Hansen %80 yöntemiyle, ikinci en küçük değer Mazurkiewicz yöntemiyle elde edilmiştir.

Her bir kazık için yöntemlerle belirlenen nihai taşıma güçleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Oransal olarak en geniş aralık Kazık-1'de, en dar aralık ise Kazık-3'te oluşmuştur. Özellikle Kazık-1 ve Kazık-2 için belirlenen nihai taşıma güçleri geniş bir aralığa dağılmıştır. Aralığın genişliğinin kazığın deneyde göçmeye uğraması ile bir ilişkisi olmadığı ortaya çıkmıştır.

Butler-Hoy yöntemiyle belirlenen nihai taşıma gücü, teğet yöntemiyle bulunan göçme yükü ile uyumludur. Kazık-2'de nihai taşıma gücü belirlenen diğer beş yöntemle elde edilen değerler 2651 tona kadar çıkmaktadır. Göçmeye ulaşmış kazıklarda bu yöntemlerin kullanılması halinde yanıltıcı değerler elde edilebileceği görülmüştür.

Kaynaklar

1. AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications,* USA: American Association of State Highway and Transportation Officials.
2. ASTM. (2013). *ASTM D1143/D1143M-07: Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load.* USA: American Society for Testing and Materials.
3. Butler, H. D. and Hoy, H. E. (1976). *FHWA-IP-77-8: The Texas Quick-Load Method for Foundation Load Testing - User Manual,* USA: Federal Highway Administration
4. Chin, F. K. (1970). *Estimation of The Ultimate Load of Pile Not Carried to Failure.* Proceeding 2nd Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore, 81-90.
5. Carter J. P., and Kulhawy F. H. (1988). *Analysis and Design of Drilled Shaft Foundations Socketed Into Rock,* Electric Power Research Institute
6. Davisson, M. T. (1972). *High Capacity Piles,* Proceeding of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction. American Society of Civil Engineers, Illinois Section, Chicago, USA. March 22, 81-122.
7. De Beer, E. E. (1967). *Proefondervindelijke bijdrage tot de studie vanhet grensdraag vermogen van zand onder fundering op staal.* Tijdshriftder Openbar Werken van Belgie, 6.
8. Decourt, L. (1999). *Behaviour of Foundations Under Working Load Conditions,* Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Foz DoIguassu, Brazil, August 1999, Vol. 4, 453-488.
9. Gedik, G. (2015a). Ankara-Sivas Demiryolu Projesi Kayaş-Kırıkkale Arası (Kesim-1) V7-V9-V10-V15 No'lu Viyadükler Yapım İşi Viyadük V9 (Km: 48+446 - 49+769) Jeolojik Etüdü Geoteknik Raporu, KMG Proje Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Limited Şirketi, Ankara.
10. Gedik, G. (2015b). Ankara-Sivas Demiryolu Projesi Kayaş-Kırıkkale Arası (Kesim-1) V7-V9-V10-V15 No'lu Viyadükler Yapım İşi Viyadük V10 (Km: 50+400 - 51+942) Jeolojik Etüdü Geoteknik Raporu, KMG Proje Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Limited Şirketi, Ankara.
11. Gedik, G. (2015c). Ankara-Sivas Demiryolu Projesi Kayaş-Kırıkkale Arası (Kesim-1) V7-V9-V10-V15 No'lu Viyadükler Yapım İşi Viyadük V15 (Km: 63+939 - 65+376) Jeolojik Etüdü Geoteknik Raporu, KMG Proje Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Limited Şirketi, Ankara.
12. Hansen, J. Brinch. (1963). *Discussion: Hyperbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils.* Journal of Soil Mechanics, Foundations Division, 89(4), 241-242
13. Hirany, A. and Kulhawy, F. H. (2002). *On the Interpretation of Drilled Foundation Load Test Results.* Proceeding of the International Deep Foundations Congress. Orlando, USA, 1018-1028.

14. Horvath, R. G. and Kenney, T. C. (1979). *Shaft Resistance of Rock-Socketed Drilled Piers.* Proceedings Symposium on Deep Foundation, American Society of Civil Engineers. Atalanta, USA, October, 182-214
15. Kulhawy, F.H., Prakoso, W. A. and Akbaş, S. O. (2005). *Evaluation of Capacity of Rock Foundation Sockets,* American Rock Mechanics Association. ARMA/USRMS 05-767.
16. Kulhawy, F. H. and Phoon K. K. (1993). *Drilled Shaft Side Resistance in Clay Soil to Rock.* Proceeding Conference on Design and Performance of Deep Foundations: Piles and Piers in Soil and Soft Rock. Geotechnical Special Publication No: 38, 172-183
17. Mazurkiewicz, B. K. (1972). *Test Loading of Piles According to Polish Regulations,* Royal Sweedish Academy of Engineering Sciences, Commission on Pile Research, Report No.35, pp20, Stocholm, Sweden.
18. Meigh, A. C. and Wolski W. (1979). *Design Parameters for Weak Rock.* Proceeding 7th European Conference on Soil Mechanics an Foundation Engineering, Brighton, England, vol. 5, 59-79.
19. O'Neill, M. W. and Reese, L. C. (1999). *FHWA-IF-99-025: Drilled Shaft: Construction Procedures and Design Methods,* USA: Federal Highway Administration.
20. Paikowsky, S. G. and Tolosko, T. A. (1999). *FHWA-RD-99-170: Extrapolation of Pile Capacity from Non-failed Load Tests.* USA: Federal Highway Administration
21. Prakoso, W. A. (2002). *Reliability-based Design of Foundations in Rock Masses.* PhD Dissertation. Cornell University, Ithaca, New York.
22. Reese, L. C. and O'Neill, M. W. (1988). *FHWA-HI-88-042: Drilled Shaft: Construction Procedures and Design Methods,* USA: Federal Highway Administration.
23. Rosenberg, P. and Journeaux, N. L. (1976*). Friction and End Bearing Tests on Bedrock For High Capacity Socket Design,* Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, Canada, 13, 323-333.
24. Rowe, R. K. and Armitage H. H. (1984). *The Design of Piles Socketed into Weak Rock.* Faculty of Engineering Science, The University of Western Ontario, London, Research Report GEOT-11-84.
25. Van der Veen, C. (1953). *The Bearing Capacity of a Pile.* Proceedings of the third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zürih, İsviçre. vol. II, 84-90.
26. Williams, A. F., Johnston, I. W. and Donald, I. B. (1980). *Design of Socketed Piles in Weak Rock,* Proceeding of International Conference on Structural Foundations on Rock, Sydney, Australia
27. Zhang, L., and Einstein, H. H. (1998). *End Bearing Capacity of Drilled Shafts in Rock.* Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, American Society of Civil Engineering, 124(7), 574-584.
28. Zhang, L. and Einstein, H. H. (1999). *Closure to End Bearing Capacity of Drilled Shafts in Rock.* Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, American Society of Civil Engineering, 125(12), 1109-1110.

KUZEY MARMARA OTOYOLU PROJESİ KM:241+200 YOL DOLGUSU OTURMA DAVRANIŞININ ANALİTİK VE SAYISAL MODELLEME İLE KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

A COMPARATIVE STUDY OF SETTLEMENT BEHAVIOR OF THE EMBANKMENT ST:241+200 OF NORTHERN MARMARA HIGHWAY PROJECT WITH ANALYTICAL AND NUMERICAL MODELING

Buse KILIÇOĞLU[1], Sami Oğuzhan AKBAŞ[2]

[1] Mega Engineering Consulting Inc., Turkey
[2]Department of Civil Engineering, Gazi University, Turkey
Emails: kilicoglubuse@gmail.com, soakbas@gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada Kuzey Marmara Otoyolu Projesi kapsamında yapımı devam eden Kayalarkoyu Mevkii Kesim-6'da bulunan yol dolgularının zamana bağlı oturma davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Proje güzergahında yürütülen çalışmalar dahilinde dolgu taban zeminini tespit etmek adına standart penetrasyon (SPT), konik penetrasyon (CPT) ve presiyometre (PMT) ve açılan sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş UD numuneleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Tüm bu veriler incelendiğinde, güzergahın büyük kısmında dolgunun alüvyon niteliğinde killi, kumlu, siltli birim üzerine teşkil edileceği ve bu birimde ciddi mertebelere ulaşan konsolidasyon oturmaları oluşabileceği anlaşılmıştır. Yol dolgusunun zamana bağlı oturma davranışını incelemek amacıyla Km:241+200-243+300 aralığında yüksekliği 3,5-5,5m arasında değişen bir test dolgusu imal edilmiştir. Arazi ve laboratuvar verileri ve literatürde yer alan korelasyonlar yardımıyla alüvyon birim için kısa ve uzun dönem için mukavemet parametreleri belirlenip, dolgu için stabilite analizleri yapılmıştır. Ardından, arazi verileri yardımıyla dolgu tabanında beklenen konsolidasyon oturması geleneksel analitik yöntemlerle ve sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: konsolidasyon, yol dolgusu, stabilite

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the time-dependent settlement behavior of the road embankments in Kayalarkoyu Mevkii Part-6, which is under construction in the Northern Marmara Highway Project. In the scope of this study, site investigations that include standard penetration (SPT), conic penetration (CPT), pressuremeter tests (PMT) and laboratory tests were carried out. It was determined that the embankment in most of the route would be built on allivium consisting of clayey, sandy, silty units and significant consolidation settlement is expected in this unit. In order to examine the time-dependent settlement behavior of the embankment, a test embankment between Km: 241+200-243+300 with a height of changes between 3,5-5,5m was built. The short and long term strength parameters of the alluvium unit were determined by means of the field and laboratory test data and using the correlations in the literature. First, slope stability analyses were performed. Then, with the help of the field data, the expected consolidation settlement under the embankmet was comparatively calculated using the traditional analytical methods and the finite element method.

Key words: consolidation, embankment, stability

1. GİRİŞ

Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kurtköy-Akyazı Kesimi işi kapsamında tanımlanan Kesim-5, Km 188+184'de Gölcük mevkiinden başlamakta olup, İzmit Kavşağı, Tem-İzmit Kavşağı, Akmeşe Kavşağı, Adapazarı Kavşağı, Akyazı Kavşağı ve TEM Akyazı direksiyonel kavşağını geçerek, Kayalarkoyu Mevkiinde Kesim-6 Km Km:251+111,226 da sona ermektedir. Proje ile 1. Boğaz Köprüsü ile 2. Boğaz Köprüsü'nün aşırı derecede yüklenmiş olan trafiğini rahatlatmak, İstanbul'un ulaşım sorununu giderebilmek, taşıt işletme giderleriyle seyahat süresinden tasarruf edilmesi ve sürücülere konforlu bir seyir imkanı sağlanması amaçlanmaktadır.

Proje kapsamında Km:241+200-242+300 aralığında yol platformu genişliği 45m, yüksekliği ise 3,5~5,5m arasında değişmekte olan bir test dolgusu imal edilmiştir. Bu çalışma kapsamında; arazide yapılan SPT, CPT, ve PMT deneyleri ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak bu test dolgusunun hem stabilite açısından irdelenmesi hem de analitik ve sayısal yöntemle hesaplanan konsolidasyon oturmasının karşılaştırılmalı incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. DOLGU VE ZEMİN ÖZELLİKLERİ

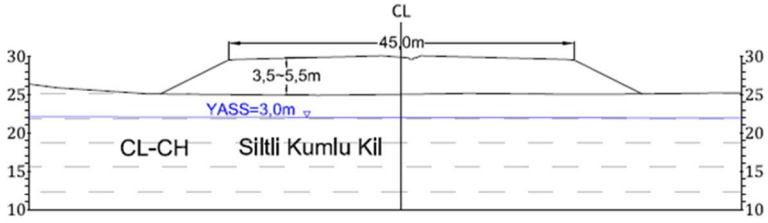
İlgili kilometre aralığında arazi zemininin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 10 adet SPT, 4 adet PMT ve 14 adet CPT deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Saha deneyleri ve açılan sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş UD numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri incelendiğinde, dolgunun alüvyon niteliğinde killi, kumlu, siltli birim üzerine teşkil edileceği tespit edilmiş olup, 2Y/1D şev eğimi ile imal edilmesi durumunda stabilite problemi ile karşılaşılma durumu incelenmiştir. Bu sebeple dolgu malzemesinde ve dolgunun teşkil edileceği zeminde mukavemet parametreleri belirlenmiştir.

Dolgu imalatında kullanılacak malzeme, ilgili proje kapsamında Çaycuma Formasyonuna (Teç) ait Kumtaşı, Kiltaşı, Silttaşı birimlerinde açılacak yarmalardan ve ariyet ocaklarından temin edilecek olup, en kötü durumda parametre seçiminde SC-SM zemin sınıfında olduğu

kabul edilmiştir [1-2]. Bu verilerden yola çıkarak dolgu malzemesi için dayanım parametreleri kohezyon c= 5 kPa, içsel sürtünme açısı ϕ = 33° ve birim hacim ağırlık ɣ=20kN/m³ olarak seçilmiştir. (FHWA, 2006 [11])

Dolgu taban zemininde parametreler ve idealize zemin profili belirlenirken arazi verileri ve laboratuvar verileri birlikte değerlendirmiştir. (Şekil 1)

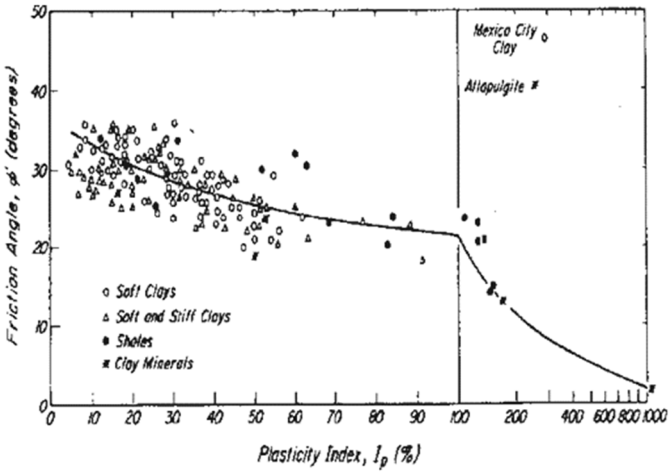


Şekil 1. Dolgu tip kesiti

Kil birimde drenajsız kayma mukavemeti (c_u) belirlenirken CPT testi verilerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır (Eşitlik 1). Bağıntıda verilen σ_{vo} toplam örtü yükü ve Nk koni faktörüdür. (Aas, G. vd. 1986, [5])

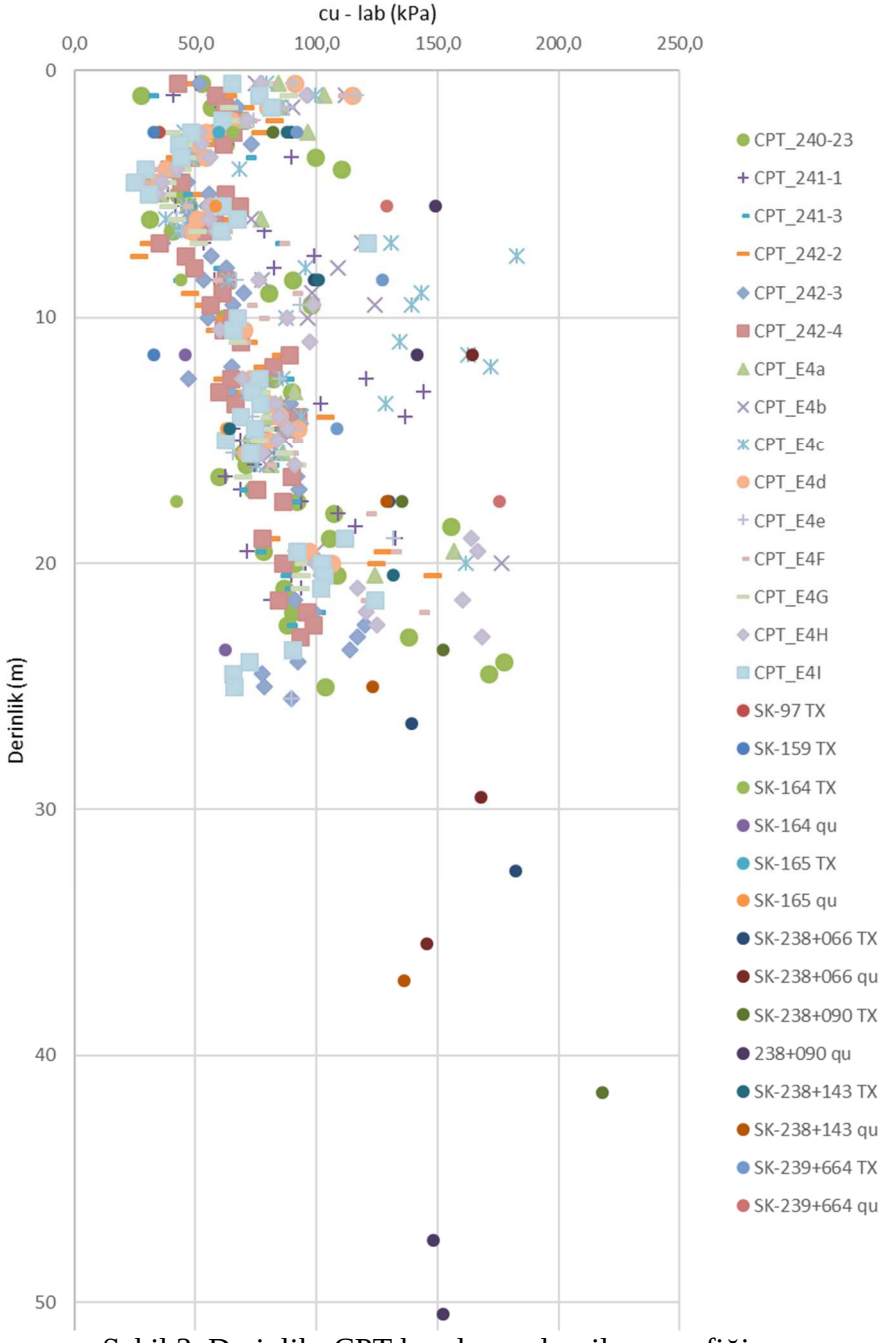
$$c_u = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{Nk} \qquad (1)$$

Fugro (2004) koni faktörünü (Nk) normal konsolide killer için Nk=15-16, aşırı konsolide killer için Nk=18-19 olarak önerdiğinden [9] aşırı konsolide killerin yer aldığı çalışma alanında drenajsız kayama dayanımı hesaplamalarında koni direnci Nk=18 olarak seçilmiştir. Kilde uzun dönem mukavemet parametreleri için ise Şekil 2' de verilen plastisite indisi-içsel sürtünme açısı ilişkisinden yararlanılmıştır.



Şekil 2. Kilde uzun dönem parametreler (Terzaghi vd., 1996 [3])

İlgili kilometre aralığında yapılan CPT deneyleri maksimum 25m derinliğe kadar uzanmaktadır. Bu sebeple CPT verilerinden elde edilen drenajsız kayma dayanımının (c_u) yanında, 25m' den sonraki birimler için sondajlardan alınan örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan tek eksenli (q_u) ve üç eksenli (TX) basınç deneyinden elde edilen drenajsız kayma dayanımları da birlikte Şekil 3' te gösterilmiştir. CPT deneyinden elde edilen değerlerle laboratuvar verilerinden elde edilen değerlerin birbirini desteklediği görülmektedir.

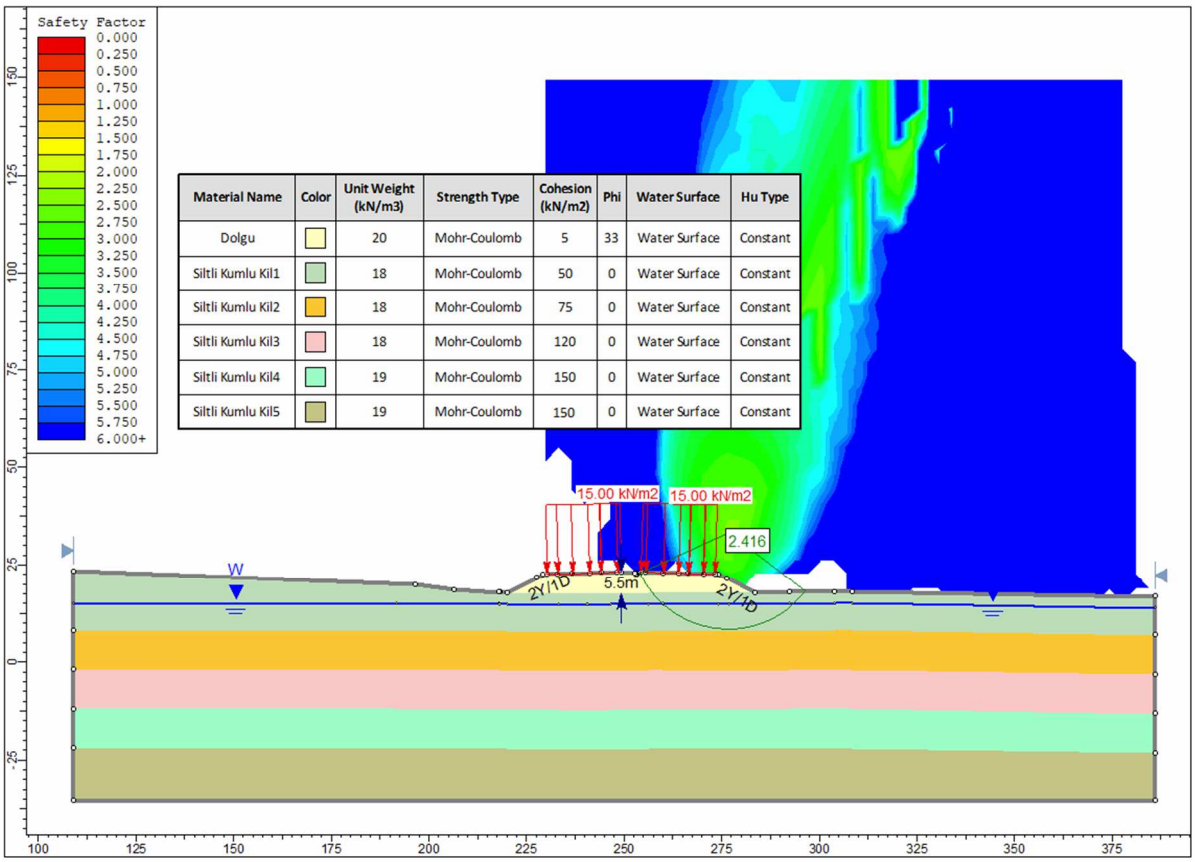


Şekil 3. Derinlik -CPT korelasyonları ile c_u grafiği

İdealize zemin tabakalarında belirlenen ortalama parametreler Tablo 1' de verilmiştir. Km:241+200-242+300 aralığında dolgu yüksekliği 3,5-5,5m aralığında değişmekte olup en yüksek dolgu olan 5,5m yüksekliğindeki Km:241+580 dolgusu için bu parametrelerle kısa dönem, uzun dönem ve sismik durum için stabilite analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen minimum güvenlik sayıları yeterince yüksek olup stabilite problemi beklenmemektedir. (Şekil 4)

Tablo 1. Derinliklerine göre parametreler

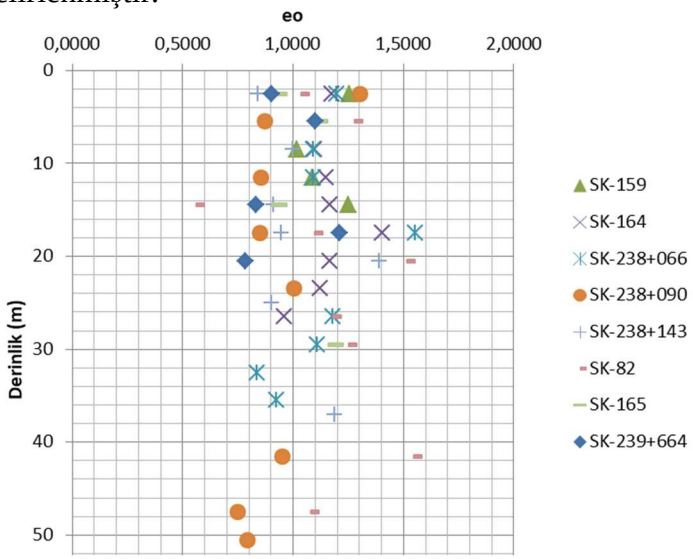
Derinlik	Birim	Parametre	
		Kısa Dönem	Uzun Dönem
0-10	Siltli Kil	c_u = 50kPa	c'=5kPa ve ϕ'=26°
10-20	Siltli Kil	c_u = 75kPa	c'=5kPa ve ϕ'=26°
20-30	Siltli Kil	c_u = 120kPa	c'=10kPa ve ϕ'=27°
30-40	Siltli Kil	c_u = 150kPa	c'=15kPa ve ϕ'=27°
40-50	Siltli Kil	c_u = 150kPa	c'=15kPa ve ϕ'=27°



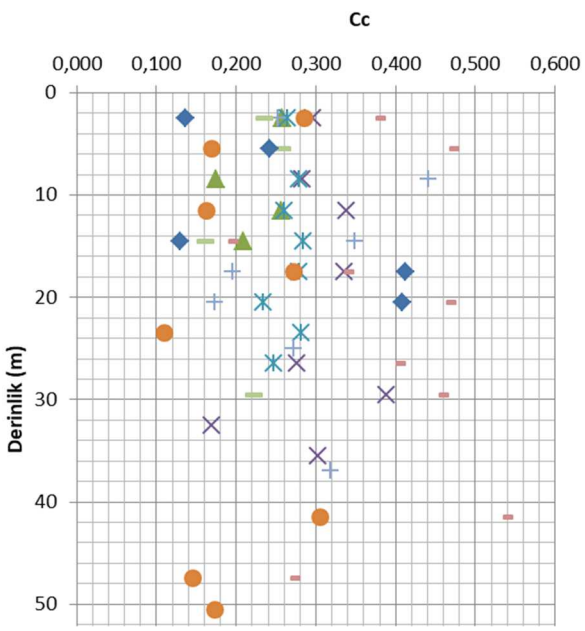
Şekil 4. Km:241+580 Dolgusu statik durum stabilite analizi – Kısa dönem

3. OTURMA DEĞERLENDİRMELERİ

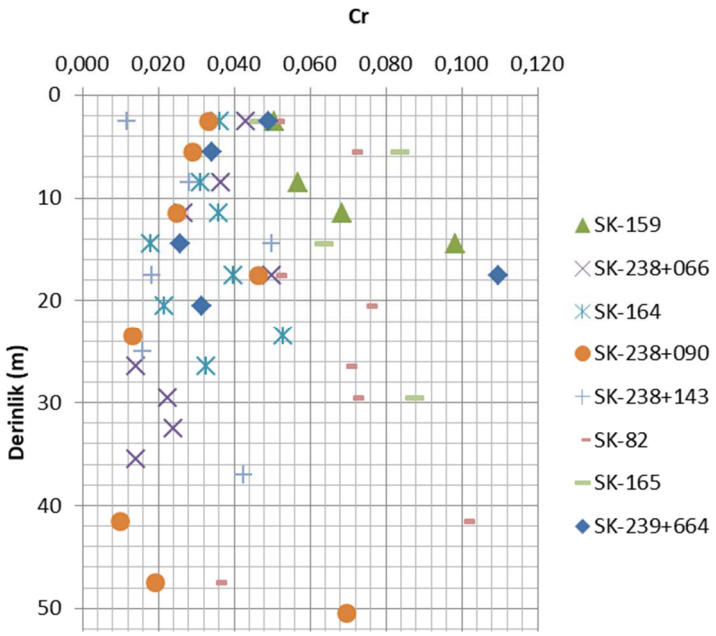
İlgili kilometre aralığındaki sondajlara ait laboratuvar sonuçları yardımıyla her UD numunesinde boşluk oranı (e_0), sıkışma indisi (c_c), yeniden sıkışma indisi (c_r) ve aşırı konsolidasyon oranı (AKO) gibi konsolidasyon parametreleri belirlenmiş ve derinlikle değişimi Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8' de gösterilmiştir. Casagrande (1936b) yöntemiyle konsolidasyon oturması hesaplanırken tabandaki kil birim 3m kalınlığında tabakalara ayrılmıştır ve bu grafikler yardımıyla her bir tabakada ortalama e_o, c_c, c_r ve aşırı konsolidasyon oranı belirlenmiştir.



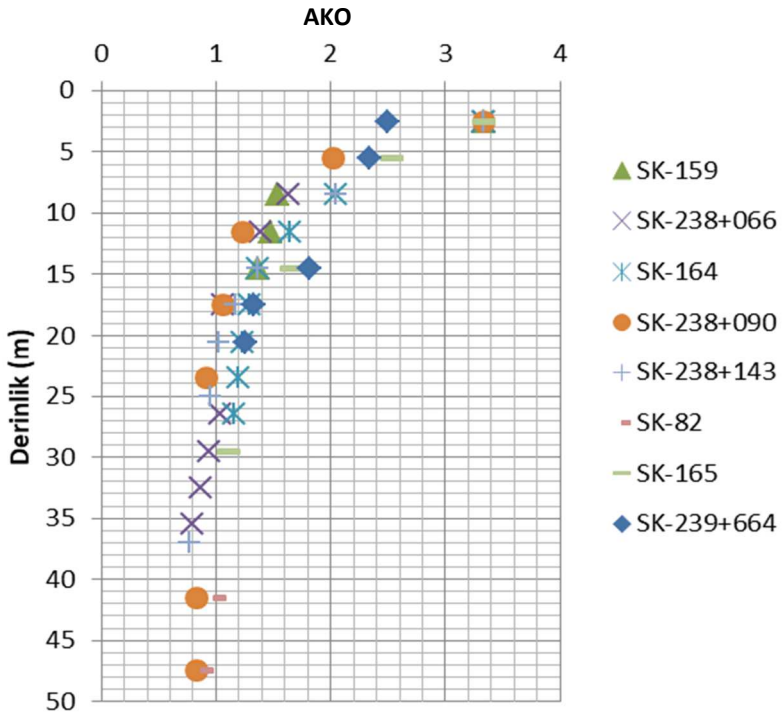
Şekil 5. Derinlik-e_o grafiği



Şekil 6. Derinlik-c_c grafiği



Şekil 7. Derinlik-c_r grafiği



Şekil 8. Derinlik-AKO grafiği

Analitik Yöntemle Yapılan Konsolidasyon Oturması Hesabı:

Oturma hesabında her 3m kalınlığındaki tabakanın orta noktasında meydana gelen gerilme artışını belirlerken, 45m platform genişliğine sahip dolgunun taban zemininde oturması beklenen 0-50m aralığı boyunca gerilme artışının derinlik ile azalacağı göz önünde bulundurulmuştur. Bu sebeple gerilme artışını hesaplarken aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır. (Osterberg, 1957 [10])

$$\Delta\sigma = \frac{q_o}{\pi}\left[\left[\frac{B1+B2}{B2}\right](\propto_1+\propto_2) - \frac{B1}{B2}(\propto_2)\right] \qquad (6)$$

$$q_o = H\gamma \qquad \text{(kPa)} \qquad (7)$$

H: Dolgu yüksekliği (m)

ɣ=Dolgu birim hacim ağırlığı (kN/m³)

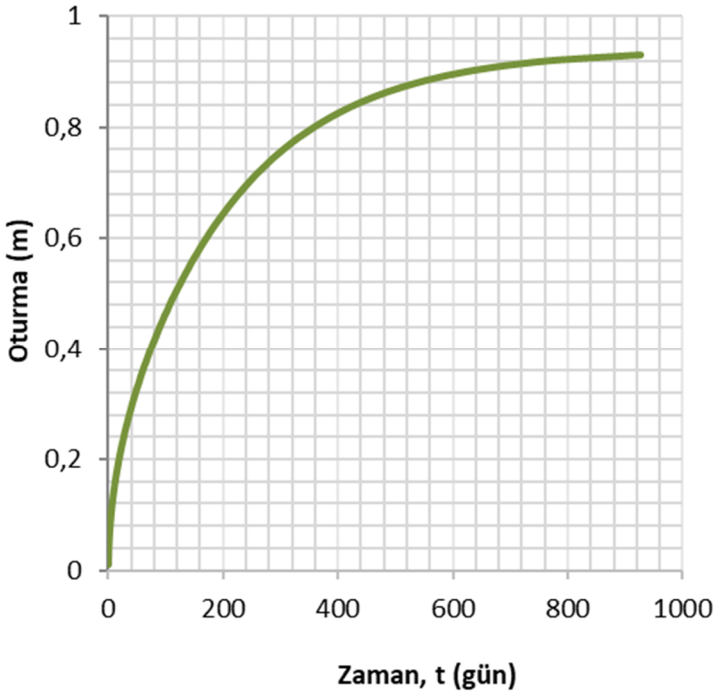
$\Delta\sigma$= Tabii arazide z kadar derinlik altında H yüksekliğindeki yol dolgusunun sebep olacağı gerilme artışı (kPa)

Farklı dolgu yüksekliklerine göre hesaplanan konsolidasyon oturması miktarları Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Farklı dolgu yükseklikleri için analitik yöntemle hesaplanan konsolidasyon oturması miktarları

Dolgu Yüksekliği (m)	**Hesaplanan Konsolidasyon Oturması (cm)**
3,5	51,5
4,0	63,0
4,5	74,0
5,0	84,6
5,5	94,8

Yapılan kabuller ile 5,5m dolgu yüksekliği altında beklenen kosnsolidasyon oturması analitik yöntemlerle ~95cm olarak hesaplanmıştır. Konsolidasyon deney verilerine göre zemin için konsolidasyon katsayısı c_v=0,0045cm²/sn olarak belirlenmiştir. Bu veriler ışığında aşağıda oturma-zaman grafiği çizilmiştir (Şekil 9). Sondaj ve CPT loglarına göre 50m kalınlığındaki kil birimde maksimum her 9m' de ML ve SC zemin sınıfına ait silt ve kum bantları tespit edilmiştir [8]. Oturma zamanı hesaplanırken bu kum bantları da dikkate alınmıştır ve drenaj mesafesi maksimum 9m olarak hesaplarda kullanılmıştır.



Şekil 9. 5,5m yüksekliğinde dolgu için oturma-zaman grafiği (Analitik yöntem)

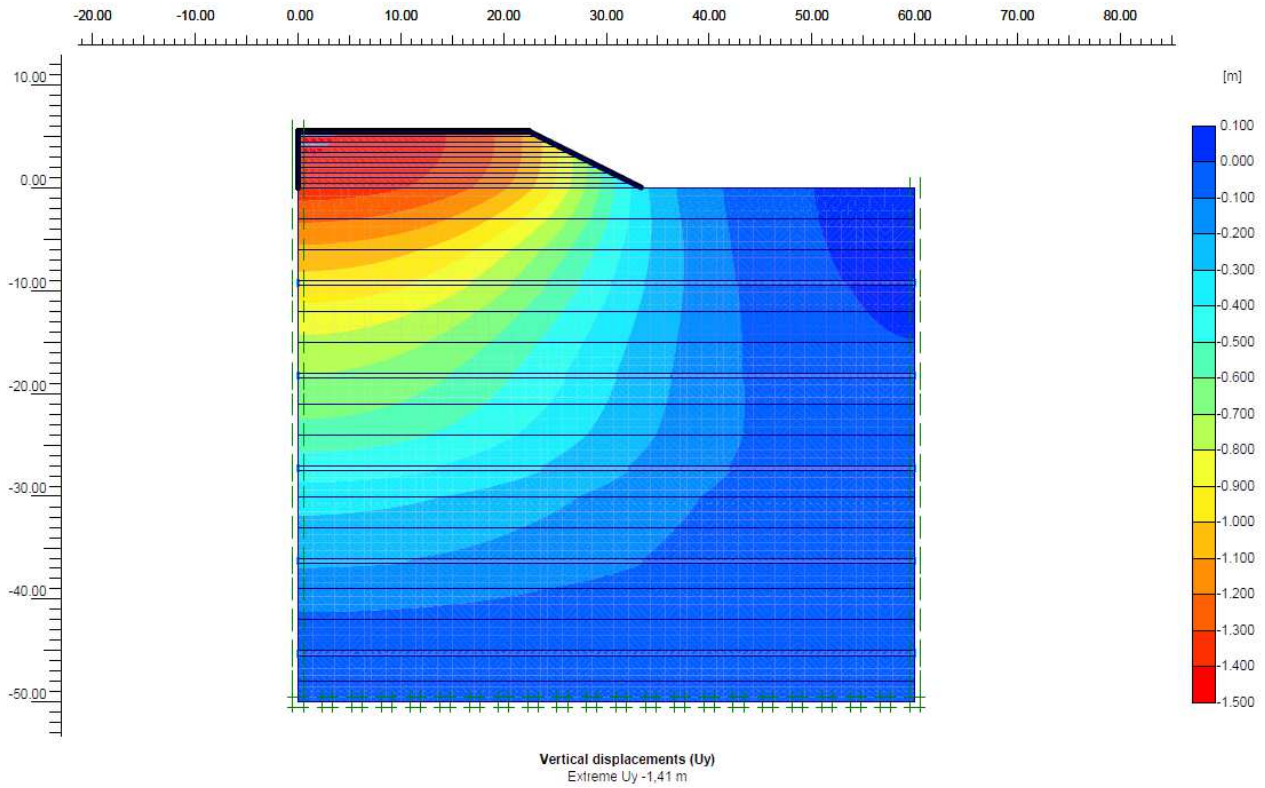
Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Yapılan Konsolidasyon Oturması Hesabı:

Dolgu sonlu elemanlar programında modellendikten sonra kil birim tabakalara ayrılmıştır ve laboratuvar verilerinden elde edilen konsolidasyon parametrelerine ait grafikler yardımıyla kil birimde her bir tabakada ortalama e_o, c_c ve c_r değeri belirlenmiştir. Bu parametreleri programa tanımlayarak sonlu elemanlar yöntemiyle konsolidasyon oturması hesaplanmıştır.

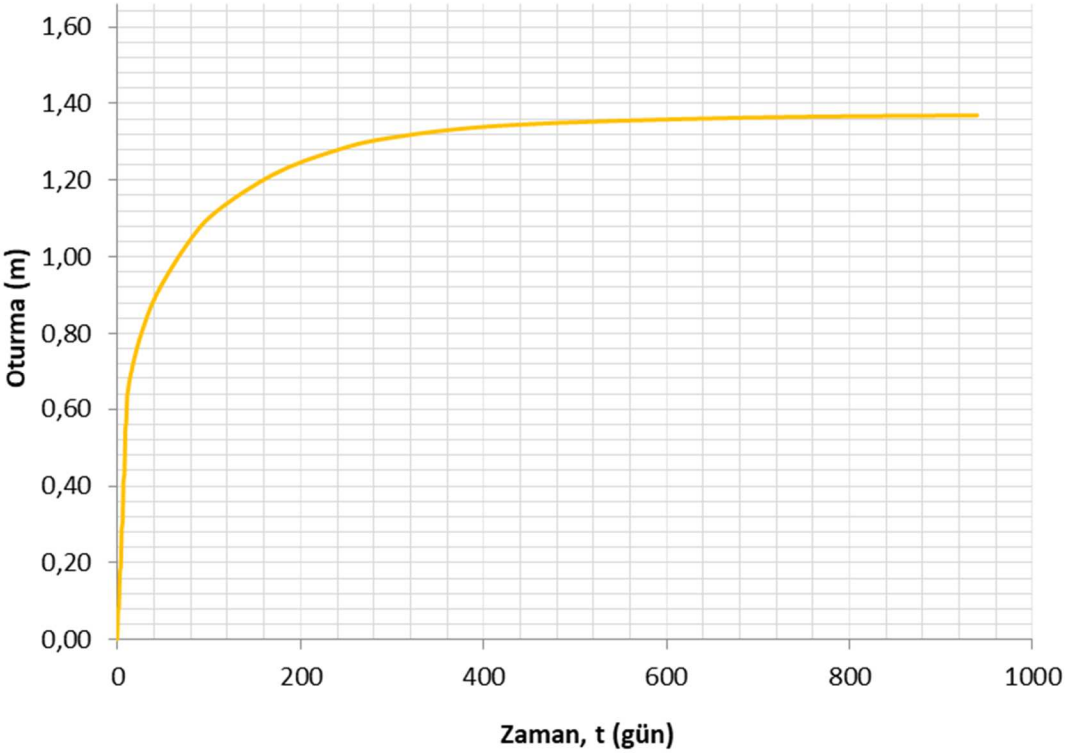
İmalatı aşamasında dolgu, bir seferde 0,5m kalınlığında tabakalar halinde imal edilmektedir ve bir kilometre mesafede bir gün içinde toplamda iki tabaka dolgu imal edilebilmektedir. Dolgu modellenirken bu adımlar dikkate alınmıştır. Farklı dolgu yükseklikleri için analizler gerçekleştirilmiştir ve hesaplanan oturma miktarları Tablo 3' te verilmiştir. Sadece en kritik dolgu yüksekliği olan 5,5m yüksekliğindeki dolgu için konsolidasyon analizi sonucu (Şekil 10) ve oturma-zaman grafiği (Şekil 11) verilmiştir.

Tablo 3. Farklı dolgu yükseklikleri için Plaxis 2D programı ile yapılan analizler sonucu elde edilen konsolidasyon oturmaları

Dolgu Yüksekliği (m)	**Hesaplanan Konsolidasyon Oturması (cm)**
3,5	88
4,0	101
4,5	114
5,0	127
5,5	141



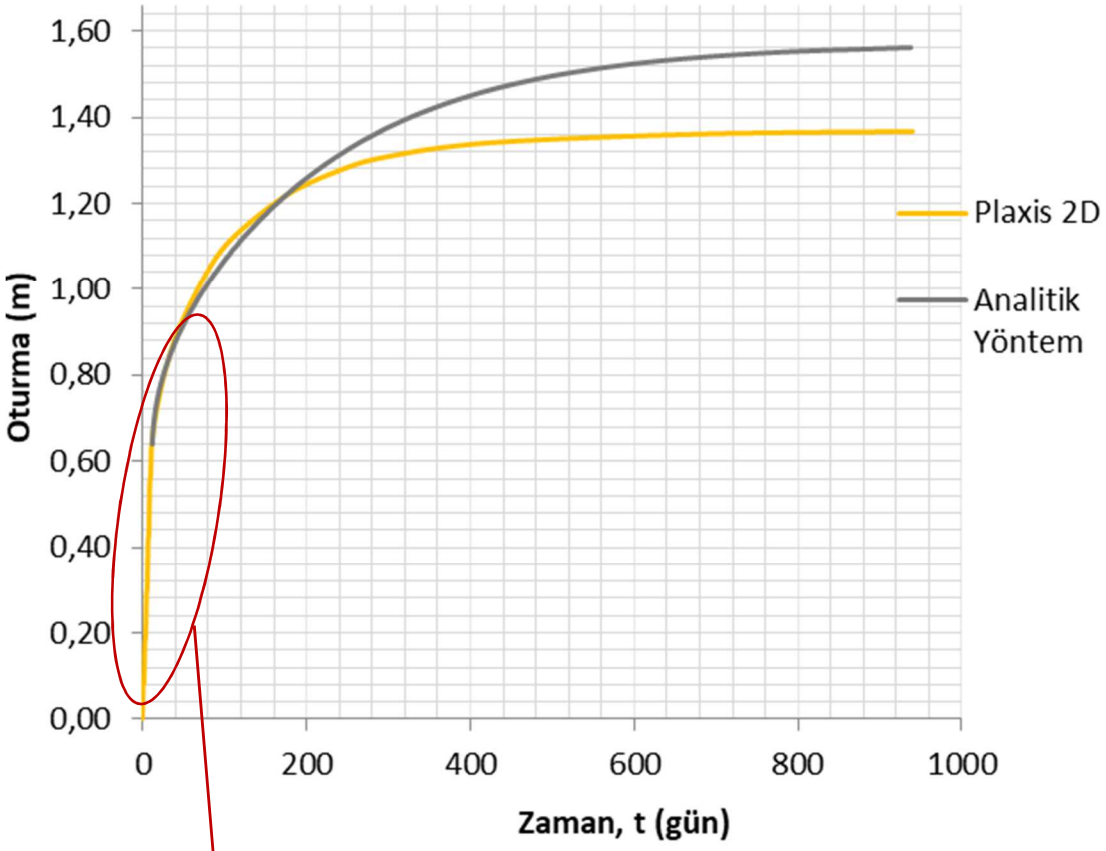
Şekil 10. 5,5m yüksekliğinde dolgu için oturma analizi sonucu (Plaxis 2D)



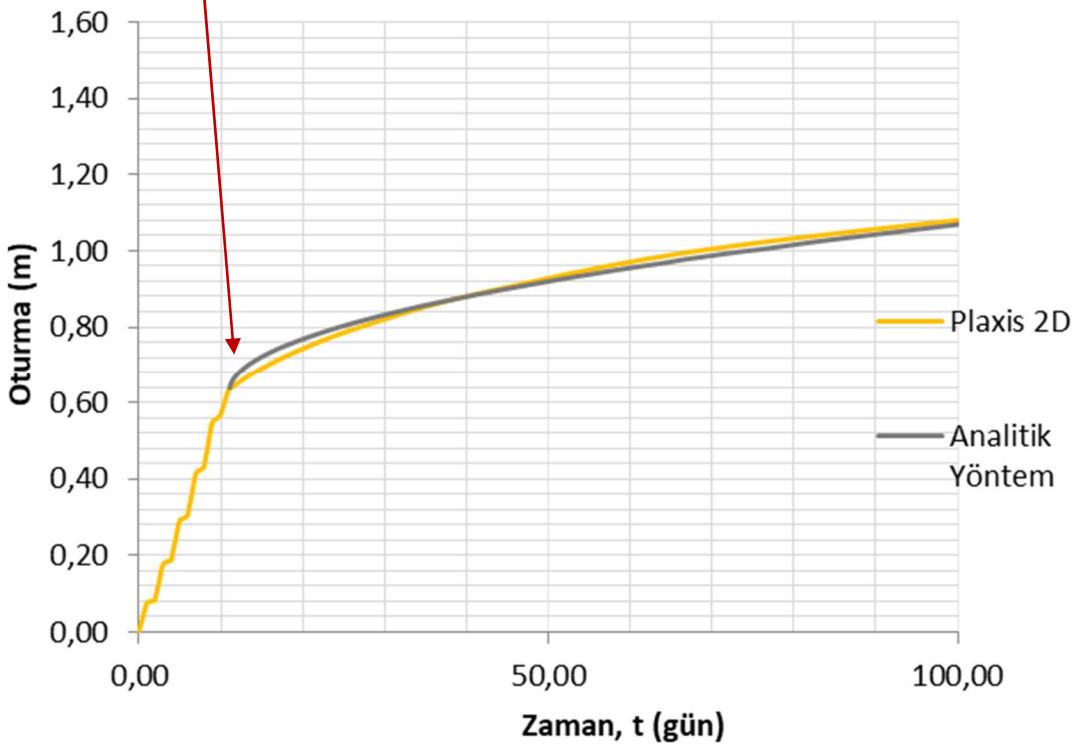
Şekil 11. 5,5m yüksekliğinde dolgu için oturma-zaman grafiği (Plaxis 2D)

SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen oturma-zaman grafikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 12 ve Şekil 13' de verilmiştir. Sonlu eleman modelinde dolgu imalat süreci de dikkate alındığı için imalat süresince gerçekleşen oturma miktarı ve oturma-zaman grafiğindeki etkisi her iki yöntemden elde edilen grafiklerin arasındaki farka bakarak tespit edebilmektedir. Bu sonuca göre yaklaşık 10 gün süren dolgu imalatı sırasında 60cm mertebesinde oturmanın gerçekleştiği düşünülmektedir. Dolgu inşaatına başlandıktan sonra imalatın tamamlanıp ölçüm alınmaya başlanana kadar 60cm mertebesindeki konsolidasyon otumasının hızlı gerçekleşmesi de sondaj ve CPT loglarında görülen kum bantlarının drenaj bandı olarak çalıştığı düşüncesini desteklemektedir.



Şekil 12. Farklı iki yöntemle edilen oturma-zaman grafikleri



Şekil 13. Farklı iki yöntemle edilen oturma-zaman grafikleri – dolgu imalat süreci detayı

Referanslar:

1) Kuzey Marmara Otoyolu (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Projesi Kurtköy-Akyazı (Bağlantı Yolları Dahil) 6. Kesim Km 188+180-251+111,123 Arası Jeolojik – Jeoteknik Etüt Raporu
2) Kuzey Marmara Otoyolu (3. Boğaz Köprüsü Dahil) Projesi Kurtköy - Akyazı (Bağlantı Yolları Dahil)
3) Terzaghi K., Peck B.R. ve Mesri G. (1996) "Soil Mechanics in EngineeringPractice" John Wiley & SonsInc.
4) O. Erol, Z. Çekinmez (2014) "Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri", Ankara
5) Aas, G., Lacasse, S., Lunne, T. ve Hoeg, K. (1986). "Use of in situ tests for foundation design on clay" Proceedings of the ASCE Speciality Conference In Situ '86: Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, Blacksburg, 1 – 30, American Societyof Engineers (ASCE).
6) Lunne, T., Robertson, P.K. ve Powell, J.J.M. (1997). "Cone penetration testing in geotechnical practice" Blackie Academic & Professional, Champan & Hall, UK.
7) Robertson, PK (2009). Interpretation of cone penetration tests – a unified approach,Canadian Geotech. J., 46(11):1337–1355.
8) Robertson, P.K. ve Cabal, K.L. (2010). "Guide to CPT for Getechnical Engineering" GREGG Drilling&Testing Inc. Publication.
9) De Beer E (1977) Static cone penetration testing in clay and loam. In: Proceedings Sonder symposium, Fugro, pp 15–23.
10) Das B.M. (1985). "Advanced Soil Mechanics" Mc-Graw Hill.
11) FHWA (2006) Soils and Foundations Reference Manual, Volume I.
12) Casagrande, A. (1936b) "The Determination of the Pre-Consolidation Load and Its Practical Significance" Dicussipn D-34, Proceeding of the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge Vol. 3,pp:60-64.

Seismotectonics and Earthquake Risk of Hatay

Aydın BÜYÜKSARAÇ [1], Semir ÖVER[2], Özcan BEKTAŞ[3]

[1] Department of Civil Engineering, Bitlis Eren University, Turkey
[2] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
[3]Department of Geophysical Engineering, Cumhuriyet University, Turkey

Emails: abuyuksarac@beu.edu.tr, semir.over@iste.edu.tr, , obektas@cumhuriyet.edu.tr

Abstract

In this study, the frequency of earthquakes was calculated as 0.5 steps in the range magnitude 3.0 to 6.5. The probability of occurrence of the earthquake at a certain magnitude of 1, 10, 30 and 50 years was calculated. Recurrence periods of earthquakes in the range of magnitude 3.0 to 6.5 were calculated. a and b coefficients were calculated by using Gutenberg & Richter formula and the seismicity character of Hatay and its surroundings were determined. The tectonic character has been revealed depending on the b-value, which is especially the seismogenic factor. Accordingly, b-value was obtained as 0.857 indicating the existence of moderate earthquakes in Hatay and its vicinity.

Keyword(s): Hatay, Earthquake, Seismotectonic, Earthquake Probability, b-value

1. Introduction

Antakya is a city in the south-east of the East Anatolian Fault, where alluvial effects affect the urban settlements in terms of soil characteristics. The tectonic elements controlling the seismicity of Hatay are Eastern Anatolia, Dead Sea and Cyprus-Antakya Transform faults. The faults of the plate boundaries form the triple joint point of Antakya. The last two devastating historical earthquakes that occurred in 1872 and 1922 were produced by Eastern Anatolia and Cyprus-Antakya Transform faults, respectively. Although the seismic earthquakes occur on these faults with intensity, recently, the Cyprus Antakya Transform Fault is more active. The earthquake with magnitude 5.7 that occurred during the instrumental period was also produced by this fault.

When the seismicity analysis of Hatay was carried out, it was seen that the seismic magnitudes reached up to 5.7 in the instrumental period, even though there were much larger / destructive earthquakes in the historical period.

The study area is composed of the South-North oriented Dead Sea Fault Zone (DSFZ), the extension of the Cyprus-Antakya Transform Fault, which is an extension of the Cyprus Arc reaching to the Amik Plain via Antakya, and the Amanos (or Karasu) Fault extending from the NNE-SSW therefore, tectonic activity is an area where continuous occurrence Amanos Fault is known as the southern extension of East Anatolian Fault Zone between Türkoğlu (Kahramanmaraş) and Antakya.

The above-mentioned faults form the boundaries of the African / Arabian, Anatolian / African and Arabian / Anatolian plate and form the triple joint point in the Amik Plain (Över et al., 2004). The above-mentioned faults form the boundaries of the African / Arabian, Anatolian / African and Arabian / Anatolian plate and form the triple joint point in the Amik Plain (Över et al., 2004).

Antakya and its vicinity have been under the influence of earthquakes for nearly 2,000 years (Willis, 1928; Sieberg, 1932; Ergin et al., 1967; Ambraseys, 1970; Ambraseys, 1989; Soysal et al., 1981). It was also affected by major and severe earthquakes in historical periods having the intensity Io=X (MSI) and in instrumental period magnitude of M = 7.5 and M = 7.2, respectively, occurring on 13 August 1822 and 3 April 1872 (Ergin et al., 1967) (Figure 1). During these earthquakes, a total of 20000 people lost their lives in Antakya and its vicinity (Kalafat and Bağcı, 2001). When the earthquakes occurred during the instrumental period were examined, the most important earthquakes were the main shock earthquake with a size of M_b=5.7on January 22, 1997, followed by aftershocks of magnitude M=5.2 and 5.3. The maximum intensity in these earthquakes was around Io = VI-VII. These earthquakes have caused some buildings to be destroyed or damaged. When the focal depths of the earthquakes in Antakya and its surroundings are examined, earthquakes that occur along a corridor extending along the NNE-SSW are generally shallow earthquakes (Figure 1).

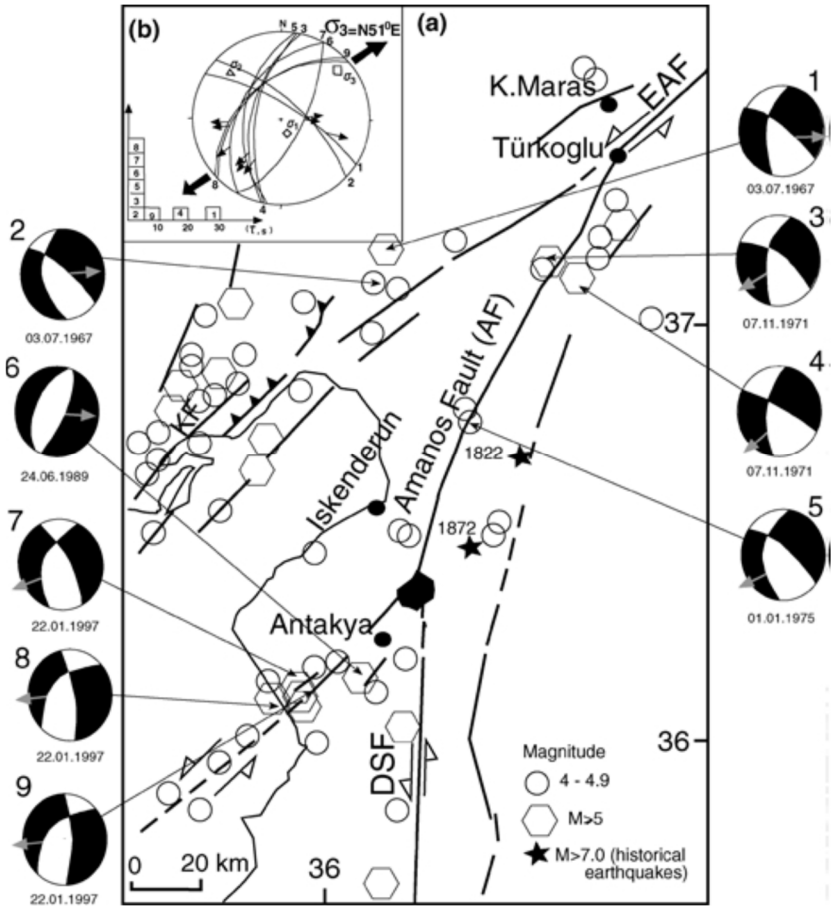


Figure 1- Earthquakes occurring around Antakya and focus mechanism solutions of some earthquakes (Över et al., 2002).

Between the years 1900-2019, a total of 116 earthquakes greater than 3.0 have occurred with an area of 100 km^2. Figure 2 shows the external focal distributions (i.e., epicenters) of these earthquakes on the map.

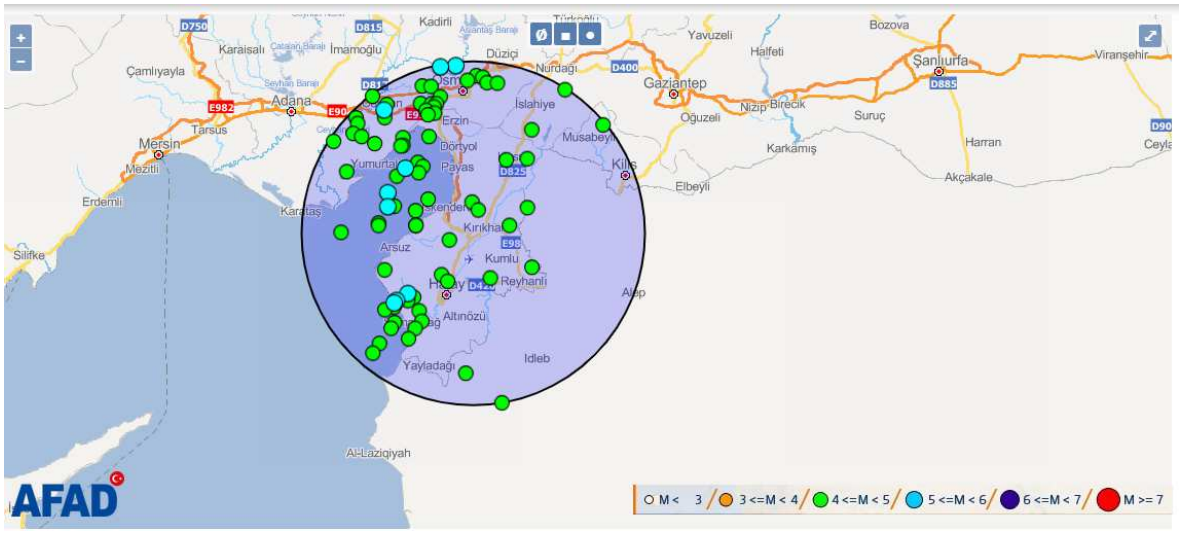


Figure 2 -Epicentre distribution of Hatay

Hatay, since the beginning of 2019 which entered into force in accordance with earthquake hazard map of Turkey, a structure that has been exposed to or above 0.4 g acceleration values (Figure 3) meaning risky area (or hazardous area) for building.

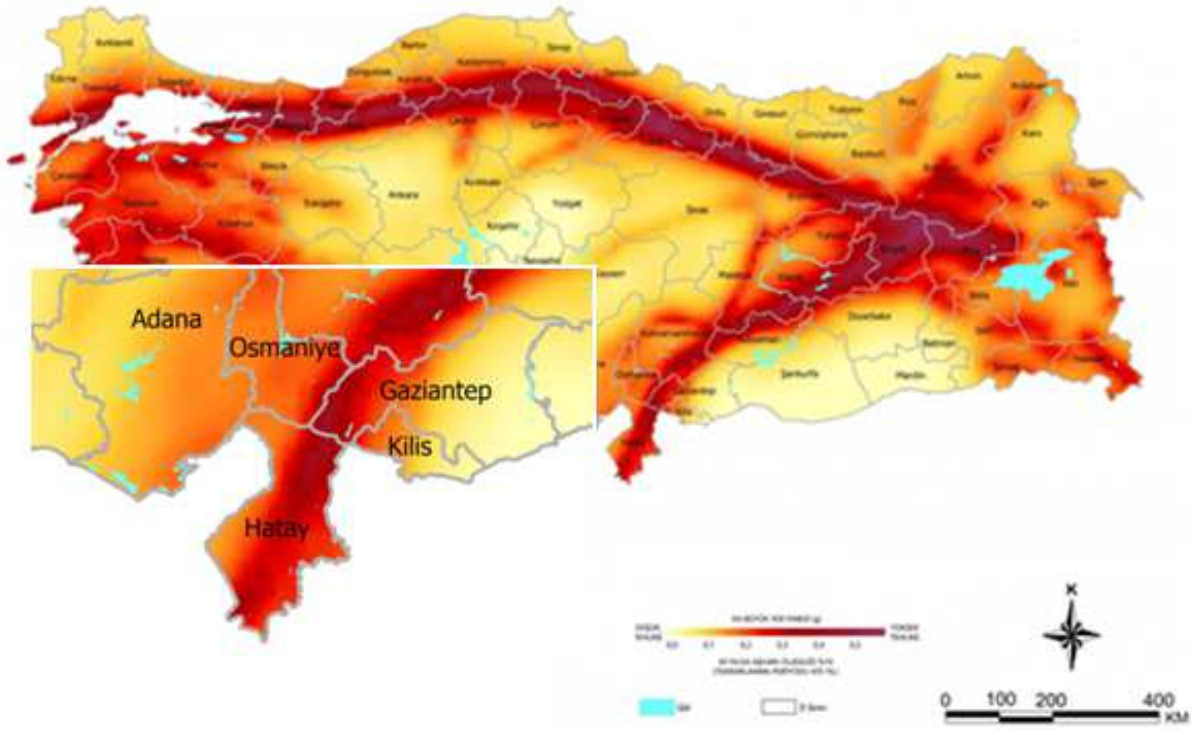


Figure 3-Earthquake hazard map of Turkey and focused map of Hatay

Antakya was founded on the two sides of the Asi River, which emerges from Syria and reaches Antakya, and divides the city into two parts (Figure 4). Geologically, Antakya was located within the Karasu rift, which was developed in two rock series with pre-Pliocene basement. The rock series forming the Karasu rift are Paleozoic terrestrial units and Mesozoic allochonous ophiolitic rock assemblage (Tekeli et al., 1983; Rojay et al., 2001). Plio-Kuvaterner sediments and Quaternary volcanics are located on the Miocene basement. The main fault extends from Türkoğlu to Antakya in the Amanos Mountains (Şaroğlu et al., 1992; Över et al., 2004). The NNE extending segment is approximately 145 km long and is known as the Amanos fault (Lyberis et al., 1992; Över et al., 2002) or Karasu fault (Westaway, 1994). This fault determines the western border of the Karasu valley and the 30 km wide edge of the Amik plain. This section is filled with Plio-Quaternary sediments and has a thickness of more than 1000 m (Perincek and Eren, 1990). The K-Ar, Nd, Sr and Pb isotopic dating studies revealed the Quaternary age determination for basaltic rocks along the Karasu valley (Rojay et al., 2001). Detailed information on the geological conditions close to the surface is of primary importance for understanding the experimentally measured soil magnifications by using earthquakes. The sediments of the Antakya region are mainly alluvium units consisting of clay, sand and gravel (Figure 4).

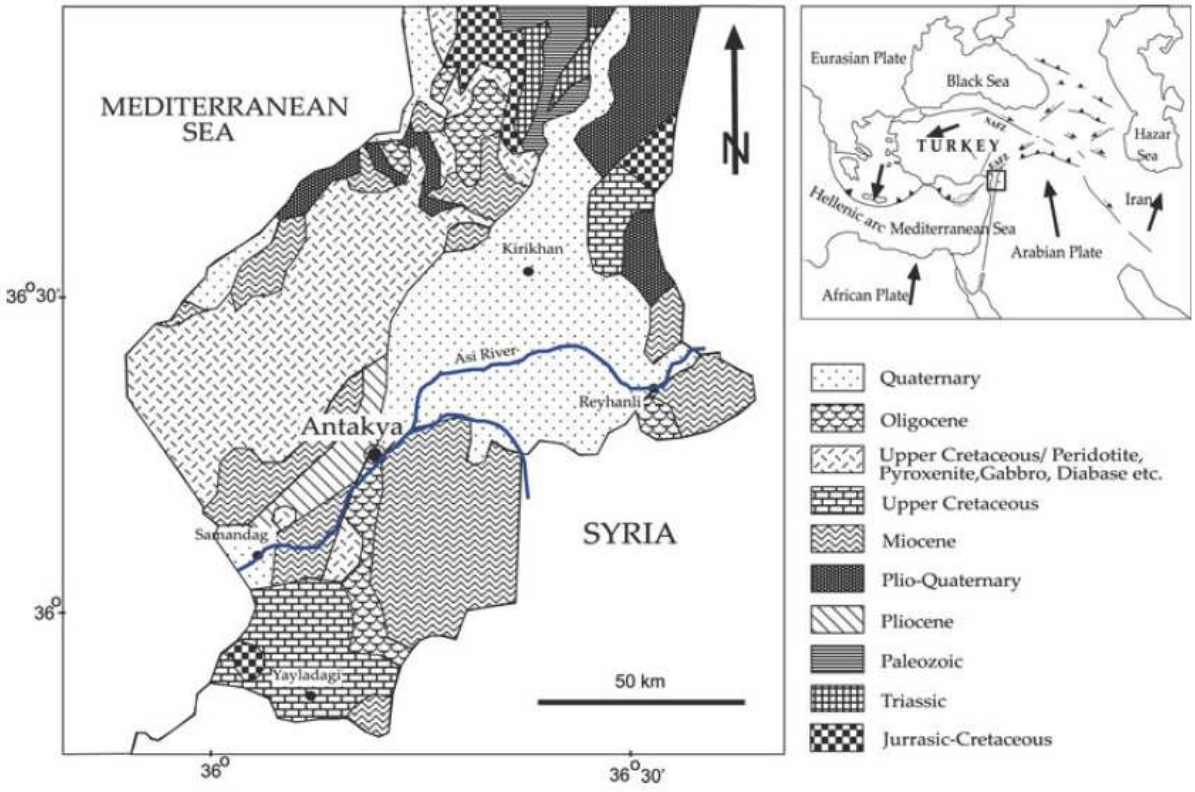


Figure 4-Regional geological map of the study area. Scale - 1/2.000.000 (Över et al., 2011).

In this study, unlike similar studies, not only the seismicity of Hatay and its environs, but also the faults forming the earthquakes which will affect the Hatay are determined.

Therefore, this study is important in terms of the overall hazard and risk of earthquake in a settlement.

2. Seismicity

For statistical analysis of the seismicity probability distributions, G-R (Gutenberg and Richter, 1944) relationship (size and frequency relationship) and Poisson's method were used. Thus, the probabilities and return periods of earthquakes of different sizes in the study area were determined stochastically. The relation of magnitude-frequency is given by the Eq. 1 (Gutenberg and Richter 1944).

$$\log N = a - bM \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Equation 1 refers to the earthquake magnitude of M, N is the number of magnitude M or larger earthquakes in a certain time interval, while the "a and b" coefficients are generally calculated with the least squares method followed by the regression coefficients (Kalyoncuoglu, 2007) (Eq. 2 and 3).

$$a = \frac{\left[\sum_{i=1}^{Nd}\log(Ni)\sum_{i=1}^{Nd}M_i^2 - \sum_{i=1}^{Nd}M_i\sum_{i=1}^{Nd}M_i\log(Ni)\right]}{\left[Nd\sum_{i=1}^{Nd}M_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{Nd}M_i\right)^2\right]} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

$$b = \frac{\left[\sum_{i=1}^{Nd}M_i\sum_{i=1}^{Nd}\log(Ni) - Nd\sum_{i=1}^{Nd}M_i\log(Ni)\right]}{\left[Nd\sum_{i=1}^{Nd}M_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{Nd}M_i\right)^2\right]} \qquad \text{(Eq. 3)}$$

Nd is the M number of earthquakes with M_{min} and M_{max} changing with dm increment. The seismic activity is related to the coefficient a and depends on the study area, the length of the observation period, the greatest seismic size and the intensity of the working area (Allen, 1986, Khan et al., 2011, Akol and Bekler, 2013). The other coefficient of the G-R relationship is the tectonic identification parameter and is indicative of seismic activity and change due to seismicity (Akol and Bekler, 2013).

The Poisson method is used to determine the number of earthquakes that may occur at a particular location and time interval and accepts some assumptions (Kramer, 1996). These assumptions:

1) Earthquakes occurring at a certain time interval are independent of the number of earthquakes occurring in another time period,

2) The probability of an earthquake in a short period of time is directly proportional to the duration of this interval,

3) The possibility of more than one earthquake in a short period of time can be ignored.

The earthquake risk that may occur in the size of M in any region during the T year observation interval can be calculated with the following correlations (Equations 4, 5, 6, 7, 8).

$$a' = a - \log\left(b \ln 10\right) \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$a_1' = a' - \log T \quad \text{(Eq. 5)}$$

$$n(M) = 10^{a_1' - Mb} \quad \text{(Eq. 6)}$$

$$Pr = 1 / n(M) \quad \text{(Eq. 7)}$$

$$Rt = 1 - e^{-n(M)t} \quad \text{(Eq. 8)}$$

In the equations given above, M denotes the magnitude of the earthquake, the annual occurrence of the earthquake of magnitude n(M), the T interval, the recurrence period of Pr, and the Rt is the risk for t year. In this study, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 and 6.5 sizes (Table 1) for 1, 5, 10, 25 and 50 years intervals for t were used (Table 2). In addition, T value was taken as 107 years since the earthquakes occurred between 1900 and 2017. The area used in the seismic hazard analysis study is given in Figure 4. The earthquake data of the instrumental period were downloaded online from the database of the Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Regional Earthquake Tsunami Monitoring and Evaluation Center (url-1). In this study, the largest of the earthquake magnitudes calculated according to different size scales (M_d, M_l, M_S, M_b, M_W) was used (xM).

Table 1- Calculation of *b*-value for Hatay (M≥3.0)

Earhquakemagnitude	**Number of Earthquake**	**Cumulative Total**	**X_i**	**Y_i**	**X_i-X**	**$(X_i-X)^2$**	**(Y_i-Y)**	**$(X_i-X)(Y_i-Y)$**
3.0≤M≤3.5	629	945	3.2	2.975	-1.5	2.25	1.269	-1.9035
3.5≤M≤4.0	184	316	3.7	2.5	-1.0	1.00	0.794	-0.7940
4.0≤M≤4.5	69	132	4.2	2.121	-0.5	0.25	0.415	-0.2075

4.5≤M≤5.0	41	63	4.7	1.799	0.0	0.00	0.093	0.0000
5.0≤M≤5.5	14	22	5.2	1.342	0.5	0.25	-0.364	-0.1820
5.5≤M≤6.0	6	8	5.7	0.903	1.0	1.00	-0.803	-0.8030
6.0≤M≤6.5	2	2	6.2	0.301	1.5	2.25	-1.405	-2.1075

Calculated parameters:

LogN= 5.733-0.857M

Table 2- Seismic risk analysis for Hatay (M≥3.0)

Magnitude	**Recurrence Period**	**Earthquake Risk (Year)**				
		10	***25***	***50***	***75***	***100***
3.0	0.137	%100	%100	%100	%100	%100
4.0	0.986	%100	%100	%100	%100	%100
5.0	7.087	%76	%98	%100	%100	%100
6.0	50.96	%18	%39	%63	%78	%100
7.0	366.4	%3	%7	%13	%19	%24

3. Results and discussions

Earthquake magnitudes reached up to 5.7 in the instrumental period in Hatay. Whereas there were more destructive earthquakes in the historical period. In this study, the frequency of earthquakes was calculated as 0.5 steps in the range of 3.0 to 6.5. The probability of occurrence of the earthquake at a certain magnitude of 1, 10, 30 and 50 years was calculated. Recurrence periods of earthquakes in the range of 3.0 to 6.5 were calculated. a and b coefficients were calculated by using Gutenberg & Richter formula and the seismicity character of Hatay and its surroundings were determined. The tectonic character has been revealed depending on the *b*-value, which is especially the seismogenic factor. Accordingly, *b*-value was obtained as 0.857. This value explains the existence of moderate earthquakes in Hatay and its vicinity. Similar studies were applied to different places in the world by researchers such as Kebede and Kulhanek (1994) for East Africa Rifts, Manakou and Tsapanos (2000) for Girit Island, Erdik vd. (2004) for Marmara Region, Sayıl and Osmanşahin (2008) for West Anatolia, İmamoğlu and Çetin (2007) for Southeast Anatolia Region, Bayrak et al. (2008) for whole Turkey and its environment, Farrell vd. (2009) for West America, Nuannin vd. (2012) for Andaman–Sumatra, Akol and Bekler (2013) for Nortwest Anatolia, Sayıl (2013) for West Anatolia, Bayrak et al. (2015) for East Anatolia Fault Zone, Türker and Bayrak (2015) for East Anatolia Region, Noh (2016) for Korean Peninsula.

Historical catalogues on the study area has been exposed to the more than dozen destructive earthquakes (Ergin, 1967; Soysal, 1981). Tectonic frame of Hatay province shows the activity pursues within it. When the tectonic structure of the region is examined, the East Anatolian Fault, which is the plate boundary fault, the Dead Sea Fault and the Cyprus-Antakya Transform fault converge with each other in the vicinity of Anatolia and form the triple joint point (Över et al., 2004).

The major earthquakes in Hatay occurred along the aforementioned important faults (Över et al., 2004). Even though the region has not been exposed to a major earthquake for nearly 150 years, the tectonic structure shows that destructive large earthquakes in the region can occur in every period. Therefore, doing statistical studies will contribute to the reduction of possible earthquake damages.

KAYNAKLAR

Akol B & Bekler T (2013) Assessment of the statistical earthquake hazard parameters for NW Turkey. *Natural hazards*, *68*(2), 837-853.

Allen JRL (1986) Earthquake magnitude–frequency, epicentral distance, and soft–sediment deformation in sedimentation basins.*Sedimentary Geology*, 46: 67–75.

Ambraseys NN (1970) Some characteristic features of the Anatolian fault zone. *Tectonophysic*s 9:143–165

Ambraseys NN (1989) Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophys J Int* 96:311–331

Bayrak Y, Yılmaztürk A, Koravos G, Leventakis A, Tsapanos TM, (2008) Seismicity assessment for different regions in and around Turkey based on Instrumental data: Gumbel first asymptotic distribution and Gutenberg–Richter cumulative frequency law. *Natural Hazards and Earth System Science*, 8: 109–122.

Bayrak E, Yılmaz Ş, Softa M, Türker T, Bayrak Y (2015) Earthquake hazard analysis for East Anatolian fault zone, Turkey. *Natural Hazards*, 76: 1063–1077.

Erdik M, Demircioğlu M, Sesetyan E, Durukal E, Siyahi B (2004) Earthquake hazard in Marmara Region, Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24: 605–631.

Ergin K, Guclu U, Uz Z (1967) A catalogue of earthquakes of Turkey and surrounding area (11 AD to 1964 AD). Maden Fakultesi, Arz Fizigi Enstitusu Yayınları, Istanbul 24:1–28.

Farrell J, Husen S, Smith RB (2009) Earthquake swarm and b–value characterization of the Yellowstone volcano–tectonic system. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 188: 260–276.

Gutenberg R and Richter CF (1944), Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34, 185-188.

İmamoğlu MŞ, Çetin E, (2007) Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve yakın yöresinin depremselliği. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, 9: 93–103.

Khan, P K, Ghosh, M, Chakraborty, P P & Mukherjee D (2011) Seismic b-value and the assessment of ambient stress in Northeast India. *Pure and applied geophysics*, *168*(10): 1693-1706.

Kalafat D, Bağcı G (2001) Adana ve Dogu Anadolu fay zonunun depremsellik özellikleri. TMMOB, Jeofizik Muhendisleri toplantisi-Adana, pp 36–43.

Kalyoncuoğlu, U Y (2007) Evaluation of seismicity and seismic hazard parameters in Turkey and surrounding area using a new approach to the Gutenberg–Richter relation. *Journal of Seismology*, *11*(2): 131-148.

Kebede F, Kulhanek O, (1994). Spatial and temporal variations of b–values along East African rift system and the southern Red Sea. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 83: 294–264.

Kramer S L (1996) Earthquake geotechnical engineering.

Lyberis N, Yurur T, Chorowicz J, Kasapoglu E, Gundogdu N (1992). The East Anatolian fault: an oblique collisional belt. *Tectonophysics* 204:1–15.

Manakou MV, Tsapanos TM, (2000). Seismicity and seismic hazard parameters evaluation in the island of Crete end the surrounding area inferred from mixed data files. *Tectonophysics*, 321: 157–178.

Noh M (2016) On the Poisson process of the Korean earthquakes. *Geosciences Journal*, 20: 775–779.

Nuannin P, Kulhanek O, Persson L (2012) Variations of b–values preceding large earthquakes in the Andaman–Sumatra subduction zone. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61: 237–242.

Över S, Can Ünlügenç U & Bellier O (2002) Quaternary stress regime change in the Hatay region (SE Turkey). *Geophysical Journal International*, *148*(3): 649-662.

Över S, Kavak K Ş, Bellier O & Özden S (2004) Is the Amik Basin (SE Turkey) a triple-junction area? Analyses of SPOT XS imagery and seismicity. *International Journal of Remote Sensing*, *25*(19): 3857-3872.

Över S, Büyüksaraç A, Bektaş Ö & Filazi A (2011) Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey. *Environmental Earth Sciences*, *62*(2): 313-326.

Perincek D, Eren AG (1990) Doğrultu atımlı Doğu Anadolu ve Ölü Deniz fay zonları etki alanında gelişen Amik havzasının kökeni. Türkiye 8. Petrol Kongresi Bildiri Kitabı, pp 180–192

Rojay B, Heimann A & Toprak V (2001) Neotectonic and volcanic characteristics of the Karasu fault zone (Anatolia, Turkey): the transition zone between the Dead Sea transform and the East Anatolian fault zone. *Geodinamica Acta*, *14*(1-3): 197-212.

Sayıl N (2013) Long-term earthquake prediction in western Anatolia with the time- and magnitude-predictable model. *Natural Hazards*, 66: 809–834.

Sayıl N, Osmanşahin İ (2008) An investigation of seismicity for western Anatolia. *Natural Hazards*, 44: 51–64.

Sieberg A (1932) Erdbeben geographic. In: Gutenberg B (ed) Handbuch der Geophysic, Bands IV. Borntrager, Berlin, pp 527–1005.

Soysal H, Sipahioglu S, Kolcak D, Altinok Y (1981) Turkiyetarihseldepremkatalogu. TUBITAK Project (No: TBAG-341), Ankara.

Şaroglu F, Emre O, Kuscu I (1992) The East Anatolian fault zone of Turkey. *AnnaliTectonicae* VI:99–125

Tekeli O, Erendil M, Whitechuch H (1983) Autochthons, parautochthons and ophiolities of the Eastern Taurus and Amanos mountains: field guidebook. MTA, Ankara.

Türker T, Bayrak Y (2015) Doğu Anadolu Bölgesi ve Civarının Poisson Yöntemi ile Deprem Tehlike Tahmini. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14–16 Ekim 2015, Dokuz Eylül Üniversitesi-İzmir, s: 1–8.

url-1, http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb (24.02.2019)

Westaway R (1994) Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean. *J Geophys Res* 99(B6):12071–12090

Willis B (1928) Earthquakes in the holy land. *Bull Seism Soc Am* 18:73–103.

Antakya Kent Merkezinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışması

Semir ÖVER[1], Aydın BÜYÜKSARAÇ[2], Özcan BEKTAŞ[3], Ahmet FİLAZİ[4]

[1]Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
[2] Department of Geophysical Engineering, Bitlis Eren University, Turkey
[3]Department of Geophysical Engineering, Cumhuriyet University, Turkey
[4] Department of Civil Engineering, Kırıkkale University, Turkey

Emails: semir.over@iste.edu.tr, abuyuksarac@beu.edu.tr, obektas@cumhuriyet.edu.tr, ahmetfilazi@kku.edu.tr

Özet

Depremlerin, bir doğa olayı olarak algılanmaya başlandığı 1900'lü yılların başından günümüze kadar dünya genelinde birçok coğrafyada çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Özellikle büyük depremler yapılarda yıkımlara yol açmış ve çok sayıda can ve mal kaybı oluşmuştur.. Son yıllarda gelişen deprem zararlarının en aza indirgenmesi kavramı çerçevesinde kent planlamaları öncesi zeminlerin deprem duyarlıklarının belirlenmesi ve buna göre kat yükseklikleri, yerleşim planlaması deprem güvenliği önceliğinde gerçekleştirilebilmektedir. Bu amaçla deprem sırasında zemin davranışının düzeyi küçük titreşimler yoluyla ölçülebilmektedir. Kent alanı farklı zemin davranışına bağlı olarak bölgelere ayrılabilmektedir. Böylece depreme en duyarlı bölgelere güvenli yerleşim sağlanabilmektedir. Tüm dünyada mikrobölgeleme adıyla sürdürülen bu çalışmalar yaygınlaşarak sürmektedir. Ülkemizde de uygulama örnekleri olan mikrobölgeleme çalışmalarından biri de Antakya'da gerçekleştirilmiştir.

Zeminin temel titreşim frekansı ile zeminin kalınlığı arasında var olan ters orantılı ilişki alanın sismik zemin tepkisi olarak bilinir. Zeminin kalınlığı mikrotremorlar veya çevredeki gürültünün H/V spektral oranlarıyla ölçülen bu frekanstan doğrudan saptanabilir. Yer etkisinin belirlenmesinde kuvvetli yer hareketi verilerinin olmaması veya kısıtlı sayıda olması durumunda ve sismik olarak az aktif bölgelerde mikrotremor verilerinden yararlanılması ile yer etkisinin belirlenmesi çalışmalarına katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada 3 kanallı sismometre kullanılarak 69 mikrotremor ölçüm yapılmıştır. Ölçümler için H/V spektrum metodu kullanılarak– Antakya için, hakim periyotların dağılım haritası oluşturulmuştur. Baskın –periyodt 0.1->0,5 saniye arasında sınıflandırılarak, Antakya bölge-1, bölge-22, ve bölge-3 farklı bölgelerden oluşturulmuştur

Keyword(s): Mikrotremör ölçümleri, Spektral -H/V oranı,—, Deprem, baskın hakim periyodu Antakya

Abstract

Numerous earthquakes occurred in many geographies around the world since the beginning of the 1900s, when earthquakes began to be perceived as a natural phenomenon. In particular, major earthquakes have led to demolitions in buildings and a large number of life and property losses. In the framework of the concept of minimizing earthquake damages in

recent years, it is possible to determine the earthquake sensitivity of the floors before urban planning and accordingly, floor heights, settlement planning and earthquake safety are prioritized. For this purpose, the level of ground behavior during the earthquake can be measured by small vibrations. The urban area can be divided into regions depending on the different soil behavior. Thus, a secure settlement can be provided to the most sensitive areas. These studies, which are called as microzonation all over the world, are widespread. One of the microzonation studies, which are examples of applications in our country, was carried out in Antakya.

The inverse proportional relationship between the fundamental vibration frequency of the ground and the thickness of the ground is known as the seismic ground response of the field. The thickness of the floor can be determined directly from this frequency measured by microtremors or H / V spectral ratios of surrounding noise. In case of the absence of strong number of ground motion data or not enough and with the use of microtremor data in the seismically less active regions it delivers solution on the studies determining of the ground effect.

The aim of this study is; 69 microtremor measurements were performed using a 3-channel seismometer. The H / V spectrum method was used for the measurements For Antakya, a distribution charts of dominant periods was mapped. The dominant period was classified between 0.1-> 0.5 seconds, and Antakya region-1, region-2, and region-3 were formed from different regions.

Keyword(s): Microtremor measurements H/V spectrum, Earthquake, Dominant periods, Antakya .

1. GİRİŞ

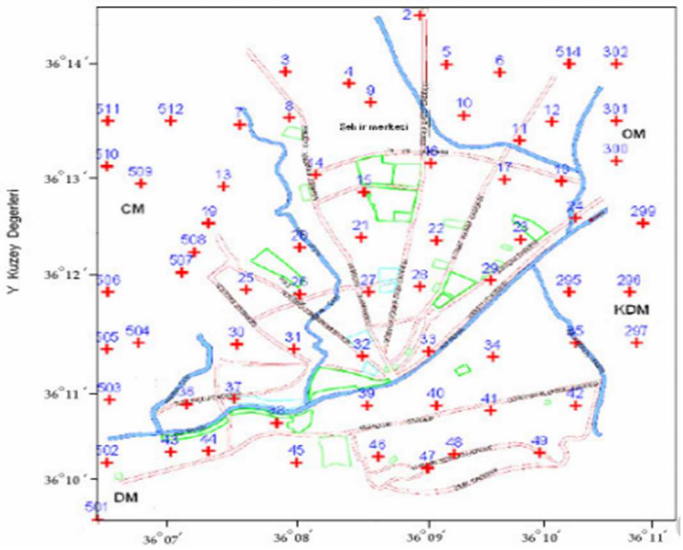
Mikrotremorlar, genlikleri 1/100-1/1000 mm, periyotları ise 0.1-20 sn. arasında değişen küçük titreşimlerdir. Meteorolojik değişimler, deniz dalgaları, rüzgâr veya küçük magnitütlü depremler gibi doğal etkiler ve insan yaşamı ile bağlantılı olarak kültürel hareketlilik sonucunda meydana gelen trafik, endüstriyel gürültü ve benzeri yapay titreşimler mikrotremorların başlıca kaynaklarını oluşturmaktadır. Mikrotremorların deprem mühendisliğinde kullanılmasına yönelik olarak yapılan detaylı çalışmaların başlangıcı 1950'li yıllara dayanmaktadır. Kanai ve Tanaka (1961) gerçekleştirdikleri mikrobölgeleme analizin deyerel dinamik zemin özelliklerini belirlemek amacı ile kullanılabilirliği konusunda ilk detaylı çalışmayı başlatarak mikrotremorların geoteknik, deprem mühendisliğinde kullanılmasına öncülük etmişlerdir. Bu çalışmada temel zemin sınıfının tanımlanmasına katkıda bulunmuşlardır. Tanımladıkları 4 temel zemin sınıfının her biri farklı farklı mikrotremör özelliklerine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Nakamura vd. (1989) yaptıkları çalışmada tek istasyonda yatay/düşey bileşen oranı (H/V) yaklaşımını geliştirerek mikrotremör verisini mühendislik sismolojisinde yaygın kullanımına öncülük etmişlerdir. bu yöntem ile gerek dünyada gerekse ülkemizde geoteknik mühendisliğine katkı sağlayacak çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Chavez and Garcia, 1996; Bour et al., 1998; Çetinol, 2003; Coşkun et al., 2007; Utku vd, 2011). Yapılan çalışmalar zeminin titreşimi sonucu ortaya çıkan sıvılaşma ile zeminin baskın titreşim frekansları arasında bir ilişki olduğunu ve böylece yüksek sıvılaşma riski taşıyan bölgelere de uygulanabileceğini ileri sürülmüştür (Aşçı vd., 2005).17 Ağustos 1999 İzmit depreminden sonra, İstanbul ili Avcılar ilçesi sınırlarında yer alan Avcılar Kampüsü Mühendislik Fakültesi binası güçlendirme ve tamirat sürecine girmiş olup, binanın hâkim titreşim periyodu

değişimiölçülmüştür. Yapının titreşim frekansını belirleyebilmek ve zemin yapı etkileşiminin ortaya konulması amacıyla bir dizi mikrotremor ölçümü yapılarak fakülte binasının salınım periyodunu yatay/düşey spektral oran tekniği ile belirlenmiştir (Karabulut ve Özel, 2009). Tekbaş ve Yalçınkaya (2011) yaptıkları çalışmaların sonucunda zemin sıvılaşmasının yaşamsal yapılar ve bina temelleri için hasarların başlıca nedenlerinden biri olduğunu söylemişlerdir.
Bu çalışmada; 3 kanallı sismometre kullanılarak deprem açısından riskli Antakya'da Nakamura'nın H/V yöntemi uygulanmış ve hakim periyot dağılım haritasının oluşumuna katkı sağlanmıştır.

2. Veri Analizi ve Metot

Çalışma, farklı alanlarda mikrotremor ölçümleri kullanılarak Antakya'nın mikrobölgelemesine odaklanmıştır. Çalışma alanı, 35º 30' – 36º 30' K enlemleri ve 35º 30'-36º 30' D boylamları arasındadır. Çalışma sırasında farklı alanların baskın titreşim periyodunu hesaplamak için gerçekleştirilen ölçümlere H/V spektrum analizi uygulanmıştır. Mikrotremor analizi sonuçlarına dayalı olarak şehrin mikrobölgeleme haritası oluşturulmuştur.



Şekil 1.Çalışma alanındaki mikrotremör ölçülerini gösteren yerbulduru haritası (Ölçek: 1/5000)

Mikrotremor ölçümleri, hareketli mikrotremor donanımı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada GURALP marka CMG-6TD modeli üç bileşenli hız sismometresi ve ekipmanı ile yapılmıştır. Sismometrenin doğal periyodu 1 saniyedir. Ayrıca sismometrenin zaman ayarı yine GPS ile yapılmıştır (Şekil 2).

Şekil 2. Çalışma alanının kullanılan cihazlar.

Nakamura, (1989) alan karakteristikleri için mikrotremorların analizinin H/V spektral oranıyla yapılması yöntemini tanıtan ilk çalışmayı yapmıştır. Bu yöntemde mikrotremorların yatay-düşey oranı Fourier spektrumu, kaynak etkisini elimine etmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, H/V Fourier spektrumu duraylı bulunmakta ve dalgaların yolu kaynak tarafından etkilenmemektedir. H/V mikrotremor analiz yönteminde, mikrotremorların yatay ve düşey bileşeni tek bir istasyonda referans ölçüsüne ihtiyaç duyulmaksızın ölçülmüştür.. H/V spektrum çizimleri, yatay ve düşey bileşenlerin Fourier spektrumlarının oranını alarak elde edilmektedir. Mikrotremor ölçümleri için H/V spektrumu eşitlik 1 ile elde edilebilir. H/V spektrum= Düşey Bileşenin Fourier Spektrumu (H) Yatay Bileşenin Fourier Spektrumu (H) Vs(1) H/V oranının duraylılığı, alan karakteristiklerini saptamak için uygulanabilirliğini göstermiştir.

.

3. Mikrotremor Verisinin H/V Oranı Spektrumu

Bütün ölçümlerde örnekleme frekansı 100 Hz. olarak oluşturulmuştur. Mikrotremorlar üç bileşenli bir hız sismometresi ile ölçülmüştür. Değerlendirme sırasında Çetinol (2003) tarafından hazırlanan MATLAB programlama dilinde yazılmış bilgisayar programı kullanılmıştır. Verilerin pencere uzunluğu genellikle 20 saniye ve daha uzun olmuş, 10 saniyeden daha kısa pencere uzunluğu seçilmemiştir. İki yatay Fourier spektra ve düşey Fourierspektranın oranı aşağıda verilen bağıntı yardımıyla hesaplanabilmektedir.

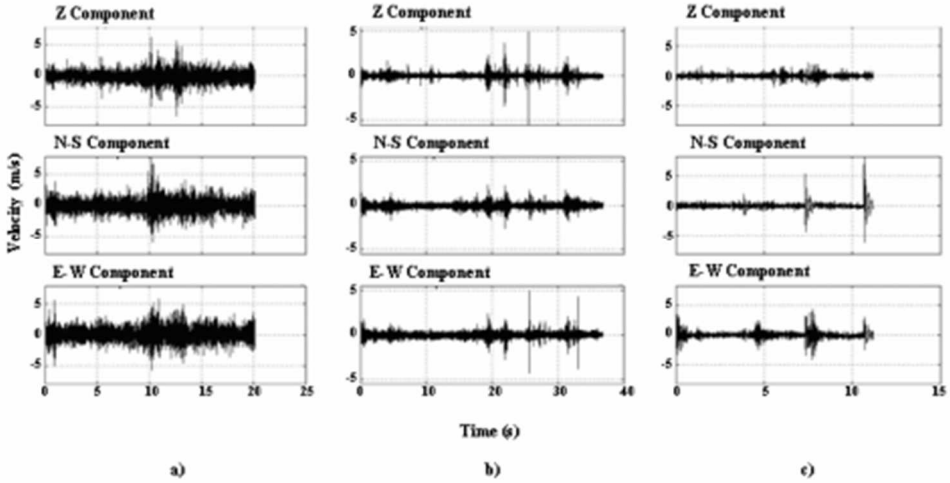
$$r(f) = \frac{\sqrt{(F_{NS}(T))^2 + (F_{EW}(T))^2}}{F_{UD}(T)}$$

Burada r(f), yatay ve düşey spektrumların oranını (H/V), F_{NS}, F_{EW} ve F_{UD} Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Düşey yönlerdeki Fourier spektrumlarını ifade etmektedir. Ölçümlerin tamamı değerlendirilerek, her bir ölçü noktasına ait benzer hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu her istasyonda H/V- Frekans eğrileri doğrusal olarak çizdirilerek baskın frekans ve periyod değerleri elde edilmiştir.

Ölçü süresi beş dakika (300 saniye) olarak ayarlanmıştır. Ölçüler, sonuçların duraylılığını kontrol etmek için aynı anda 2 ölçü paketi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ölçü noktaları arası mesafe 500 metre olarak alınmıştır (Şekil 1).

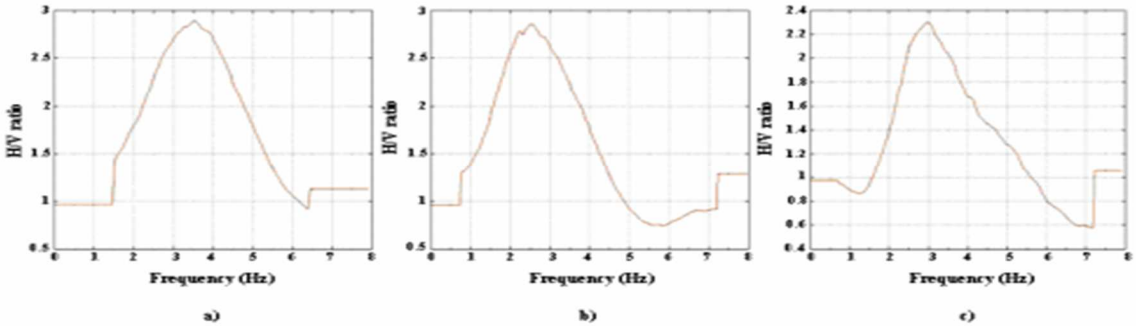
Parzen penceresi kullanılarak, 10, 16 ve 28 no'lu ölçülere ait örnek veriler. Şekil 3'dea, b ve c'de gösterilmektedir. Çalışma alanında yapılan tüm mikrotremor ölçülerine Parzen penceresi uygulanarak gürültüler verilerden uzaklaştırılmıştır. Bu şekilde sinyal oranı artırılmış veri grubu oluşturulmuştur. Veriler iki ayrı zaman diliminde alınmış olup,veri kayıt süresi en az 5 dakika olmuştur.

4. Araştırma Bulguları ve Sonuçlar



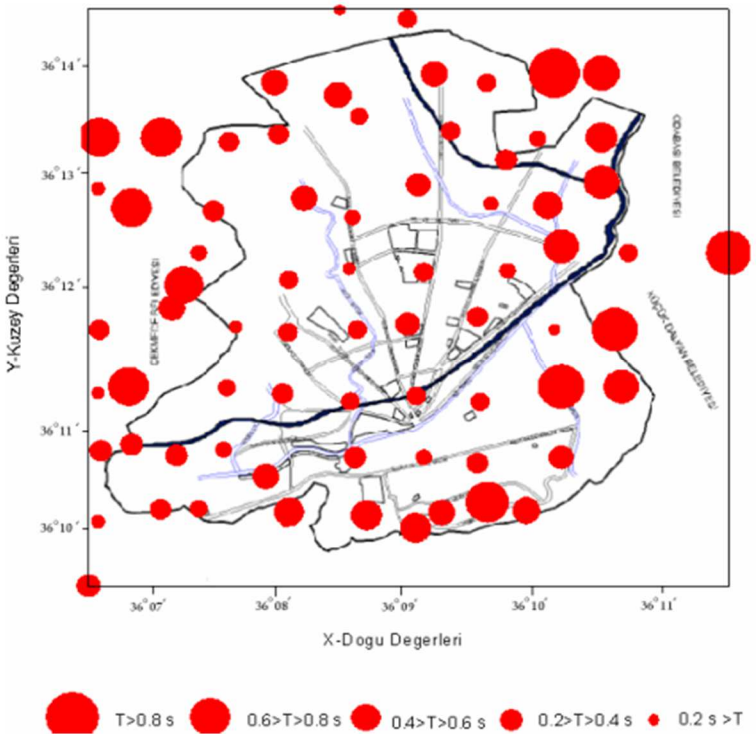
Şekil 3. Parzen süzgeçlemesi *a)* 10 no'lu ölçü *b)* 16 no'lu ölçü ve *c)* 28 no'lu ölçü

Hesaplamalar sonucu her istasyonda H/V- Frekans eğrileri doğrusal olarak çizdirilerek baskın frekans ve periyot değerleri elde edilmiştir. Örnek olarak 10, 16 ve 28 no'lu istasyonlara ait eğriler, Şekil 4'degösterilmektedir. Her bir istasyona ait baskın titreşim periyot değerleri çalışma alanı haritası üzerinde işaretlenerek alanın genelinde baskın titreşim periyot dağılımı elde edilmiştir.



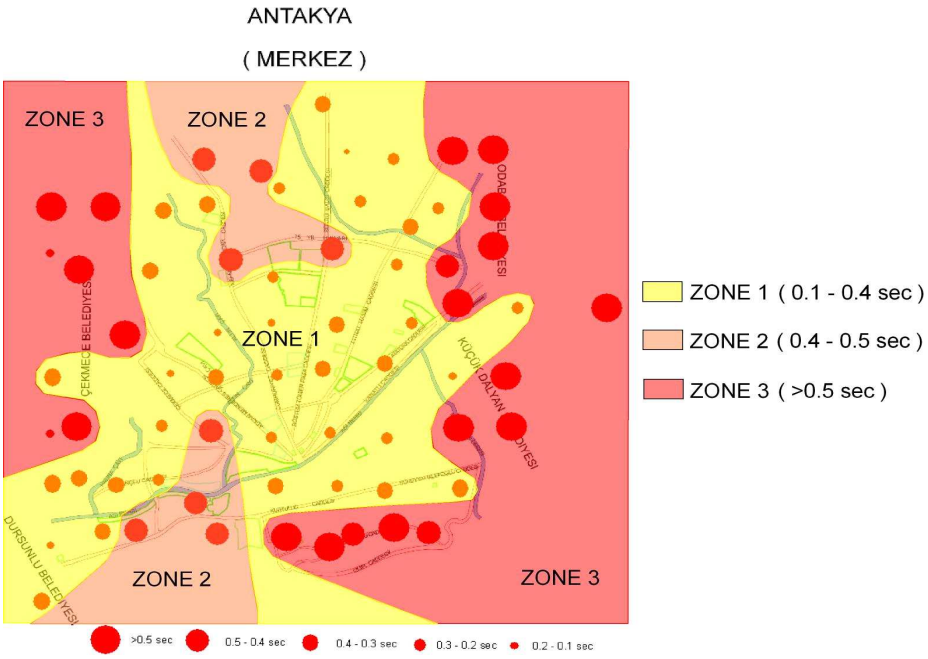
Şekil 4. H/V spektrum eğrileri a) 10 no' lu istasyon b) 16 no'lu istasyon c) 28 no' lu istasyon

Hatay'da hakim periyot değişimi de Şekil 5'de gösterilmiştir. Periyot oranları 0.1 saniye ve 0.3 saniye, Hatay'ın orta parça etrafındaki SE-NW yönde. Periyot oranları 0.3'den ve 0.5 saniye, Hatay'ın güney ve kuzey batıdaki parçasıdır. Periyotlar asi nehrinin güneyinde ve Altınçay'ın kuzey parça alanında önemlidir.



Şekil 5. Çalışma alanının baskın titreşim periyodu dağılımı.

Jeoloji ve jeofizik çalışmalar yüzey jeolojisinin kil ile çakıl, silt ile kum, kum ile kil ve kum ile çakıl gibi toprak sınıflandırılmaları olarak verilmiştir. Değerlendirmede Antakya şehri için yerin baskın periyoduna göre üç bölge içinde bölümlendirilmiştir. Bunlar; Bölge 1 olarak, "Baskın periyot 0.3 saniyeden daha kısa" Bölge 2 olarak, "Baskın periyot 0.3 saniyeden 0.5 saniyeye" ve Bölge 3, "Baskın periyot 0.5 saniyeden daha yüksek" olarak Şekil **6** da gösterildiği gibi Antakya iline ait mikro bölgelendirme haritası çıkarılmıştır.



Şekil 6. Antakya ili merkez yerleşimine ait mikrobölgeleme haritası.

Mikrotremor verileri ışığında elde edilen baskın titreşim dağılım haritası incelendiğinde zeminin sarsıntı duyarlılığının genellikle Asi Nehri'nin güney-güneybatısında beklenenin aksine düşük olduğu, ayrıca Antakya'nın çevresinde sarsıntı duyarlılığının oldukça fazla olduğu görülmüştür.Çalışma alanında yapılacak yapıların ya da imara açılacak alanların "İmara Esas Geoteknik Etütler" gerçekleştirildiğinde mikrotremör çalışmaların göz önünde bulundurulması deprem zararların en aza indirgenmesi açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

Aşçı, M., Özçep, F., Çetinol, T., Alpaslan, N., Irmak, S., Ulutaş, E., Güven, İ.T., Tunç, B., Tunç, S., Çaka, D., Yas, T., Efeoğlu, E., Barış, Ş. Ve Özer, M.F., 2005. Zemin Sıvılaşması İle Mikrotremor Çözümleme Sonuçlarının Karşılaştırılması, Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, 1140

Bour, M., Foussiac, D., Dominique, P., Martin.C. 1998. On the use of microtremor recordings in seismic microzonation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, (17). 465-474.

Chavez-Garcıa, F.J., Cuenca, J., Sanchez-Sesma, F.J., 1996. Site Effects in Mexico City Urban Zone. A Complementary Study, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, (15), 141-146.

Çetinol, T. [2003] "İzmit ve civarının zemin özelliklerinin mikrotremor ölçümleriyle belirlenmesi" MScthesis (Unpublished)

Çoşkun, T., Pınar, A., Yüksel, F.A. ve Çoşgun, A., 2007. Mevcut Yapıların Deprem Riski Analizinde, Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Örnek Bir Mikrotremor Çalışması, Kocaeli 2007 International Earthquake Symposium, 22-26 Ekim 2007,37-45

Filazi, A., 2008. Mustafa Kemal Üniversitesi İnşaat Müh. Anabilim Dalı; Antakya ve Yakın Çevresinin Mikrotremor Yöntemi İle Yer Etkisinin İncelenmesi. Antakya, Yüksek Lisans Tezi –

Kanai, K., Tanaka, T. 1961. On Microtremors 8th Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 39; 97-114.

Kanai, K., Tanaka, T.1961. On Microtremors VIII, Bulletin of EarthquakeRes. Inst., Un. of Tokyo, (39), 97- 114.

Karabulut, S., Özel, O., Özçep, F., 2009. Deprem Tehdidi Altındaki Mühendislik Yapılarının Hâkim Titreşim Periyotlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Seçenek: Mikrotremor Yöntemi Ve Örnek Uygulaması, New World Sciences Academy, 4:3, 428-441

Nakamura Y.,1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation ofSubsurface Using Microtremor On

Nakamura, Y. [1989] "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI) 30 (1).

Tekbaş, S., Yalçınkaya, E., 2011. Mikrotremor Verilerinde Güvenilir H/V Eğrisi ve Belirgin T0 Niteleme Koşulları, Ankara 2011 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, 1-8

Utku, M., Akgün, M., Özden, G., Gürler, M. ve Özdağ, Ö.C., 2011. Mikrotremor Verisini Değerlendirmede Özel Durumlar, Ankara 2011 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, 1- 10

KONARLI'DA (İSKENDERUN) SIVILAŞMA ÇALIŞMASI

SOIL LIQUEFACTION IN KONARLI (ISKENDERUN)

Adem TOKTANIŞ[1] ve Semir ÖVER[2]

[1,2]Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
Emails:[1]Adem.toktanıs@iste.edu.tr, [2]semir.over@iste.edu.tr

ÖZET

Zemin sıvılaşması, depremlerde meydana gelen hasarların en önemli etkenlerden biridir. Türkiye gibi dünyanın pek çok ülkesinde yıkıcı depremler sonucunda oluşan hasarlarda sıvılaşmanın etkisi büyük olmuştur: 1964 Niigata (Japonya), 1964 Alaska (ABD), 1999 Kocaeli, (Türkiye), 1999 Chi – Chi (Tayvan) depremleri. Zemin sıvılaşma olayının tedrici olarak görüldüğü 1964 Niigata depremi öncesine kadar zemin deprem ilişkisinin önemi iyi kavranmamıştı. Söz konusu depremden sonra Japonya'da 1964 Alaska depreminden sonra ABD ve dünyada 1999 Kocaeli depreminden sonra Türkiye'de Deprem-zemin ilişkisi daha iyi kavranmış ve zemin araştırmaları önemli bir ivme kazanmıştır.

Zeminlerdeki gevşeme veya sıvılaşma; zeminin gözenek boşluk oranı, boşluklardaki kil veya diğer parçacık miktarına ve drenajın kısıtlı olmasına bağlıdır. Depreme bağlı gelişen ani zemin titreşimleri yeraltının su seviyesinin yüksek olduğu alanlarda sıvılaşmaya neden olacaktır. Sıvılaşmanın zeminde oluşturacağı deformasyon büyüklüğü materyalin gevşekliğine, kalınlığına, kapsadığı alan ve eğimine bağlı olmakla birlikte üzerine konuşlanmış yapılar nedeniyle zemine uygulanan yükün dağılımı ve depremin süresine bağlıdır.

Zeminin gevşek ve su seviyesinin yüksek olduğu İskenderun körfezinde yer alan Konarlı'da her lokasyonda 20 metre derinliğine kadar birer olmak üzere toplam 2 adet zemin sondaj kuyusu açılmıştır. Her iki lokasyonun da iki tabakadan oluştuğu ve hakim zemin sınıfının siltli kum (SM) olduğu görülmektedir. Doğal su içeriği %24,4-26,5 aralığında, kıvam limitleri non plastik ortalama doğal birim hacim ağırlığı 1.80 g/cm^3 olan SM sınıfı zemine sahip inceleme alanında hesaplanan ortalama zemin taşıma gücü 0.79 t/m^{2}dir. Aynı zemin gerçekleştirilen SPT deneyleri sonucunda sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu saptanmıştır. Büyüklüğü M=6.0 ve M=7.5 olası deprem için hesaplanan ortalama güvenlik faktörü "1" değerinden küçük sıvılaşma açısından riskli bölgeyi işaret etmektedir.

Anahtar Kelime: Sıvılaşma potansiyeli, sıvılaşma faktörü, taşıma gücü, İskenderun

Abstract

Soil liquefaction is one of the most important factors in the damage caused by earthquakes. The effect of liquefaction damage in many countries in the world as a result of the devastating earthquake in Turkey has been great as:1964 Niigata (Japan), 1964 Alaska (USA), 1999 Kocaeli (Turkey), 1999 Chi - Chi (Taiwan) earthquake. Until the 1964 Niigata earthquake, where the ground liquefaction event was seen as gradual, the importance of the ground earthquake relationship was not well understood. After the earthquake, he said after the 1964 Alaska earthquake in Japan, the US and the world after the 1999 Kocaeli earthquake in Turkey was to better understand earthquakes and ground-floor relations research has gained significant momentum.

Soil loosening or liquefaction; The pore velocity of the ground depends on the amount of clay or other particles in the cavities and the limited drainage. Sudden ground vibration caused by earthquakes will cause liquefaction in areas with high water level. The magnitude of the deformation on the ground depends on the material's slackness, thickness, area and inclination of the material, and it depends on the distribution of the load applied to the ground and the duration of the earthquake. In the field observations made in the area of Konarlı in the Gulf of Iskenderun, where the soil is loose and the water level is high, it is composed of Quaternary alluviums including silt and sandy levels of the ground.

In the study area, a total of 2 ground boreholes were opened at each location in a depth of 20 meters. The information in the well is as follow. It was determined that the first part of the soil, sandy silt up to 4 meters and the silty clayey - silty - silty sandy beach up to 20 meters. In the measurement location, collection was performed and analyzed in the laboratory. Sieve analysis on the computer in the virtual environment of 17.38% - 21.42% of the silt containing silt, the floor appeared to be composed of sand. It was determined that the water potential was 24.6% -12.5% and the liquefaction potential was high as a result of the SPT experiments in the study area with SM average class weight 1.80 g / cm3.The average bearing power of the ground was calculated as 0.79t/m^2. For earthquakes in magntude M = 6.0 and M=7.5 the average safety factor calculated for the earthquake is less than "1" and calculated where it is at risk.

Key words: liquefaction potantial, liquefaction factor, ground bearing strength, Iskenderun

Giriş

Depreme bağlı olarak gelişen sıvılaşma boyunca ortaya çıkan deformasyonlar, yapıları ciddi hasarlara uğratacak kadar büyük olabilir. sıvılaşan zeminler oldukça gevşektir. Zeminlerin bu özelliği zeminin gözenek boşluk oranı, söz konusu boşluklardaki kil veya diğer parçacık miktarına ve drenajın kısıtlı olmasına bağlıdır. Bu etkiler göz önüne alındığında zeminde ani titreşim (deprem) sıvılaşan bir hareketlilik durumunu doğuracaktır. Sıvılaşmayı takiben zeminde oluşabilecek deformasyonun miktarı, materyalin gevşekliğine, kalınlığına, sıvılaşan tabakanın zeminde kapsadığı alana, zeminin eğimine, bina ve diğer yapılardan kaynaklanan yükün dağılımıyla birlikte depremin süresine bağlıdır. Deprem esnasında yayılan dalgalar boşlukları dolduran suyun uyguladığı kuvveti ile birlikte tanelerin dengesini bozarak birbirlerinden ayrılmasına neden olur. Böylece, zemin dayanıksız bir hale gelerek sıvılaşma olayı geçekleşir (Youd, 1992).

Bu çalışmada, Hatay İli İskenderun İlçesi Konarlı alanında (Şekil 1) 2 ayrı lokasyonda zemin sondajı açılmış olup, SPT deneyi gerçekleştirilmiştir. Her lokasyondan numuneler üzerinde gerçekleştirilen analizler ile zemin taşıma gücü hesaplanmış ve sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır.

Şekil 1. Konarlı (İskenderun) bölgesinde açılan sondaj kuyu yerleri

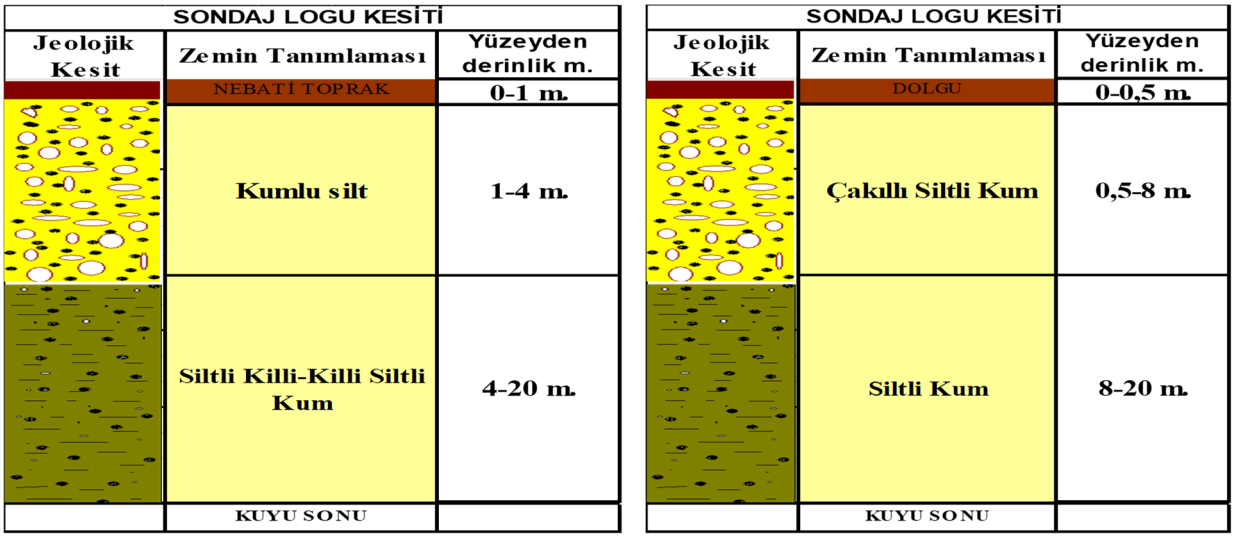
Materyal ve Metod

Şekil 1. de gösterilen lokasyonlarda sondaj çalışması yapılmış olup, elde edilen değerler ile sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Ayrıca zemin taşıma gücü hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu arazilerde elde edilen değerler SPT yöntemi ile belirlenmiştir. Sondaj çalışmalarında, her lokasyonda bir adet sondaj kuyusu açılmış olup, ortalama 20 metre derinliğe inilmiştir. Yüzeyden derine doğru sondaj loğu Şekil 2'de verilmiştir.

Arazi çalışmaları zemin etüt sondajı ile yapılmıştır. Zemin etüd sondajı Aguer ile yapılmış olup Standart penetrasyon testi SK1 kuyusunda 2 adet, SK2 kuyusunda 2 adet olmak üzere farklı derinliklerde uygulanmıştır. Zemin etüd sondajında kullanılan tijler54 mm BW tip,

Samplerler yarıklı ikiye ayrılabilen tip,darbefılanşı, augerler89 mm ve karotiyer NWG tip olup Amerikan standardıdır.

Numuneler TSE kalite belgeli Bayındırlık ve İskân Bakanlığı onaylı bayındırlık KALİTE KONTROL zemin ve yapı laboratuarında analiz edilmişlerdir. Numuneler üzerinde elek analizi, su içeriği, attenberg limitleri deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda zemin tanımlaması ve düşey jeolojik kesit Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kuyu sondaj loglarını göstermektedir. Sol taraf SK1, sağ taraf ise SK2 log verilerinden elde edilen kesitleri göstermektedir.

SK1 ve SK2 kuyularından elde edilen numunelerin laboratuvar analiz sonuçları çizelge 1'de verilmiştir. Burada önemli olan 10 nolu eleğin göz açıklığı ilgili standartlarda 2mm olup, 2 mm'nin altı kum olarak sınıflandırılmaktadır. 200 nolu elek ise ilgili standartlarda 0,075 mm olup elek altı malzeme atterberg limitleri deneyinde kullanılmaktadır. Ayrıca zemin tipinde S, kum; M, silt; G, çakıl; C, kil demektir. Çizelge 1. de görüldüğü gibi zeminin plastik olmayan (NP) siltli kumdur (SM).

Çizelge 1. Araziden alınan numunelerin deney sonuçları

NUMUNE LABARATUAR SONUÇLARI									
Lokasyon (sondaj)no	Derinlik	Doğal Birim Hacim Ağırlığı	Su İçeriği	10 Nolu elekten geçen	200 nolu elekten geçen	Atterberg limitleri			Zemin Tipi
	(m)	(g/cm^3)	(%)	(%)	(%)	LL	PL	PI	SM
SK-1	1 - 4 .	1,8	26,5	83,99	17,38		NP		SM
SK-1	4 - 20.		24,4	84,07	21,42		NP		SM
SK-2	0,5 - 8.		26	85,03	20		NP		SM
SK-3	8 - 20.		26,4	84,65	21,96		NP		SM

N darbe sayıları, zeminin rölatif yoğunluğunun yanı sıra deney derinliğindeki efektif gerilmeye de bağlıdır. Efektif gerilme, efektif jeolojik gerilme ile temsil edilir. Aynı göreceli yoğunluğa sahip bir kum, farklı derinliklerde farklı N değerleri verir bu nedenle bir düzeltme yapılır. Düzeltme katsayısı C_N Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen bağıntı [1] ile yapılır.

$$N' = C_N * N \quad [1]$$

Burada N' jeolojik gerilme düzeltmesi, C_N derinlik düzeltme kat sayısı, N ise SPT darbe sayısıdır. C_N katsayısı aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$C_N = 0.85 \log (145/\sigma_{vo}') \quad [2]$$

σ_{vo}' efektif düşey gerilmedir.

SPT testinde zemine doğru çakma işlemi esnasında bir miktar su zeminden uzaklaşamayacağından zeminin direncine etki eden negatif bir basınç oluşacaktır.. Bu etkiyi göz önüne alarak Terzaghi ve Peck (1948) aşağıda önerdiği bağıntıyla yeraltı suyu etki düzelmesini (N") önermiştir:

$$N'' = 15 + 0.5*(N-15) \quad [3]$$

Sıvılaşmanın en iyi görüldüğü kumlu zeminler için net zemin taşıma gücü (qnet)'nün hesabı için Peck ve ark. (1974) aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir. Burada Cw su düzeltmesi olup 0,5 alınmaktadır (Ulusoy 2001).

$$q_{net} = 0.11*N''*(Cw) \quad [4]$$

Seed ve İdris (1971) yaptıkları çalışmada deprem sırasında zemin tabakasında oluşacak dinamik kayma gerilme oranlarının (DKGO) hesabı için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$\text{DKGO} = \left(\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{v0}}\right) = 0{,}65 \left(\frac{a_{max}}{g}\right)\left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}\right) r_d \quad [5]$$

$$r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot h \quad (h \leq 9.15\ m) \quad [6]$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot h \quad (9.15\ m < h \leq 23.00m) \quad [7]$$

$$\sigma_{vo} = \gamma.h \quad [8]$$

$$U = \gamma.h - (h - h_s).\gamma_s \quad [9]$$

$$\sigma'_{vo} = \sigma_{vo} - U = \gamma.h - (h - h_s).\gamma_s$$

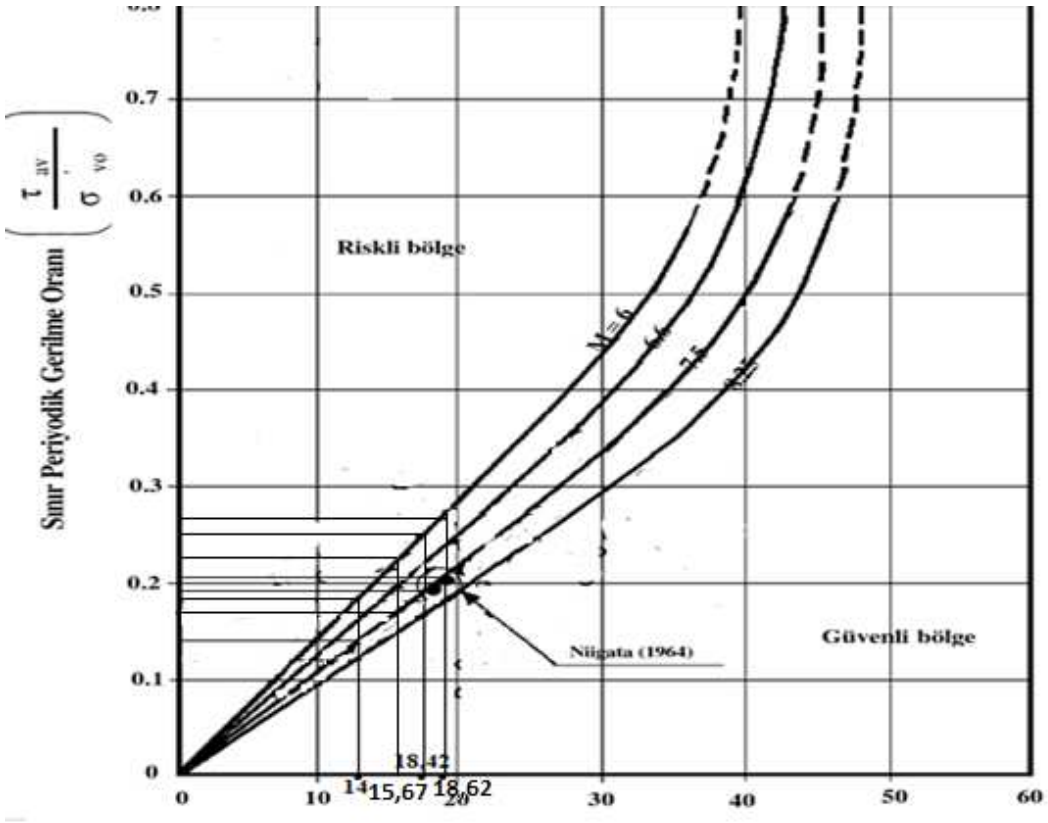
Burada; a_{max} depremin zemin yüzeyinde oluşturduğu en büyük yatay yer ivmesi depremin zemin yer ivmesidir. τ_{av} ortalama çevrimsel kayma gerilmesi (zeminde sıvılaşmanın başlayabilmesi için gerekli periyodik sınır kayma gerilmesi t/m^2); σ_{vo} göz önüne alınan derinlikteki toplam düşey gerilme (zeminde oluşabilecek ortalama kayma gerilmesi (t/m^2), σ_{vo}' efektif düşey gerilme (aynı zeminde belirli bir depremin meydana getireceği ortalama kayma gerilmesi (t/m^2), r_d ise efektif gerilme azaltma katsayısıdır. Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak elde edilen parametreler Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca yeraltı su seviyesi her iki lokasyonda da 1,5 metredir.

Çizelge 2. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için hesaplanan parametreler

Lokasyon (Sondaj) No	SPT-N	Derinlik (h ,m)	düşey gerilme (ton/m^2)	Efektif düşey gerilme (ton/m^2)	Düzeltme katsayısı CN	SPT-N'	SPT-N''	Qemn (ton/m^2)
SK1-D1	13	3	4,625	3,125	1,42	18,42	14	0,77
SK1-D2	14	4,5	6,95	3,95	1,33	18,62	14,5	0,80
SK2-D1	12	6	10,65	6,15	1,17	14,00	13,5	0,74
SK2-D2	15	9	16,05	8,55	1,04	15,67	15	0,83

Sıvılaşma Güvenlik Faktörü (F)

Sıvılaşma Güvenlik Faktörü (F) Şekil 3'de verilen Seed ve İdris (1981) tarafından önerilen grafik yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3. Sınır periyodik gerilme oranı, M=6.0 ve M=7,5 büyüklüğündeki depremler için belirlenen DKDO değerleri. (Seed ve İdris (1981)'den değiştirilmiştir).

Aşağıdaki formülle hesaplanan F güvenlik faktörü aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$F = \frac{DKDO}{DKGO} = \frac{\text{dinamik kayma direnç oranı,}}{\text{dinamik kayma gerilme oranı}}$$

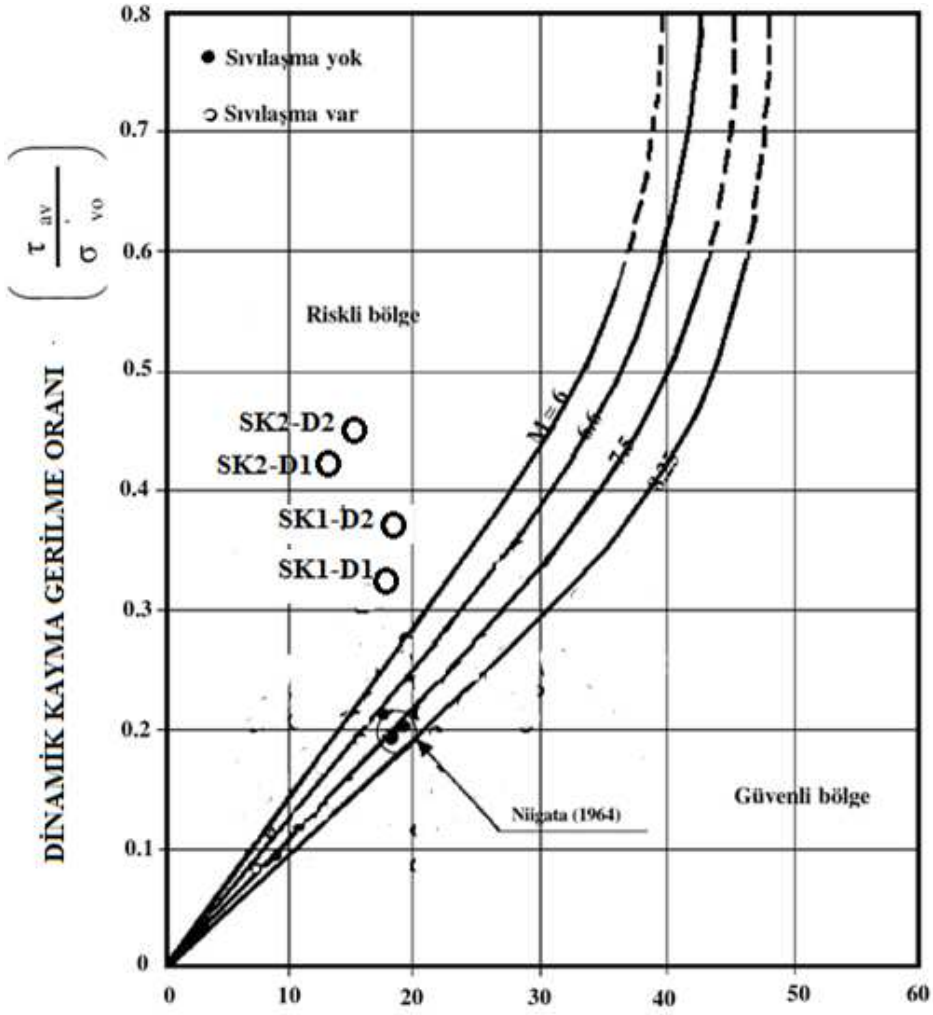
Şekil 3'de verilen grafik yardımıyla öngörülen deprem büyüklüğüne bağlı olarak (M=6.0 ve M=7.5) düzeltilmiş SPT-N' değerine karşılık gelen Sınır Periyodik Gerilme Oranı (DKDO) saptanarak F değerleri hesaplanmaktadır. Hesaplanan F değeri; F≤ 1 değerleri için sıvılaşma riskinin olduğu, F>1 için ise sıvılaşma riskinin olmadığı anlamını taşımaktadır. DKGO yani dinamik kayma gerilme oranı ise yukarıdaki bağıntılar ile hesaplanarak yukarıdaki F bağıntısında yerine konularak F değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan parametreler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Sıvılaşma potansiyeline ilişkin parametreler

Lokasyon (Sondaj) No	SPT-N	Derinlik (h ,m)	Efektif gerilme azaltma katsayısı rd	a_{max}	DKGO	DKDO m=6.0 için	F değeri m=6.0 için	DKDO, m=7,5 için	F değeri m=7,5 için.
SK1-D1	13	3	0,83	0,4	0,32	0,27	0,75	0,127	0,4
SK1-D2	14	4,5	0,80	0,4	0,37	0,28	0,76	0,13	0,35
SK2-D1	12	6	0,95	0,4	0,43	0,2	0,46	0,125	0,29
SK2-D2	15	9	0,93	0,4	0,45	0,22	0,49	0,14	0,31

Tartışma ve Sonuçlar

SK1, SK2lokasyonlarında yapılan SPT deneyleri ve alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen labaratuvar analizler zeminin siltli-kum ağırlıklı olduğu belirlenmiştir. SK1lokasyonunda ilk 4 metre siltli kum 4-20 metre arasındaki derinlikteki ikinci katmanın siltli-killi kum ile killi-siltli kum danoloştuğu saptanmıştır. SK2 lokasyonunda da aynı derinliklere iki tabaka ile ulaşıldığı ve 8 metre kalınlığındaki üstteki tabakanın çakıllı-siltli kumdan oluştuğu onu takip eden sonraki katmanın siltli kumdan oluştuğu saptanmıştır. Detayda farklılıklar göstermesine rağmen saptanan tüm tabakalar için önerilen zemin sınıfı siltli-kumdur (SM) (Çizelge 1).Araziden alınan veriler ile elek analizi sonuçlarına göre, doğal birim hacim ağırlığının 1.80 g/cm^3 olduğu, doğal su içeriğinin ise ortalama % 25.5 (%24,4 ile 26,5 arasında değişmektedir), kıvam limitinin non plastik olduğu saptanmıştır (Çizelge 1). Bu çalışmada hesaplanan zemin taşıma gücü ortalama değeri her iki lokasyonda da 0.79ton/m^{2}dir. Sıvılaşma Güvenlik Faktörü her iki loksyonda da olası deprem büyüklüğü 6.0 ve 7.5 için hesaplanmıştır. Her iki lokasyonda hesaplanan F değeri olası her iki büyüklükteki deprem için 1 değerinden küçüktür (F<1). Elde edilen bu değerler Konarlı'nın sıvılaşma açısından riskli bölgede yer aldığını ve zeminin sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. SK1 ve SK2 için hesaplanan Sıvılaşma Güvenlik Faktörü (F)'nün dağılımı (Seed ve İdris (1981)'den değiştirilmiştir).

Tarihsel kayıtlara bakıldığında Hatay ve civarının 7.0'den daha büyük depremlere maruz kaldığı görülmektedir (Över vd., 2004; 2011). Bölgenin tektonik yapısı incelendiğinde levha sınır fayları olan Doğu Anadolu Fayı, Ölü deniz fayı ile Kıbrıs-Antakya Transform fayı Antakya civarında birbirleriyle kesişerek üçlü eklem noktasını oluşturur (Över vd, 2004). Tarihsel kayıtlara girmiş ve Hatay'da meydana gelen büyük ve yıkıcı depremler yukarıda sözü edilen önemli faylar boyunca meydana gelmiştir (Över vd., 2004). Bu nedenle, burada elde edilen sonuçlar bölgenin zemin-deprem ilişkisi çerçevesinde değerlendirilmesi geoteknik açıdan son derece önem taşımaktadır. Zira bölge her ne kadar yaklaşık son 150 yıldır büyük depreme maruz kalmamış olsa bile, oluşabilecek büyük ve yıkıcı bir depremde zeminin davranışını belirlemek olası deprem zararlarının azaltılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Över S., Kavak K. Ş., Olivier B., Özden S., 2004 Is the Amik Basin SE Turkey a triple junction area Analyses of SPOT XS imagery and seismicity; International Journal of Remote Sensing, 0143-1161, 25(19) 3857-3872

Över, S., Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö.,&Filazi, A. (2011). Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey. *Environmental Earth Sciences*, *62*(2), 313-326.

Peck, R.B., Hansen, W.E. and Thornburn, T.H., 1974. Foundation Engineering, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, 514 p.

Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1971. Simplified procedure for evaluation soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(9):1249-1273

Seed, H.B.,and I.M. Idriss, 1981. Evaluation of liquefaction potentials and deposits based on observation of performance in previous earthquakes, ASCE National Convention, St. Louis, Missouri, October 26-31, pp. 81-544.

Terzaghi, K. ve Peck, R. B. (1948). "Soil Mechanics in Engineering Practice," John Wiley&Sons, New York.

Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No: 38, p. 385.

Youd, T.L., 1992. Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rika Earthquake. Proceedings of the NSF/UCR US. Costa Rica Workshop on the Costa Rika Earthquakes of 1990-1991, April 2 – 4, 1992, Effects on Soils and Structures, Oakland, California, ERI Publication, No: 93-A, 73-75.

SIMULATING ROCK FALLING ON SIDE SLOPES FOR DIFFERENT MATERIALS BY USING BLENDAR SOFTWARE

Hanifi Canakci[1], Ahmad G. Khoshnaw[1]

[1]Gaziantep University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department

canakci@gantep.edu.tr, ahmadganjeena@gmail.com

Abstract

Blender is a software used in the film and computer games industries to realistically animate a physical system and produce 2D or 3D animation films. In this paper it is shown that media can be faithfully modelled using a rigid body physics, Rock falling and soil sliding are issues confusing the designers in selecting the alternative roots of roads due to miss availability of exact predicts. The animation program is used to simulate a rock fall model and analyze it by SPSS statistical program to evaluate the results and finding rate of confidence between them. Two types of materials (Wood and Steel) in Cubic shape were tested in laboratory as two parameters on fixed side slope made of wood, which it has one stage in the mid distance and detected by Physic Tracker Software. Results showed that Blender as a computer software is perfect for this purpose and there is a relation of (R2=0.999) between the parameters. This will help the designers and the geotechnical problems to predicting and considering the best solutions before and even during the construction process.

Keyword(s): Rack falling, BLENDER Software, Simulation, 3D animation and Statistical analysis.

1. Introduction

Rock falling phenomena is the important issues to be study for designing roads especially in mountain areas. This phenomena influencing the alternatives in selecting the alignment of the different types of highways. Mountains, Hills and all kinds of high or elevated locations were naturally established and composited. Material types and layer conditions were differ from location to another, therefore; their rate of stability and strength will depend on the geological activities happened in each location. Nature Freezing and thawing, mass of composite materials and saturation rate of a location are factors to identify types, size and nature of the failures or rock falls for any location. In civil Engineering, the main sectors dealing with lands side sliding or rock falling are highways, pipelines, sewer and irrigation cannels and later the buildings.

Landslides have become the most damaging natural hazard in the hilly areas in different parts of the world. (S.Evany Nithya and P. Rajesh Prasanna 2010) Landslides are the downslide movement of soil, debris or rocks, resulting from natural causes, vibrations, overburden of rock material, removal of lateral supports, change in the water content of rock or soil bodies, blocked drainage etc.

Every year, hundreds of people all over the world lose their lives in landslides; furthermore there are large impacts on the local and global economy from these events. Over the past 25 years, many government and international research institutions across the world have invested considerable resources in assessing landslide susceptibilities and in attempting to produce maps portraying their spatial distribution (Guzzetti et al., 1999). In Turkey, landslides are the second most common natural hazard after earthquakes (Ildir, 1995) and the Eastern Black Sea region is especially affected.

Landslides including rock falls (Cruden and Varnes, 1996) are severe hazards to settlements and transportation routes in mountain areas. Deterministic or probabilistic analyses based on 3D modelling (Guzzetti et al., 2002; Lan et al., 2007; Frattini et al., 2008) are useful tools to estimate the maximum travel distance of rock blocks of certain sizes and the related kinetic energies at both local and regional scales.

To predict rock fall trajectories and design protection measures, (C. Wendeler et al., 2017) rock fall simulations are necessary based on the latest findings. In recent years, considerable progress has been made in these areas, which has led to an improvement of the quality of simulation results and structural design concepts for protection measures.

In this study, a simulation between (BLENDER) computer program and the laboratory rock fall tested to predict the opportunities and the disasters will occur during different types of rock falls when falling from side slopes especially in the highways. A model has designed in the laboratory and constructed from wood, two types of materials (Wood and Steel) had considered for test the rock fall on highways side slopes. Which movement of falling materials detected by Physic tracker software.

2. Equations, Tables and Figures

2.1. Equations

Regression analysis between the X,Y and T for laboratory (Eq.1,Eq.3) and BLENDER (Eq.2,Eq.4) are obtained for finding the velocities as follow;

$$v_{lab} = 0.041 + 0.006t + (-0.379x) + 0.669y \quad \text{(Eq.1)}$$
$$v_{BLENDAR} = 0.068 + (-0.011t) + (-0.113x) + 0.476y \quad \text{(Eq.2)}$$

For Wood

$$v_{lab} = 0.014 + 0.032t + (-0.780x) + 0.811y \quad \text{(Eq.3)}$$
$$v_{BLENDAR} = 0.072 + (-0.016t) + (-0.184x) + (0.667y) \quad \text{(Eq.4)}$$

For Steel

2.2. Tables

The study includes an observation between laboratory test and computer animation software represented by BLENDER Software. For this purpose two types of materials were selected (Wood and Steel) in a cubic shape representing the rock falling with dimensions of (2.7*2.7*2.7) cm to be falls on a side slope (45) degree made of wood has one stage of (20) cm width with slope of (1%) at the mid portion. The height of the model is (100) cm which it is representing Y direction, the horizontal distance is (130) cm that represent the X direction and the model width is (50) cm. Table (1) shows the physic properties of samples.

Low values are used for the initial velocity (starting with zero m/s) in case only freeze–thaw, rain, snow and wind are effective for the rock fall, Behavior of patterns influences by Surface roughness of falling materials (Barton and Choubey 1977; Kemthong 2006; Liao et al. 2008). In this study, the surface roughness not considered in the calculations due to the slope and the sample model used as same for all cases.

Cubic steel material made from pure steel has a specific gravity of (7.6) ASTM D792, ISO 1183 was used for this study with a bounciness of (0.597) and coefficient of friction of (0.34) (Mark Mounts, 2007; Engineering ToolBox, 2004). Cubic wood material and side slope stand made from timber has a specific gravity of (0.5) ASTM D792, ISO 1183 was used for this study with a bounciness of (0.603) and coefficient of friction of (0.32) (Mark Mounts, 2007; Engineering ToolBox, 2004). Table (1) shows the physic properties of samples.

Table 1 - Materials physic properties.

Name	Dimensions (cm)			Mass (g)	Sp. Gr.	Coefficient of Friction**	Bounciness
	x	y	z				
Steel	2.7	2.7	2.7	148.9	7.6	0.34	0.597
Wood	2.7	2.7	2.7	10.04	0.5	0.32	0.603

*reference (Mark Mounts, 2007), **reference (Engineering ToolBox, 2004)

Statistical tests performed to find the degree of R, R square, significance rate, Standard Deviation, degree of freedom, correlation by using the T-Test and regression analyzes by statistical software (IBM SPSS Statistics v.23) to compare the reality between the actual data representing in laboratory and the Blender software simulation. Trials conducted in laboratory to simulate the rock falling on the road side slopes by using the typical model prepared in this study, the data for the best trial is analyzed and tested for different parameters according to the study methodology. The data from laboratories and BLENDER seems have high relations and a best correlation. Table (2) shows the results between these parameters.

Table 2 - Statistical results from SPSS analysis.

Material Name	Tested Parameters	No. of Data	Correlation	R	R Square	S. D.	Significant	Degree of Freedom
Wood	X lab - X blender	380	0.999	0.999	0.998	0.015	0.000	379
	Y lab - Y blender	380	0.995	0.995	0.991	0.028	0.000	379
	V lab - V blender	380	0.953	0.953	0.907	0.013	0.000	379
Steel	X lab - X blender	400	0.994	0.994	0.988	0.043	0.000	399
	Y lab - Y blender	400	0.993	0.993	0.986	0.027	0.000	399
	V lab - V blender	400	0.914	0.914	0.836	0.018	0.000	399

The P-Value (the significance) for whole data in Table (2) is (0.00) < (0.05) explaining that all data depended in this study is confidence and can be taken in consideration for real applications.

2.3. Graphics

In this study (BLENDER v.2.78c) Software was used for simulate the motion of the falling Cubic materials, justified on 25 frame/sec. for rendered videos. Figure (1) shows the work flow of the software used.

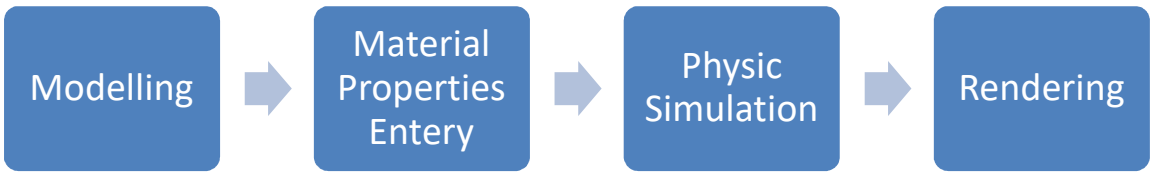


Figure 1 – Frame representing BLENDER software process

The laboratory tests documented through video camera justified on 25 frame/sec and compared with that in BLENDER, Figure (2) shows the both laborotory and BLENDER model.

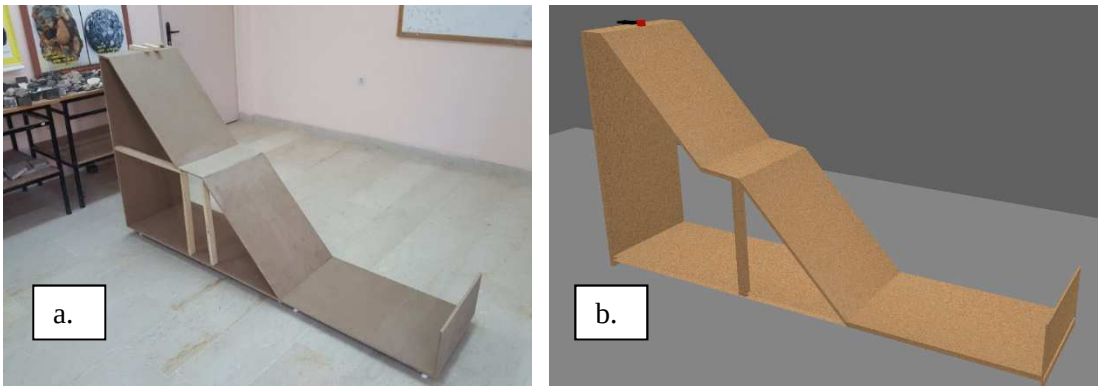


Figure 2 – Shows the both laborotory and BLENDER model

Tracker is a free video analysis and modeling tool built on the Open Source Physics (OSP) Java framework. It is designed to be used in physics education (Douglas Brown, Wolfgang Christian 2011). The (TRACKER v.5.0.7) video analysis and modeling program enables students to create particle model simulations based on Newton's laws and to compare their behavior directly with that of real-world objects captured on video by tracking selected objects movement. Figure (3) Frame representing physic tracker software process

Figure 3 - Frame representing physic tracker software process

When a testing done between the X (Horizontal Distance) data related laboratories and BLENDER for wood sample, the output shows that the R2 between them is 0.998, R is 0.999 and a very low standard deviation amount of (0.015), while the relation regarding the Y (Vertical Distance) data for laboratories and BLENDER were R^2=0.998, R=0.995 and SD. = (0.028) Fig (4 a,b). Also for steel sample has lower correlation by about 1% in R^2, 0.5% in R and 35% in SD. for X direction and 0.5% in R^2, 0.2% in R and 3.6% in SD. for Y direction. Fig (5 a,b).

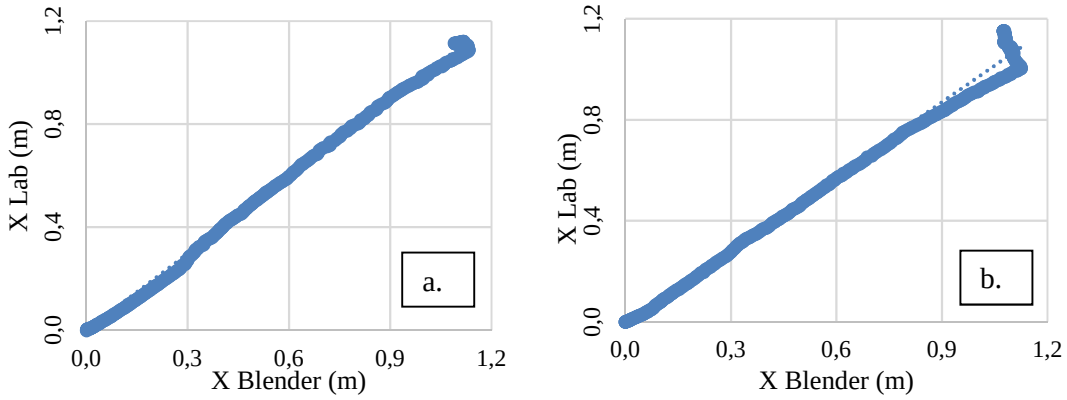


Figure 4 - Relation between X Lab and X Blender a-for wood, b-for steel samples

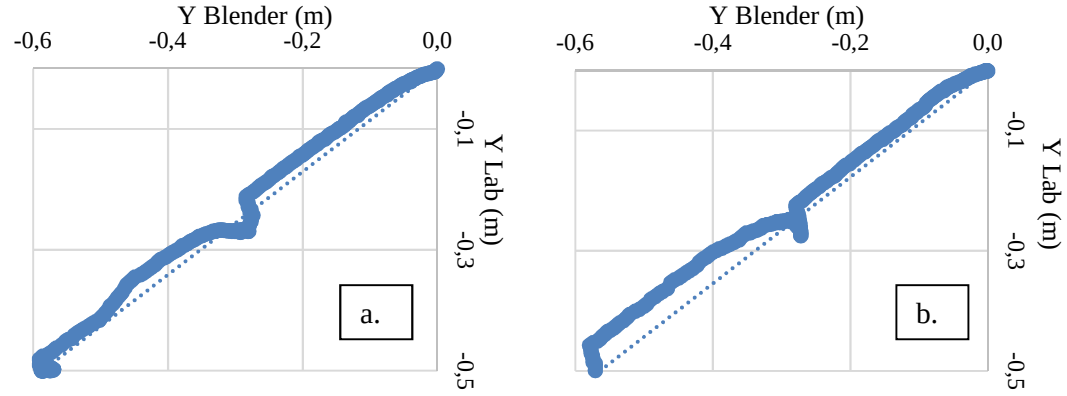


Figure 5 - Relation between Y Lab and Y Blender a-for wood, b-for steel samples

Data obtained (Eq. 1, 2, 3, 4) for the velocity (V) values of wood and steel for both laboratory and BLENDER to compare and finding the degrees of relation between them as shown in Table (2), For wood sample founded that R^2 is 0.907, R is 0.953 and SD. is 0.013 between the laboratory and BLENDER data, however; these rates insuring the ability of BLENDER software to simulating the reality of rock falling on side slopes. There are no different in test results for steel sample, the same relations occurred as in wood sample but in few lower rates. Figure (6 a,b). Although there is a little bit neglect able difference in maximum velocity for steel and minimum velocity for wood samples with that ones in BLENDER, that's due to errors from laboratory environment and sample preparation.

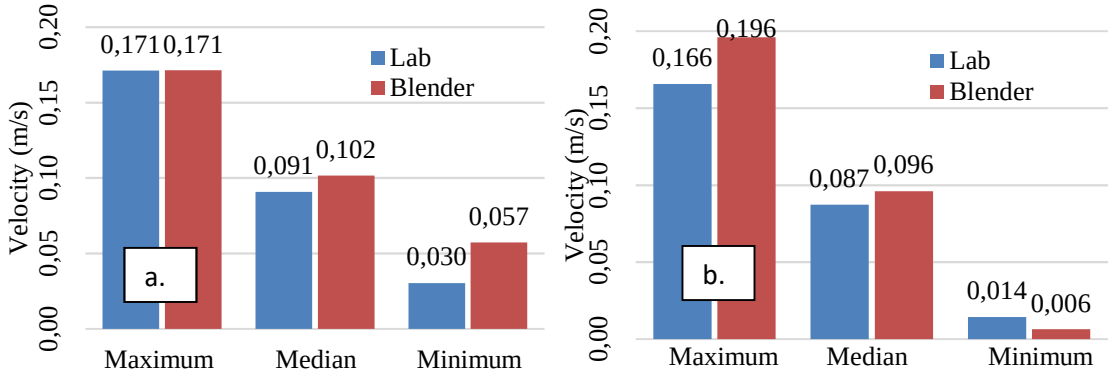


Figure 6 - Relation between V Lab and V Blender a-for wood, b-for steel samples

2.4. Conclusion

The data from both ways (procedures) analyzed for different parameters to produce the capability of BLENDER Software to be used in simulating the rock fall phenomena in nature happening in side slopes especially in highways, the test results proved the capability of BLENDER Software to simulate the rock falling phenomena, Materials Mass has no significant effects on the results, the BLENDER Software and Physic Tracker are opining source programs that means can be obtained and work on them easily.

Acknowledgements

This research was supported by [Gaziantep University, Prof.Dr. Hanifi Canakci, Academic Supervisor]. We would like to show our gratitude to Gaziantep University for sharing the laboratories and equipment with us during the course and test process of this research.

References

1. Barton N, Choubey V, (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mech 10:1–54.
2. C. Wendeler, Y. Bühler, P. Bartelt, J. Glover, 2017. Application of three-dimensional rockfall modelling to rock face engineering. Geomechanics and Tunnelling 10, pp. 74-80.
3. Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslides Types and Processes. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides: Investigation and Mitigation. : Transportation Research Board Special Report, vol. 247. National Academy Press, WA, pp. 36–75.
4. Douglas Brown, Wolfgang Christian, 2011. SIMULATING WHAT YOU SEE: COMBINING COMPUTER MODELING WITH VIDEO ANALYSIS. Ljubljana MPTL 16 – HSCI 2011.
5. Engineering ToolBox, (2004). Friction and Friction Coefficients. Retrieved from https://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html 20.04.2019.
6. Frattini, P., Crosta, G.B., Carrara, A., Agliardi, F., 2008. Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches. Geomorphology 94, 419–437.
7. Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinalli, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology 31, 181–216.
8. Guzzetti, F., Crosta, G.B., Detti, R., Agliardi, F., 2002. STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls. Computer and Geosciences 28, 1079–1093.
9. Ildir, B., 1995. Turkiyede heyelanlarin dagilimi ve afetler yasasi ile ilgili uygulamalar. In: Onalp, A. (Ed.), Proceedings of 2nd National Landslide Symposium Turkey. Sakarya University, pp. 1–9.
10. Kemthong R (2006) Determination of rock joint shear strength based on rock physical properties. MS Thesis, Suranaree University of Technology, p 123
11. Lan, H., Martin, D.C., Lim, C.H., 2007. Rockfall analyst: a GIS extension for threedimensional and spatially distributed rockfall hazard modelling. Computer & Geosciences 33, 262–279.
12. Liao CJ, Chen PY, Lee DH, Wu JH, Lin HM (2008) Investigating the shear mechanics of Kuan-Miao sandstone using undrained ring shear test. The 42nd U.S. rock mechanics symposium, Paper no: 08-286, p 9.
13. Mark Mounts, 2007. Physics Hypertextbook, vol. 44 no. 11 doi: 10.5860/CHOICE.44-6291
14. S.Evany Nithya, P. Rajesh Prasanna, “An Integrated Approach With GIS And Remote Sensing Technique For Landslide Hazard Zonation”, International Journal Of Geomatics And Geosciences Volume 1, No 1, 2010, ISSN 0976 – 4380.

Demiryolu – Karayolu Kesişme Güzergâhında Top-Down İnşaat Yöntemi ile Alt geçit Tasarımı

Mustafa YILDIZ[1], Arif Emre Kaan GÜNDOĞDU[2]
[1] Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
[1]myildiz@ktun.edu.tr, [2] emre_gundogdu06@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada, top-down inşaat yönteminin tanımı, imalat sırası, avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir. Karaman – Ulukışla hızlı tren projelendirme çalışmaları kapsamında; demiryolu hattının KM: 201+900 – 202+000 arasında kalan demiryolu – karayolu kesişme güzergâhında 5,00 m x 7,00 m alt geçit imalatı yapılacaktır. İmalat sırasında karşılaşılan problemin top – down yöntemi ile çözümü konu edilmiş ve bununla ilgili nümerik analiz PLAXIS 2D bilgisayar programında gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılacak malzeme parametreleri literatür ve sahada alınan veriler doğrultusunda seçilmiş ve analizde kullanılmıştır. Yapılan çalışmada demiryolu hattının çalıştığı esnada alt geçit imalatı için gereken kazı işleminin yapılması durumunda oluşacak deformasyon ve kesit tesirleri PLAXIS 2D bilgisayar programıyla analiz edilmiştir. 80 cm çapındaki fore kazıklarda meydana gelecek yatay deformasyonlar 0,47 cm, yaklaşım dolguları altında oluşacak düşey deformasyonlar 3,00 cm mertebelerinde hesaplanmıştır. Analiz sonucunda kazıkların kesit tesirleri elde edilmiştir. Tasarımı yapılan sistemin statik ve dinamik durumdaki güvenlik katsayıları sırasıyla 3,33 ve 3,23 olarak belirlenmiştir. Demiryolu hattı çalışırken, top-down inşaat yöntemiyle tasarlanan alt geçit imalatı için gereken kazı güvenle yapılabilecektir.

Keyword(s): Top-down, Karaman – Ulukışla hızlı tren projesi, kazı metodu, yukarıdan aşağıya inşaat, alt geçit inşaatı

Abstract

In this study, the definition of top-down construction method, construction stages, advantages and disadvantages were mentioned. Within the scope of Karaman - Ulukışla high speed train project; 5,00 x 7,00m underpass will be constructed in the railway - highway intersection route between the railway line KM: 201 + 900 - 202 + 000. The solution of the problems encountered during construction process by using the top - down method and the related numerical analysis was carried out in PLAXIS 2D computer program. Material parameters to be used in the analysis were selected according to literature and field data. In the study, the deformation and section effects that would occur in the case of the excavation process required for the underpass production during the operation of the railway line were analyzed by PLAXIS 2D computer program. Horizontal deformations at 80cm diameter bored piles 0.47 cm, vertical deformations under approach fillings are calculated in the order of 3.00cm. As a result of the analysis, the section effects of piles were obtained. The static and dynamic safety factors of designed system were determined as 3.33 and 3.23 respectively. When the railway line is in operation, the excavation required for the underpass construction with top-down construction method can be made safely.

Keyword(s): Top-down, Karaman-Ulukışla high-speed train project, excavation method, top-down construction, underpass construction

1. Giriş

Top-down inşaat yöntemi ülkemizde son 30 yıldır kullanılan bir yöntemdir. Özellikle çalışma alanı sınırlı derin ve çok bodrumlu yapılarda tercih edilmektedir. Bu yöntem geleneksel kazı yöntemlerinin tersine bir yöntem olup, imalatlar yukarıdan aşağıya doğru tamamlanmaktadır. Bu şekilde yapının hem bodrum katları hem üst katları aynı zaman içerisinde imal edilebilmektedir. Ayrıca kazı için yeterli şev mesafesinin bulunmaması durumunda ve üst yapı inşaatının devam etmesi gerektiği durumlarda top-down yöntemi makul hale gelmektedir. Bu yöntem özellikle yeraltı metroları, alt geçit, otopark ve otel inşaatlarında tercih edilmektedir. Top-down metodu tüm zeminlerde tatbik edilebilmektedir.

Top-down metodu, 1993 yılında Ankara metro hattının Kızılay istasyonunda uygulanmıştır. Kızılay'da yaya ve araç trafiğinin oldukça yoğun olması ve kazı nedeniyle çevrenin olumsuz etkilenmesini minimuma indirmek amacıyla öncelikle bu odak noktasındaki istasyonun yapılmasına karar verilmiş ve inşaat yöntemi olarak Türkiye'deki ilk uygulamalardan biri olan Top-down yani yukarıdan aşağıya inşaat yöntemi tercih edilmiştir. İnşaat süresince oldukça zorlanacak olan kent içi ulaşımı ve araç trafiğinin kazılar esnasında, daha büyük problemlerle karşılaşılmasını önlemek amacıyla trafik akışının en kısa sürede sağlanmasına gerek duyulması "Top-down" yönteminin tercih edilmesinde en büyük etkenlerden biri olmuştur. [6]

Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarda top-down inşaat yöntemi ankrajlı iksa sisteminin uygulanamadığı yerlerde kazıya destek amaçlı tercih edilmiştir. Tasarlanan ankrajlı iksa sisteminde, çevre yapılar ve zemin şartlarına bağlı olarak bazı kademelerdeki ankrajların imalatı yapılamamıştır. Ayrıca imal edilen ankrajların, yapılan performans testleri sonucu yeterli yük taşımadığı tespit edilmiştir. İnşaat alanın büyük olmasından dolayı çelik borularla kazı yüzeyleri de desteklenememiştir. Bu durum neticesinde sorun çıkan cephelerde yarı top-down inşaat yöntemi ile imalatlar yapılmıştır. Yapılan çalışmada 25,00 m derinliğindeki kazı çukurunda ankrajlı ve yarı top-down yapılması durumunda oluşacak deformasyonlar PLAXIS 8.2 bilgisayar programıyla belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. [5]

Alt geçit imalatları kapsamında tabii zeminden temel alt kotuna kadar kazı yapılması gerekmektedir. Yapılacak kazılar genellikle zemin ve çalışma şartları koşulunca şevli olarak yapılmaktadır. Planlanan alt geçitlerin şehir içerisinde imal edileceği göz önünde bulundurulduğunda yapılacak derin kazıların şev mesafeleri yeterli olmamakta ve yapılara ya da trafiğin çalışması gereken karayolu - demiryollarına denk gelebilmektedir. Bu yüzden derin kazıların iksa tedbiri alınarak yapılmasını gerektiren durumlar oluşabilmektedir. Top-down metodu ile alt geçit perde duvarları kesişen kazık, asker kazık veya diyafram duvarlar ile imal edilebilmektedir. İmal edilen kazık başlıklarına demiryolu kirişi bağlanarak imalat süresince demiryolunun kesintisiz bir şekilde çalışabilmesi ve deformasyonların sınırlandırılması amaçlanmaktadır.

2. Top-Down Metodu

Klasik kazı teknikleri ile yapılan temel çukuru kazılarında, kazı işlemi nihai kazı seviyesine kadar sürdürülür. Kazı işlemi bittikten sonra, temel plağının imalatı yapılır ve bunu takiben yapının inşaatı üst katlara doğru devam ettirilir. Yani, yapı inşaatı "alttan-üste" doğru yapılır. [5]

Top-down (yukarıdan-aşağı) inşaat yönteminde ise yapılacak yapının iksa perdesi ve taşıyıcı kolonları imal edilir. İksa perdesi ve taşıyıcı kolonlara bağlanan döşeme betonu döküldükten sonra döşeme içerisinde boşluk bırakılarak alt kotlardaki plakların imalatı için kazı yapılır ve her kazı kademesi sonunda yapıya ait döşeme plağı imal edilir. Her kazı kademesinin tamamlanmasını takiben yapı döşemeleri sırasıyla yukarıdan aşağıya doğru temel seviyesine kadar yapılır. Bu süreç içerisinde üst katların döşeme imalatlarına devam edilebilir.

Top-down yönteminde istinat duvarlarının yanal destekleri bodrum kat döşemelerinden veya çelik kirişlerinden oluşur. Bir başka değişle, geleneksel yöntemlerde kullanılan ankraj, boru destek gibi yatay elemanların görevini döşeme ve kirişler üstlenir. Döşeme ve kirişlerin boyutlandırılmasında yapı yükleri ve kazı sırasında oluşan yükler, toprak yanal basınçları dikkate alınır. [3]

İstanbul Boğazı kıyısında 19. yy. sonlarında inşa edilmiş iki Osmanlı yalısı olan Hatice ve Fehime Sultan Yalılarının restorasyon çalışmaları kapsamında projeye dört bodrum kat ilave edilmesi planlanmıştır. Yapılacak kazı için yeterli mesafenin olmaması ve çevre yapılara yakınlığından dolayı bodrum katlarının top down yöntemi ile inşa edilmesi uygun bulunmuştur. Yapının iksa perdesi kayaya 5,00m soketli diyafram duvarlarla, taşıyıcı kolonları ise fore kazıklar ile teşkil edilmiştir. Yapılan çalışma için zorlu zemin ve çevre koşulları dikkate alındığında top-down inşaat yönteminin güvenli, ekonomik bir çözüm oluşturduğu aynı zamanda projeye zaman kazandırabildiği belirlenmiştir. [1]

2.1. Top-Down Sisteminde Kullanılan Elemanlar

Top-down inşaat yönteminde kazı alanı çevresi için kesişen, aralıklı kazıklar, diyafram duvar, çelik profilli kazıklar ve bunlara yanal destek sağlaması için yapıya ait döşemelerden faydalanılır.

Top-down metodunda kullanılan düşey elemanların seçiminde belirleyici unsurlar zeminin jeolojik birimi, yeraltı su durumu, maliyet durumu, iksa sistemine etkiyen düşey ve yatay kuvvetler vb. olarak sıralanabilir.

Yeraltı su seviyesinin yüksek olması durumunda istinat duvarı olarak diyafram duvarlar, kesişen kazıklara göre daha elverişlidir. Diyafram duvar anolarının kazıklara göre daha büyük olması sebebiyle işçilik kusurları daha az olacaktır. Diyafram duvarlar kazıklara göre daha rijit bir geometriye sahip olduğu için stabilite açısından kazıklara göre daha güvenlidir. Ancak tüm

bu avantajların yanı sıra maliyet açısından kazıklı iksa sistemlerine göre daha pahalı bir çözümdür.

Top-down metodunda kullanılan yatay elemanlar zemin altında kalan katların döşeme plakları ve çelik kirişlerden oluşmaktadır. İksalı kazılarda yatay kuvvetlerin karşılanabilmesi amacıyla ankraj, çivi, strut (çelik boru) elemanları kullanılmaktadır. Ancak top-down metodunda döşeme plağı ve kirişler yatay yükleri karşılamaktadır.

Top-down inşaat yöntemi aşamaları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

- Kazılacak alanın sınırını çevreleyen iksa duvarı (perdesi) imal edilir,
- Yapının taşıyıcı kolonları baret kazık ya da fore kazık olarak imal edilir,
- İlk döşeme plağı taşıyıcı kolonlara ve iksa duvarına bağlanır. Ayrıca döşeme plağı alt kademelerin kazısı için makine ve hafriyat giriş çıkışına yetecek boşluk bırakılarak imal edilir.
- Döşemenin imal edilmesinden sonra döşemede bırakılan boşluktan kazıcı ekipman ve makine alt kotta yapılacak döşeme alt kotuna kadar kazı yapar ve kazıdan çıkan hafriyat bırakılan boşluktan dışarı alınır.
- Yapılan kazıdan sonra birinci bodrum katın döşeme plağı imal edilir.
- Yapının en düşük kotuna kadar yukarıda sıralanan işlemler birbirini takip eder ve son olarak yapı en alt kottaki döşemesi inşa edilir.

2.2. Alt Geçit Yapımında Top-Down Uygulaması

Yapılacak alt geçitlerin şehir içerisinde imal edileceği göz önünde bulundurulduğunda yapılacak kazılar için gereken şev mesafeleri genellikle yeterli olmamaktadır. Bu durumda yaya, araç ve demiryolu trafiğinde aksamalar oluşmaktadır. Bunun sonucunda imalatların tamamlabilmesi için iksalı kazıların yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Yapılacak yapıların inşasının top – down inşaat yöntemi ile yapılması, trafik ve çevre yapıların inşaat süresince maruz kalacağı olumsuz etkilerden minimum mertebede etkilenmesi noktasında önemlidir. Tasarımı yapılan alt geçit perde duvarları, fore kazıklar ile imal edilmektedir. İmal edilen kazık başlıklarına demiryolu kirişi bağlanarak alt geçit imalatı süresince demiryolunun kesintisiz bir şekilde çalışabilmesi öncelikli hedeftir.

İmalat aşamasında arazi kazık üst kotuna kadar tesviye edilir ardından yeterli donatı ve uzunluğa sahip şekilde tasarlanmış kazıklar imal edilir. Kazıklar yeterli dayanıma ulaştıktan sonra kazıkların üstlerine yeterli moment, kesme ve eksenel yük kapasitesine sahip kesitte demiryolu kirişi dökülerek sistemin bir bütün olarak çalışması sağlanır. İmal edilen demiryolu kirişi kazıklar arasında başlık kirişi vazifesi göreceği için yanal deformasyonların azaltılmasında önemli bir etkendir.

Ankara Metrosu inşası için tercih edilen kazı metodu top-down yöntemine dair örnekler, Şekil 1’de verilmiştir.

Şekil 1. Top-down inşaat yöntemiyle imal edilen Kızılay istasyonu [2]

3. Yapılan Çalışma

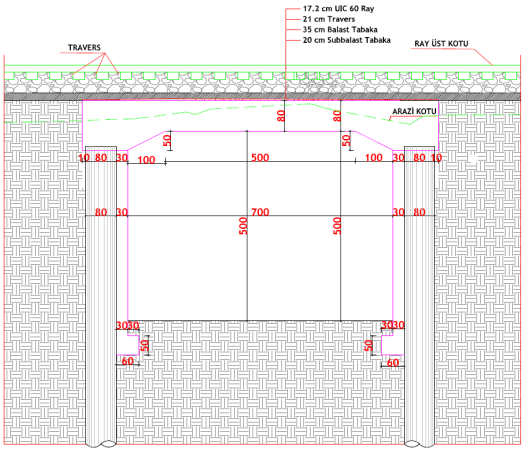
3.1. Karaman – Ulukışla Demiryolu Hattı Sanat Yapılarında Karşılaşılan Problemin Top-Down Yöntemi ile Çözümü

Çalışmada, Karaman – Ulukışla arası hızlı tren projesi altyapı projelendirme çalışmaları kapsamında, demiryolu hattının KM: 201+900 - 202+000 arasında kalan demiryolu – karayolu kesişme güzergâhında karşılaşılan problemin top – down yöntemi ile çözümünden bahsedilmiştir.

Demiryolu ve karayolu kesişim noktalarında alt geçit, üst geçit, köprü vb. yapılar yapılması suretiyle demiryolu ve karayolu ulaşımının kesintisiz olarak devam etmesi hedeflenmiştir.

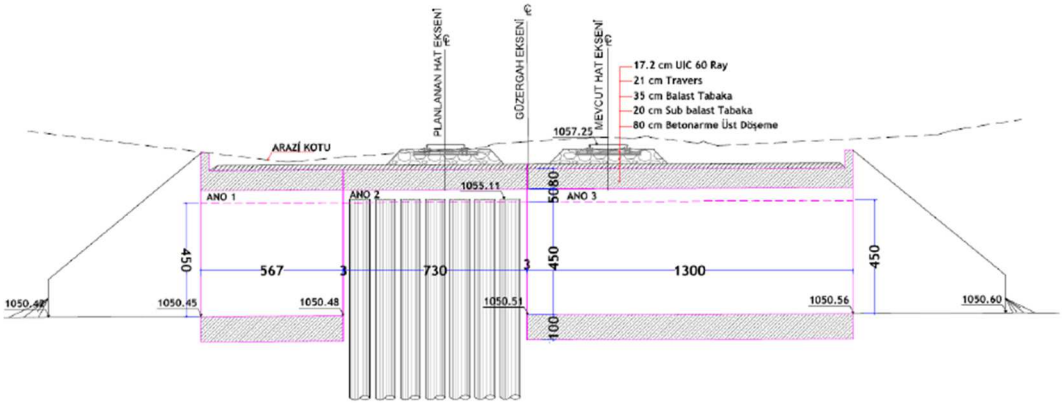
Yapılması düşünülen alt geçit yapıları genelde şehir içerisine denk gelmektedir. Alt geçitlerdeki gabari ve betonarme yapıların kalınlığı göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık olarak 6-8m arasında değişen derinliklerde kazılar yapılması gerekmektedir. Yapılacak kazılar şevli olarak yapılamamakta çevre yapıların güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Ayrıca inşaat süresince mevcut hat üzerinde çalışan trenin hizmet etmeye devam etmesi gerekmektedir. Bunun için alt geçit inşasının iksalı olarak tatbik edilmesi uygun görülmüştür.

Karaman – Ulukışla 135 km 2. Hat Altyapı ve Üstyapı Yapım işi kapsamında demiryolu ve karayolu kesişim noktasında alt geçitin Top-down yöntemi ile inşası planlanmıştır. Alt geçit Şekil 2 ve Şekil 3'te görüldüğü gibi projelendirilmiştir.



Şekil 2 Top-down yöntemi ile alt geçit tasarımı

Şekil 2'de verilen 5m x 7m açıklığındaki alt geçit en kesitinde 80cm çapında fore kazıklar, fore kazıkları bağlayan 80cm yüksekliğinde başlık kirişi ve başlık kirişi üzerinde demiryolu dolgusu bulunmaktadır.



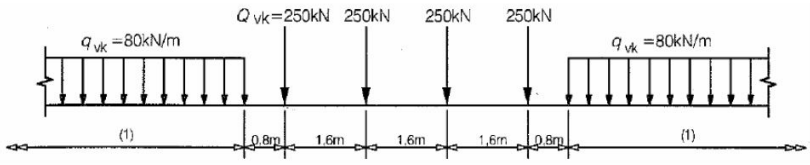
Şekil 3 Alt geçit top-down boy kesit

Top-down imalatına ait analiz PLAXIS 2D bilgisayar programında yapılmış, yapıya ait deformasyonlar ve taşıyıcı elemanlar üzerinde oluşan kuvvetler belirlenmiştir.

3.1.1 Alt Geçit Yük Kabulü ve Etkiyen Gerilmenin Tayini

Normal demiryolu trafiği altında düşey yükün statik etkisini temsil eden yük modeli Eurocode LM 71 Şekil 4'te gösterilmiştir.

Aşağıdaki şekilde tren dingillerinden aktarılan yükler verilmiştir. Analizlerde demiryolu yükü 80 kN/m olarak alınmıştır. Raylı taşıma yapıları Şekil 4'te verilen düşey statik yükü taşıyacak şekilde tasarlanmalıdır.



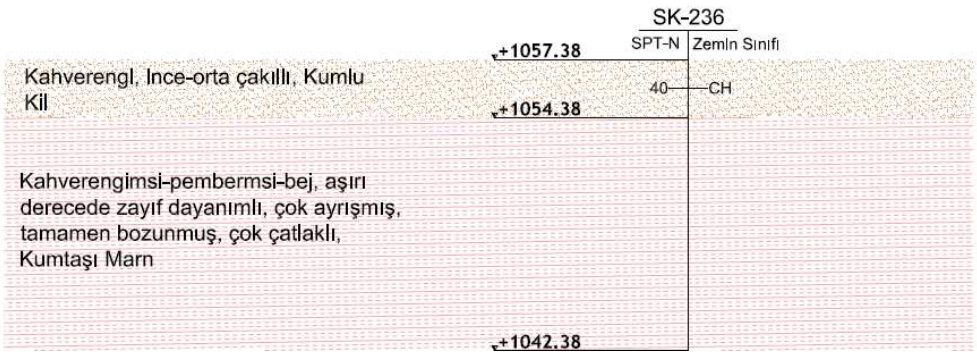
Şekil 4 Yük modeli LM 71 ve düşey yükler için karakteristik değerler [4]

3.1.2 Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Yapılacak projeye ilişkin jeolojik ve jeoteknik verilerin elde edilebilmesi için incelenen bölgede derinliği 15,00 metreyi bulan sondaj kuyuları açılmıştır.

Açılan sondaj kuyusunda zeminin 0,00 – 3,00m arası kahverengi renkli, iri-orta çakıllı, yüksek plastisiteli, kumlu kil (CH), 3,00 - 15,00 m arası kahverengimsi-pembemsi-bej, aşırı derecede zayıf dayanımlı, çok ayrışmış, tamamen bozunmuş, çok çatlaklı Kumtaşı-Marn olarak geçilmiştir. Yapılan sondajlarda yeraltı su seviyesine rastlanmamıştır.

Yapılan sondajlar sonucunda belirlenen zemin birimlerine uygun olarak oluşturulan zemin profili Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5 Sondaj kuyusunda belirlenen zemin profili

Açılan sondaj kuyusunda presiyometre deneyi yapılmıştır. Yapılan presiyometre deneyi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Sondaj kuyusunda yapılan presiyometre deneyi sonuçları

Derinlik (m)	Net Limit Basınç P_{LN} (kg/cm2)	Menard Modülü E_M (kg/cm2)
2,00	13,90	167,00
4,00	14,80	180,00

Literatürde P_{LN} değeri ile drenajsız kayma mukavemeti (c_u) arasında ve Menard modülü ile Elastisite modülü arasında çeşitli korelasyonlar bulunmaktadır. Tablo 1'de verilen Net limit basınç ve Menard modülü değerleri sondajlarda belirlenen kil birimin mühendislik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

3.1.3 Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi ve İdealize Zemin Profili

Zemin parametreleri ve profilinin belirlemesi için SPT-N değerleri ve Atterberg limitleri kullanılmıştır. Killi birimler için elastisite modülü belirlenirken, literatürde belirtilen sınırlar içerisinde güvenli tarafta kalınmıştır.

Analizde kullanılan idealize zemin profili ve parametreleri, yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri kullanılarak ayrıca literatürde belirtilen sınırlar içerisinde kalınarak belirlenmiş olup zemin birimlerine ait c_u (drenajsız kayma mukavemeti), c (kohezyon), ϕ (İçsel sürtünme açısı) ve E_s (Elastisite modülü) parametreleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2 İdealize Zemin Profili ve Parametreleri

Derinlik (m)	Jeolojik Birim	c_u (kPa)	c (kPa)	ϕ	E_s (kN/m²)
0,00 – 3,00	Kumlu, Kil	100,00	5	26	40.000
3,00 – 25,00	Ayrışmış Kumtaşı-Marn	150,00	10	28	60.000

3.1.4 Mühendislik Analizleri ve Değerlendirmeler

İksa sistemi olarak Ø80cm fore kazıklar 100cm aralıkla tasarlanmıştır. Top-down sistemine ait tüm detaylar Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. İmal edilen kazıkların üstüne 80cm başlık kirişi yapılarak kazıkların beraber çalışması sağlanmıştır. Başlık kirişi imalatı tamamlandıktan sonra her iki anoda kazı işlemi yapılmıştır. Mevcut güzergâhın yükü belirlenirken; demiryolu sürşarj yükü, 80,00 kN/m olarak alınmıştır.

3.1.4.1. Kesit Detayları

KM: 201+934'te yapımı öngörülen alt geçit yapısında uygulanması planlanan top-down sisteminin detayları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 KM: 201+934 Alt Geçit İksa Sistemi Detayları

Kazık Çapı (cm)	Kazık Boyu (m)	Kazık Aralığı (cm)	Kazı Derinliği (m)
80,00	13,80	100,00	≅6,00

3.1.4.2. PLAXIS 2D Analizleri

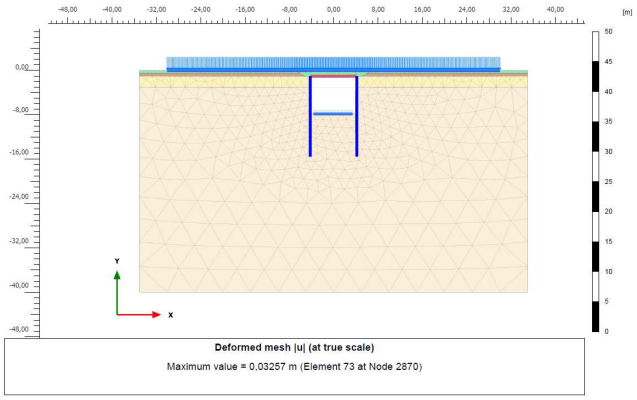
Proje kapsamında yapılması planlanan alt geçit PLAXIS 2D bilgisayar programında analiz edilerek, top-down inşaat yöntemi uygulanmış koşulda sistemde meydana gelecek deformasyonlar ve kazıklar üzerine gelen kuvvetler gözlenmiştir.

PLAXIS 2D programında alt geçit inşası başlangıcından, tren seferlerine açılmasına kadar ki tüm aşamalar sırasıyla modellenmiştir. İnşa aşamaları aşağıda verilmiştir.

- 1. Aşama: Mevcut arazide kazık üst kotuna kadar şevli kazı yapılması.
- 2. Aşama: Öngörülen boy ve çaptaki fore kazıkların imal edilmesi.
- 3. Aşama: İmal edilen fore kazıkların üstüne başlık kirişi yapılarak kazıkların beraber çalışmasının sağlanması.
- 4. Aşama: Başlık kirişi imalatından sonra ray üst kotuna kadar dolgu yapılması.
- 5. Aşama: Demiryolu hattının ulaşıma açılması.
- 6. Aşama: Yol kotuna kadar kazı yapılması.
- 7. Aşama: Sisteme deprem kuvvetleri uygulanarak kesit tesirlerinin belirlenmesi.
- 8. Aşama: Yapılan statik ve dinamik analiz için güvenlik katsayılarının belirlenmesi.

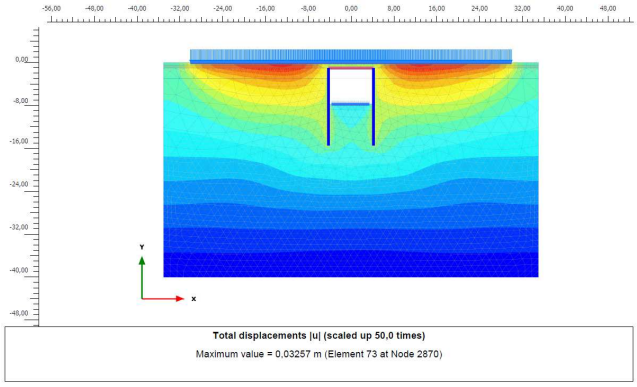
Alt geçitte uygulanacak top-down kazı yönteminin PLAXIS 2D bilgisayar programında aşamalı çözümler yapılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şekil 6'da demiryolu trafiği altında alt geçit kazısı yapılması durumunda PLAXIS 2D modeli verilmiştir. Analiz sonucuna göre demiryolu yaklaşım dolguları altında oluşacak maksimum deformasyon 3.25 cm olarak belirlenmiştir.



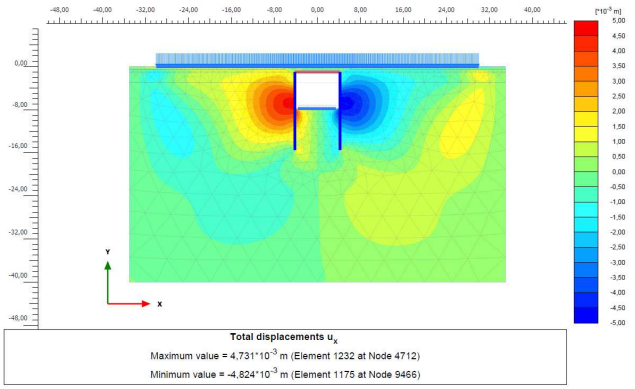
Şekil 6 PLAXIS 2D Analizinde Statik Durumda Oluşacak Toplam Deformasyonlar

Şekil 7'de demiryolu trafiği altında alt geçit kazısı yapılması durumunda sistemde oluşacak düşey deformasyonlar verilmiştir. Analiz sonucuna göre demiryolu yaklaşım dolguları altında oluşacak düşey deformasyon 3.25 cm olarak belirlenmiştir.



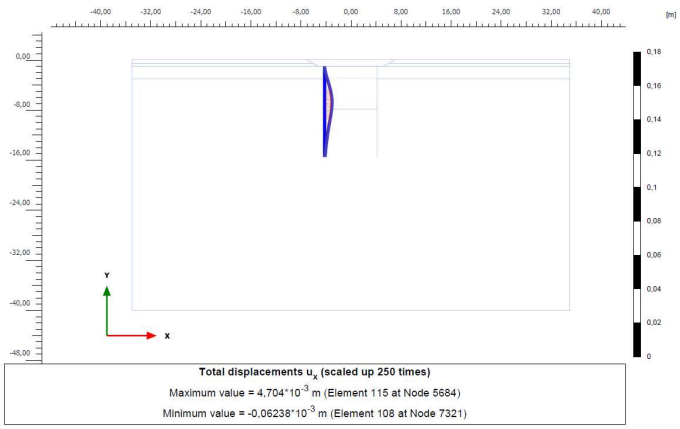
Şekil 7 PLAXIS 2D Analizinde Statik Durumda Oluşacak Düşey Deformasyonlar

Şekil 8'de demiryolu trafiği altında alt geçit kazısı yapılması durumunda sistemde oluşacak yatay deformasyonlar yer almaktadır. Analiz sonucuna göre tasarlanan sistemde meydana gelecek yatay deformasyon 0.47 cm olarak belirlenmiştir.

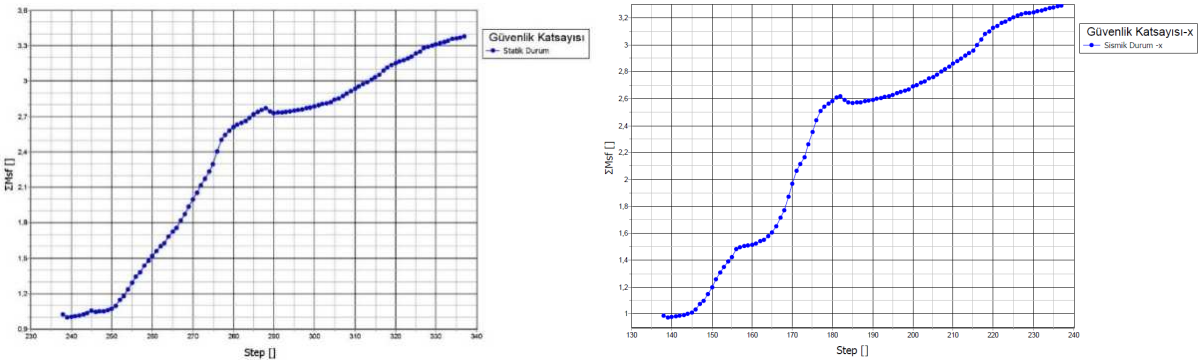


Şekil 8 PLAXIS 2D Analizinde Statik Durumda Oluşacak Yatay Deformasyonlar

Şekil 9'da demiryolu trafiği altında alt geçit kazısı yapılması durumunda fore kazıklarda oluşacak yatay deformasyonlar verilmiştir. Analiz sonucuna göre tasarlanan fore kazıklarda meydana gelecek maksimum yatay deformasyon 0.47 cm olarak belirlenmiştir.

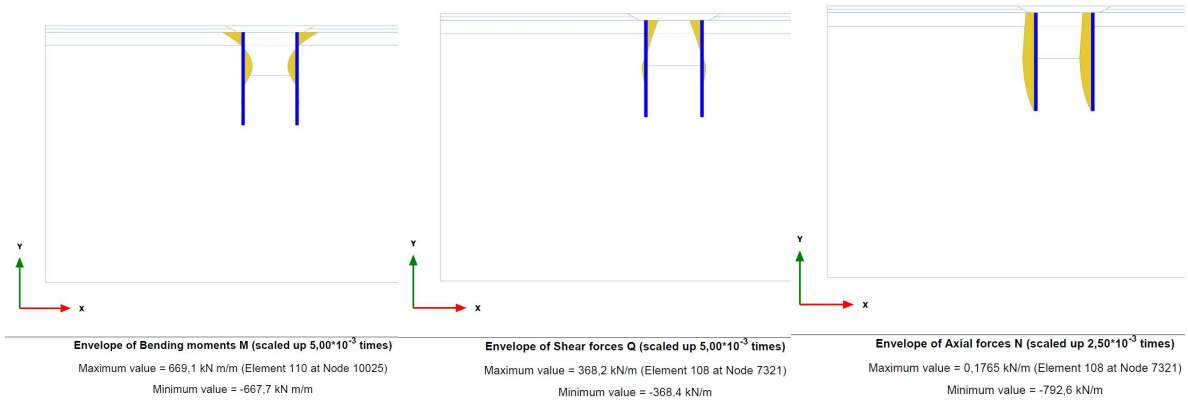


Şekil 9 Statik Durumda Kazıklarda Oluşacak Yatay Deformasyonlar



Şekil 10 PLAXIS 2D Analizinde Statik ve Dinamik Durumda Belirlenen Güvenlik Katsayıları

Yapılan analizde statik durumda sistemde 0,47cm yatay deformasyon ölçülmüştür. Tasarımı yapılan sistem statik durumda ve 0,05g deprem ivmesine maruz tutularak sismik etki altında bırakılarak güvenlik katsayıları ölçülmüştür. Tasarlanan sistemin statik ve dinamik durumdaki güvenlik katsayıları sırasıyla 3,33 ve 3,23 olarak belirlenmiştir (Şekil 10). Analiz sonucunda belirlenen deformasyonlar ve güvenlik katsayıları izin verilebilen limitler içerisinde kalmaktadır. Kazıklarda oluşacak kesit tesirleri Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11 Statik Durumda Kazıklarda Oluşacak Kesit Tesirleri

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, Karaman – Ulukışla arası hızlı tren projesi altyapı projelendirme çalışmaları kapsamında, demiryolu hattının KM: 201+900 - 202+000 arasında kalan demiryolu – karayolu kesişme güzergâhında karşılaşılan problemin top – down yöntemi ile çözümünden bahsedilmiştir. Demiryolu ve karayolu kesişim noktalarında alt geçit yapılması suretiyle demiryolu ve karayolu ulaşımının kesintisiz olarak devam etmesi hedeflenmiştir.

Analizde kullanılan zemin parametrelerinin belirlenmesinde arazide yapılan sondaj çalışmaları, laboratuvar deney sonuçları ve presiyometre deneyi sonuçları kullanılmıştır.

Alt geçit inşası için tasarımı yapılan top-down imalat yöntemi PLAXIS 2D bilgisayar programında modellenmiş ve analiz edilmiştir. İksa sistemi olarak Ø80cm L=13,80m fore kazıklar 100cm'de bir tasarlanmıştır. İmal edilen kazıkların üstüne 80cm yüksekliğinde başlık kirişi yapılarak kazıkların beraber çalışması sağlanmıştır.

Analiz sonucunda statik durumda sistemde meydana gelen yatay deformasyon 0,47cm, düşey deformasyonlar 3,26cm olarak ölçülmüştür. Şekil 7 dikkatli incelendiğinde hesaplanan 3,26cm düşey deformasyonun alt geçit yaklaşım dolgularında olduğu görülmektedir. İmal edilen başlık kirişinde oluşacak düşey deformasyon daha az miktarda olacaktır. Tasarlanan sistemin statik ve dinamik durumdaki güvenlik katsayıları sırasıyla 3,33 ve 3,23 olarak belirlenmiştir. Hesaplanan güvenlik katsayıları literatürde izin verilen limitlerin üzerinde kalmaktadır.

Yapılan analiz sonucunda belirlenen kesit tesirleri kazık aralığı olan 1,00m ile çarpılarak olması gereken birime getirilmektedir. Bu işlem sonucunda kazıklarda oluşacak moment kuvveti 669,1 kNm, kesme kuvveti 368,4 kN, eksenel kuvvet ise 792,6 kN olarak belirlenmiştir.

Tasarımı yapılan sistemle yapının inşa edilmesi halinde demiryolu hattı çalışırken, alt geçit kazısı güvenle yapılabilecektir.

5. Kaynaklar

1. Akçakal Ö., vd. İstanbul Boğazı Kıyısında Top-Down Yöntemi ile Derin Kazı Yapılması – Bir Vaka Analizi
2. Ankara Büyükşehir Belediyesi Kızılay Metro İstasyonu İnşaatı Fotoğraf Arşivi
3. Arıkoler. T., 2011, Top-Down Yöntemi ile Derin Kazı Yapılması ve Top-Down Yöntemine Bir Örnek, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
4. EUROCODE UIC 702 "Static loading diagrams to be taken into consideration for the design of rail carriyng structures on lines used by international services"
5. Sefi. F., 2014, Yarı Top-Down İnşaat Yönteminin Çok Sıra Ankrajlı İksa Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
6. Öztorun, N. K. (2005). Ankara Metrosu Kızılay İstasyonu örneği ile Yukarıdan Aşağı (Top-Down) inşaat yöntemi. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu.

A LANDSLIDE MODEL STUDY

Selin KORUCU[1], Mehmet İnanç ONUR[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Eskisehir Technical University, Turkey
Emails: selinkorucu@live.com, mionur@eskisehir.edu.tr

Abstract

Natural disasters cause economic damages and life losses. Landslides are one of these natural disasters due to having geologic, topographic, and meteorological conditions. Landslides frequently occur in Eastern Black Sea Region, Turkey. In this study, landslide occurrence is investigated. For this purpose, soil conditions are determined from the literature. Six different models including different slope heights and soil properties are prepared. Firstly, safety factors of slopes are calculated with two different way, empirical formula and slice methods. Then models are analyzed by using Plaxis finite element analysis platform. Differences between the results belongs the methodology and slope height are stated at the end of the study.

Keyword(s): Landslide, Plaxis, Slope Stability

1. Introduction

Slope stability is one of the most detailed topics of geotechnical engineering. There are lots of factors affecting stability problems. Potential of the failure depends on the topographic features of slopes. This potential directly causes landslide. Landslide means losing of the stabile position and moving of the active soil mass in horizontal direction with gravitational force. In some regions, landslides damage structures and causes loss of human lives. Also, it is the most frequently occurring disaster in Turkey, especially in the Eastern Black Sea Region [1]. Figure 1 shows the distribution of the Natural Disasters in Turkey.

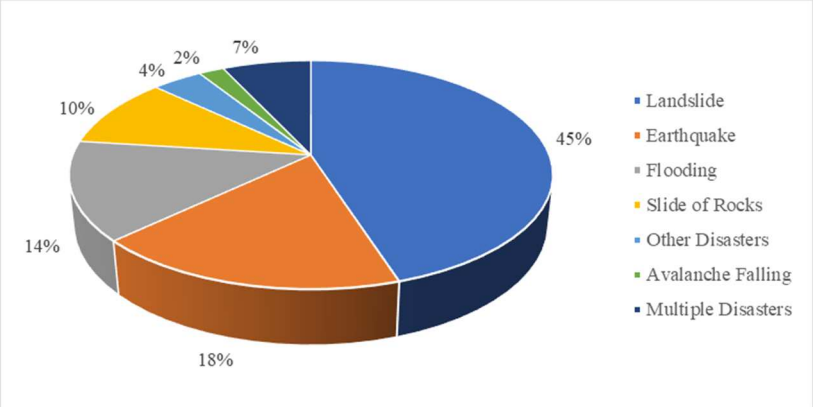


Figure 1 - Distribution of natural disasters in Turkey [1]

Topography, climate, vegetation and human influence on nature are the reasons that trigger landslides. The infinity of slopes are divided due to need for agriculture and shelter.

Soils are getting saturated because of excessive rain mostly in spring season, which causes the breakdown of stabilization. Commonly depending on the climate and human influence, the effects of landslides have been increasing year to year. Researchers have been choosing the topic of slope stability much more than previous years, which shows us the importance of taking precautions against landslides. If previous landslides are analyzed, it can be seen that the main vegetation type is forest and there is a thin organic layer on the ground surface. Sub layers consist of clay materials. Due to the negative electrons on the clay, water absorbed by clay minerals. Thus water is trapped in the soil and the soil becomes undrained. These kinds are the fourth largest soil type in Turkey with 96770 hectares [2]. Figure 2 shows the locations of the Landslides in Turkey.

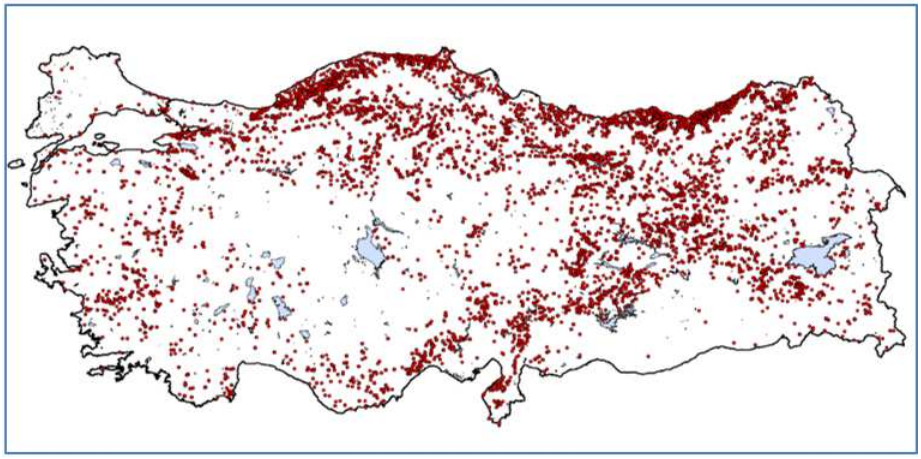


Figure 2 - Locations of the landslides in Turkey [1]

Landslides are mostly occurring in the eastern black sea region cities such as Trabzon (1123), Rize (1049), Kastamonu (613), Erzurum (573) and Artvin (471). Predicting the occurrence time of the landslides is impossible, therefore the critical regions must be analyzed and precautions should be taken in order to prevent damages. There are lots of study about slope stability in the literature, but we can summarize up-to-date ones especially for Turkey;

Ülgen and Engin are studied the dynamic analysis on landslides by using the finite element method and semi-static analysis method. Therefore; seismic stability of the slope is investigated. Dynamic analysis results and calculated displacements were evaluated together; then a prediction methodology about the permanent displacements in slopes are given. They suggest that earthquake loads on slopes and soil type behavior should be determined together [3].

Taşkıran at all are performed Plaxis software for finding two- and three-dimensional data for slope stability. Forces and displacement values are obtained with this software and they presented different collapse mechanism. [4]

Pınarlık at all modeled different slopes to find out geotextile efficiency on slope stability. Geotextiles used for blocking the soil behavior in long term and resist to ground water effects. Calculated movement risks of the slopes were given at the end of the study. [5]

Karaman investigated the difference of the numerical models and laboratory test results on the slope stability calculations. At the end of the study, determined slope stability results with different methods such as SSPC and SMR were compared with laboratory experiment results. [6]

Delibalta emphasized that the mining industry works changes the soil parameters and geometry. And these changes affect the slope stability. Because of these activities, soils can lose their features and stability problems could occurs. Main goal of the study is finding new acceptable norms for slope cuts. [7]

In this study, landslide occurrence is investigated. For this purpose, soil conditions are determined from the literature. Six different models are prepared. Models are analyzed by empirical method, slice method and Plaxis software. Differences are compared at the end of the study.

2. Model Study

Our purpose is to determine the possibility of landslide on slopes and prevent the damages caused by landslides. For this aim, soil parameters and topographic data for slope models are taken from literature especially includes the Eastern Black Sea region data. The data of the models are given in Table 1. Three different methodology are performed. Factor of safeties are calculated. After the calculation, if the result is under one, it is accepted that the slope has a risky situation for landslide. Empirical method and method of slice were used for calculations. All slope models are analyzed on Plaxis software.

Table 1 –Slopes data

Soil Parameters	Slope No:1	Slope No:2	Slope No:3	Slope No:4	Slope No:5	Slope No:6
$\gamma_{natural}$ (gr/cm^3)	1,58	1,58	1,57	1,57	1,53	1,53
Φ°	17,9	17,9	16,2	16,2	24,5	24,5
c (t/m^2)	0,9	0,9	3,9	3,9	1,4	1,4
β°	34,8	30	30	37	45,5	40
H (m)	20	40	30	20	30	15

2.1. Empirical Method

Factor of safety values determined by empirical method having a formula given in literature. Formula include, slope angle (β°), cohesion of the soil (c), internal friction angle of

soil (Φ), unit weight of soil (γ) and slop height (H). All soil values are taken from the Table 1. Factor of safety of the slopes are calculated by using Eq. 1 given in literature. The calculated results are as; 0.53, 0.49, 0.69, 0.64, 0.51 and 0.67 respectively. All results are under one therefore results show that every slope has risk for landslide.

$$F_s = \frac{c\prime}{\gamma\, H\, cos^2(\beta)\ tan(\beta)} + \frac{\tan \Phi\prime}{\tan \beta} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

2.2. Method of Slice

Generally, slope failure depends on soils features. If the soil type is clay, it will be more complicated due to the climate factors. Water cannot move easily in the clay soil and the soils gain undrained behavior. Water get trapped inside of the soil therefore a water layer occurs. This new layer does not allow the binding with other layers and thus soil mass moves. For these types of soils, slice method is more realistic to define factor of safety values. For this study, slope circles are modelled in AutoCAD software and slices are divided for every 4 meters. An example screen is given in Figure 3. Total driving and resisting forces values are determined. For the calculations, factor of safety is found by using the Eq. 2. Factor of safety results are found as 0.87, 0.21, 1.27, 1.20, 0.13 and 0.32 respectively.

$$F_s = \frac{c'.BA + tg\phi'.\sum N\prime}{\sum W.sin\alpha} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

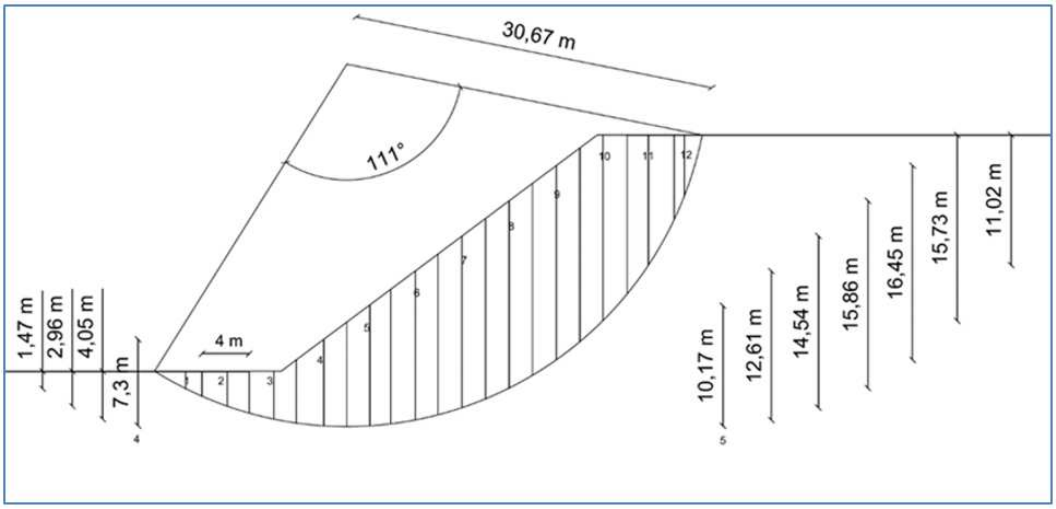


Figure 3 - First slope model

2.3. Analyses with Plaxis Software

The landslide models are analyzed with Plaxis software. Main purpose is determination of the slope movement. The models are created by using Mohr-Coulomb model and the soil parameters are taken from the literature. Each slope motions are determined. An example screen is given in Figure 4.

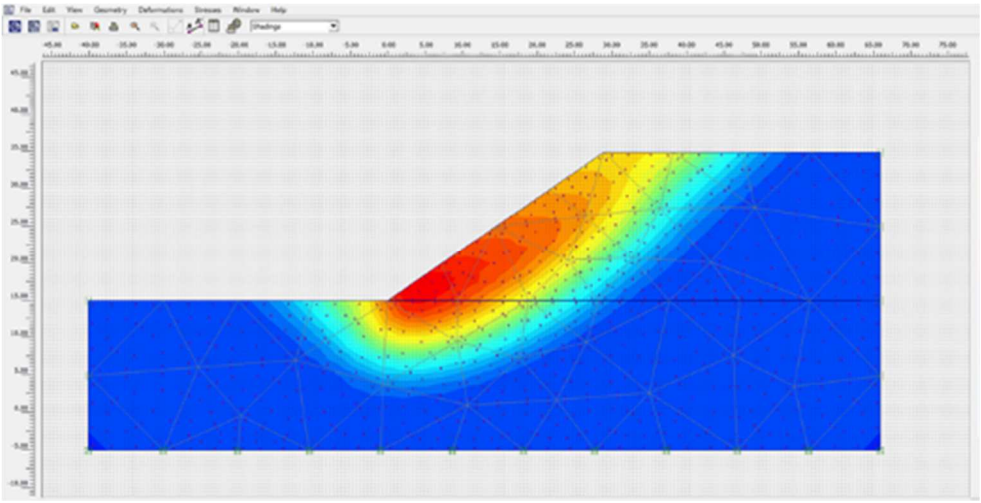


Figure 4 – An example slope movement on Plaxis

3. Results and Conclusion

Landslide is a complex problem having geologic, topographic, and meteorological factors. There are lots of factors affecting stability problems [8]. In this study, landslide occurrence is investigated. For this purpose, six different models are analyzed by using three different methodology and safety factor results are given in Table 2.

Table 2 – Safety factor results

	Empirical Method	Slice Method	Plaxis
Slope No:1	0.53	0.87	Slope Failure
Slope No:2	0.49	0.21	Slope Failure
Slope No:3	0.69	1.27	No Failure
Slope No:4	0.64	1.20	No Failure
Slope No:5	0.51	0.13	Slope Failure
Slope No:6	0.67	0.32	Slope Failure

It can be concluded from the results that, slice method gives more realistic results that empirical formula. If the height of the slope is increase, factor of safety is decrease and the slope angle is decrease, factor of safety is increase. And also Plaxis program gives compatible results with slice method. On the other hand, cohesion of the soil is more effective on the results. If the cohesion is increase, factor of safety is increase. Cohesion can provide the soil grains sticking together so sliding is prevented.

At the end of the research; it is recommended that all slides should be analyzed carefully and this study is performed for specific soil properties and slope conditions.

References

[1] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2008, Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Ankara.

[2] www.tarimziraat.com/faydali_bilgiler/toprak/408-toprak_cesitleri_nelerdir.html

[3] Ülgen D., Engin H.K., 2014, Deprem Yükleri Altında Kalıcı Şev Deplasmanlarının Tahmini, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2(1), 191-198.

[4] Taşkıran T., Yavuz V.S., Keskin MS.., 2015, Şev Stabilitesinin İki Ve Üç Boyutlu Modeller İle İncelenmesi, Mühendislik Dergisi 6(1), 1-8.

[5] Pınarlık M., Kardoğan P.S.Ö., Demircan R.K., 2017, Şev Stabilitesine Zemin Özelliklerinin Etkisinin Limit Denge Yöntemi ile İrdelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 5(3), 675-684.

[6] Karaman K., 2013, Kaya Şev Duraylılığının Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi (Ünye, Ordu), Jeoloji Mühendisliği Dergisi 37 (1), 27-47.

[7] Delibalta MS., Erkin N.S., 2004, Hipoplastik Model ile Pasa Şev Stabilite Analizi ve Rehabilitasyonu, İTÜ Dergisi 3(2), 57-68.

[8] Korucu S., 2018, Doğu Karadeniz Heyelan Probleminin Modellenmesi Ve Kazıklı Temel Tasarımı, Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Lisans Tezi.

HEYELAN PROBLEMİ İÇİN İKSA SİSTEMİ MODELİ

Selin KORUCU[1], Mehmet İnanç ONUR[2]

[1,2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Türkiye
E-posta: selinkorucu@live.com, mionur@eskisehir.edu.tr

Özet

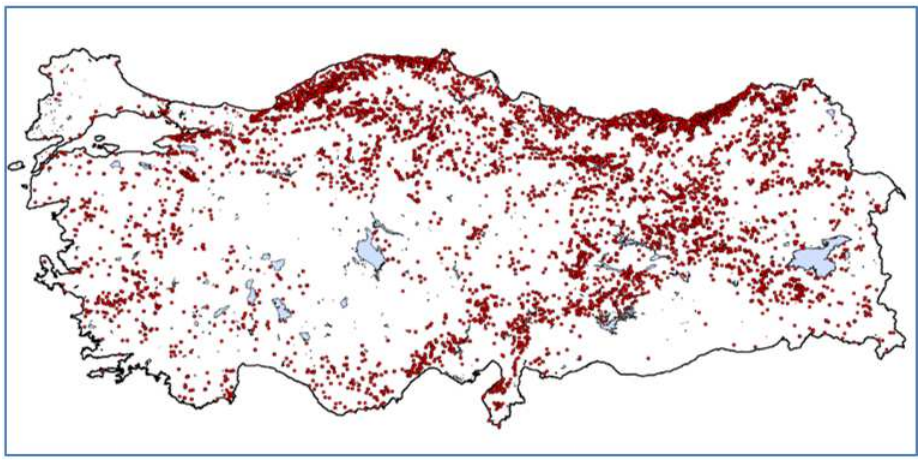
Doğal afetler insan kaybının yanı sıra büyük ekonomik kayıplara da yol açmaktadır. Heyelanlar ise topografik, meteorolojik ve jeolojik koşullara bağlı olarak meydana gelmektedir. Özellikle ülkemizde Karadeniz Bölgesinde sıkça gözlemlenen heyelanlar önemli hasarları meydana getirmektedir. Bu çalışmada heyelan felaketi için önlem olarak uygulanan iksa sistemi tasarımı araştırılmıştır. Oluşturulan modeller için bölge özelliklerine uygun olarak zemin özellikleri literatürden alınmıştır. Bölgenin topografik durumu dikkate alınarak iki farklı heyelan modeli oluşturulmuş ve öncelikle stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Modeller ankrajlı iksa duvar sistemi ile Plaxis programı yardımı ile tekrar analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda ankrajlı iksa duvar sisteminin heyelan probleminin önlenmesi için olumlu etkileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Plaxis, İksa sistemi.

1. Giriş

Şevlerin analiz edilmesi ve şev kaymalarına karşı önlem alınması günümüz inşaat mühendisliği konularının başında gelmektedir. Şevlerin stabilitesi üzerinde birçok faktörün etkisi bulunmaktadır. Öncelikle topoğrafik nedenler ile şev stabiliteleri bozulmaktadır. Heyelanlar yerçekimi, eğim, su içeriği ve jeoloji gibi faktörlerin etkisiyle zemin kütlelerinin yerlerinden koparak hareket etmesi olayı olarak tanımlanmaktadır. Heyelanlar, asırlar boyunca can ve mal kayıplarına sebebiyet vermiştir ancak, zemin mekaniği teorilerinin gelişmesi ile heyelanları inceleme yöntemleri de gelişmiştir.

Ülkemizde heyelan problemi ile en sık olarak Karadeniz bölgesinde karşılaşılmaktadır [1]. Bölgede topoğrafik koşulların yanı sıra, yağmurlu iklim ve insan etkisi de önemli rol oynamaktadır. Son yıllarda insan faaliyetlerinin yanı sıra bitki örtüsünde yaşanılan değişimde heyelanların görülme riskini artırmıştır. Yapılan çalışmalar bölgede gerekli önlemlerin acilen alınması gerektiğini aksi halde heyelan görülme sıklığında büyük artışlar yaşanacağını göstermektedir. Geçmiş heyelanalar incelendiğinde kil tabakası üzerinde ağaçlar ve ince bir nebati toprak bulunduğu, aşırı yağışlar nedeniyle de kil zeminde aşırı bir yumuşama meydana geldiği görülmüştür. Bünyesine su absorbe etmiş yumuşak killerde yerçekimi etkisiyle stabilite kaybı yaşanmış ve heyelanlar meydana gelmiştir. Karadeniz bölgesinde Trabzon, Rize ve Kastamonu şehirleri geçmiş kayıtlara göre en fazla heyelan meydana gelmiş şehirler olarak öne çıkmaktadır [2]. Şekil 1'de ülkemizde meydana gelen heyelanlar verilmiştir.



Şekil 1 – Türkiye heyelan haritası [1]

Heyelan ve şevlerin stabiliteleri üzerine literatürde birçok çalışma bulunmakta olup, özellikle ülkemiz için yapılan çalışmalar şu şekilde özetlenebilir;

Ülgen ve Engin (2014) şev kaymalarının sonlu elemanlar yöntemi ile analizini incelemişlerdir. Özellikle sismik etki altında şevlerde meydana gelen yer değiştirmeler nümerik olarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda yapılan farklı model analizleri ile yer değiştirmelerin tahmini için bir yöntem önerilmiş ve sismik yüklerin etkisinde şevlerin hareketi üzerinde zemin tipinin önemi vurgulanmıştır [3]. Taşkıran ve ark. (2015) Plaxis paket programı ile iki ve üç boyutlu analizler gerçekleştirerek heyelanlara neden olan kuvvetleri araştırmışlardır. Kuvvetlerin meydana getirdiği göçme tipleri modellenmiş ve göçme mekanizmasına bağlı yer değiştirmeler çalışma sonucunda sunulmuştur [4]. Pınarlık ve ark. (2017) Heyelan probleminin önlenmesi için geotekstil kullanımı üzerine yaptıkları çalışmada farklı şev modellerini nümerik olarak analiz etmişlerdir. Geotekstillerin şevlerin stabilitesine olumlu katkı yaptığı çalışma sonucunda belirtilmiştir. Ayrıca zeminin uzun dönem davranışının analizi ve su etkisinin şev stabilitesi problemlerinde mutlaka değerlendirilmesi gerektiği önerilmiştir [5]. Karaman (2013) stabilite analizlerinde kullanılan nümerik analiz yöntemleri ile laboratuvar testlerini karşılaştırmıştır. Nümerik yöntemler ile elde edilen şev stabilite değerleri laboratuvar ortamında yapılan testler ile kıyaslanmış ve sonuçlar arasındaki uyum gösterilmiştir [6]. Delibalta (2004) maden faaliyetleri sırasında şevlerin stabilitesinde meydana gelen olumsuzlukları incelemiş, sebep olarak ise zemin parametreleri ve geometride meydana gelen değişimi göstermiştir [7].

Heyelanların ansızın meydana gelmesi ve önceden zamanının kestirilememesi nedeniyle, olası bir felaketin önüne geçebilmek için önceden önlem alınması gereklidir. Bu çalışmada heyelanları önlemek için uygulanan ankrajlı duvar uygulaması modellenmiştir. Karadeniz bölgesine ait gerçek zemin değerleri ve şev geometrisi kullanarak hazırlanan modeller Plaxis programı ile analiz edilmiştir.

2. Model Çalışması

Heyelan problemine karşı birçok önlem geliştirilmiş olup bu çalışmada ankrajlı duvar uygulaması analiz edilmiştir. Bu amaçla öncelikle ülkemizde ençok heyelan görülen bölgemiz olan Karadeniz bölgesinin zemin özellikleri geçmiş çalışmalardan alınmıştır. Benzer şekilde geçmiş vaka analizlerinden bölge topografyası bilgileri derlenmiştir. Bu veriler ışığında 2 farklı model oluşturulmuş ve literatürde şev stabilite analizi problemlerinin çözümünde önerilen dilim metodu ile kaymaya karşı güvenlik sayıları hesaplanmıştır. Model parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 – Model parametreleri

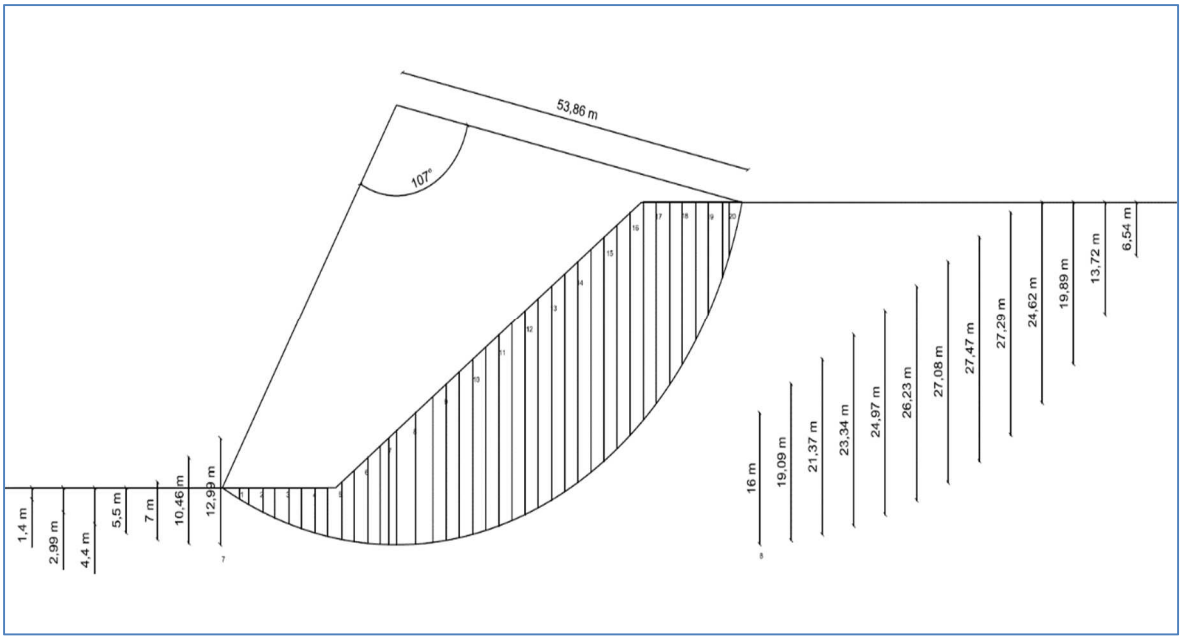
Zemin Parametreleri	Şev No:1	Şev No:2
Zemin birim hacim ağırlığı (gr/cm³)	1,62	1,36
Zemin içsel sürtünme açısı (°)	24,91	29,36
Zemin kohezyon değeri (t/m^2)	0,11	0,12
Şev açısı (°)	37	35
Şev yüksekliği (m)	35	30

2.1. Şevlerin Analizi

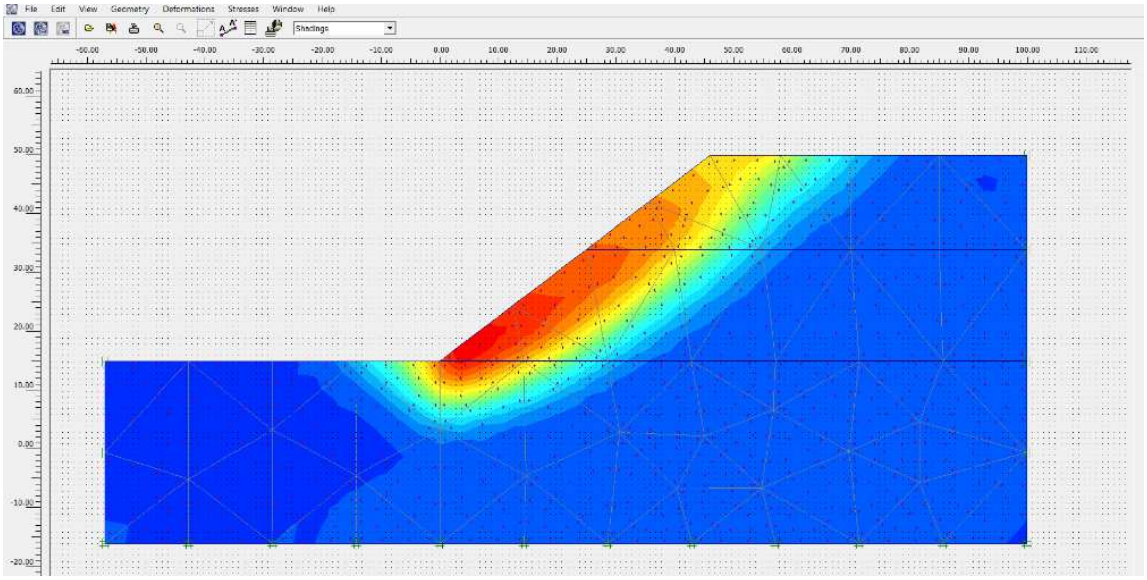
Şev analizi için literatürde birçok farklı yöntem ve eşitlik önerilmiştir. Özellikle güvenlik sayısı hesabına dayanan ampirik formüller sıkça kullanıldığı gibi nümerik yaklaşımlarda bulunmaktadır. Ancak, bu yöntemler içerisinden dilim metodu olarak isimlendirilen ve şevi dilimlere bölerek, dilimlerin kütlelerinin hesaplanması ve güvenlik sayısı elde edilmesine dayalı yöntem uygulamacılar arasında en çok kullanılan yöntemdir. Bu çalışma için, modeller AutoCAD programı ile çizilmiş ve her dört metrede bir dilimleme yapılmıştır. Toplam harekete neden olan kuvvetler ile karşı koyucu kuvvetler hesaplanmış güvenlik sayıları ise 0,14 ile 0,18 olarak hesaplanmıştır. 1 nolu şev için şevin kayma bölgesinin dilimlenmiş gösterimi Şekil 2' de verilmiştir.

2.2. Plaxis Programı ile Analiz

Şevler Plaxis programı yardımı ile de analiz edilmiştir. Güvenlik sayısı analizi yapılmadan yalnızca heyelan meydana gelip gelmediği ve zeminin hareketi gözlemlenmiştir. Plaxis analizlerinde Mohr-Coulomb modeli ile çözüm yapılmıştır. 1 nolu şevin Plaxis analiz sonucu Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 2 - Şev modeli-1



Şekil 3 – 1 nolu şevin Plaxis ile analizi

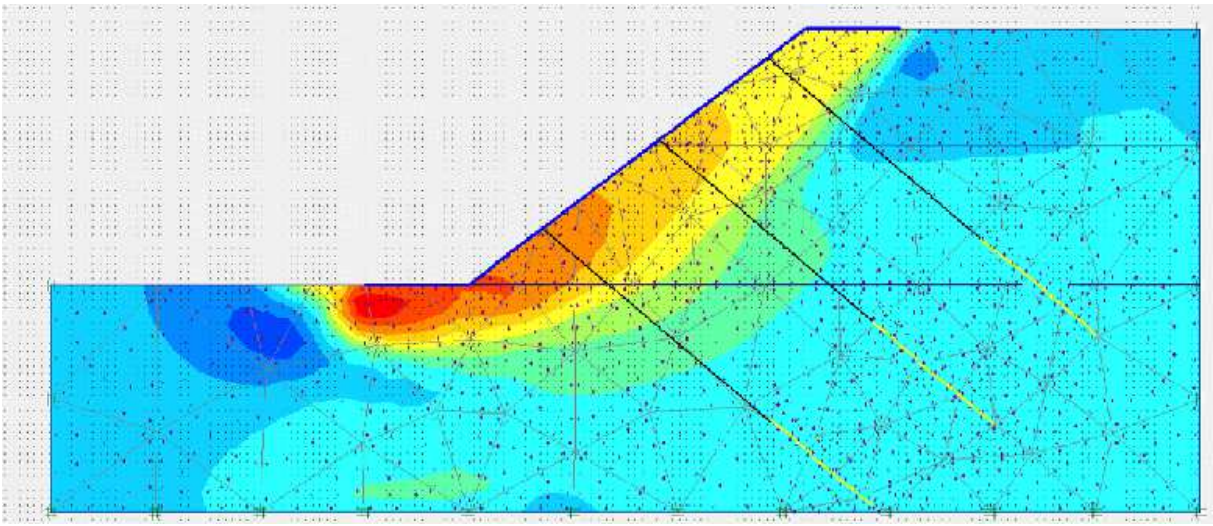
2.3. İksa Sistemi Analizi

Çalışma kapsamında ankrajlı iksa duvarın heyelan problemine karşı bir önlem olarak etkinin araştırılması amacıyla modeller yeniden Plaxis programı ile analiz edilmiştir. Literatürde verilen duvar ve ankraj özellikleri dikkate alınarak ve sektörde uygulanan tasarım parametreleri ile iksa modelleri oluşturulmuştur. Ankrajların yapısal parametreleri Tablo 2' de

verilmiş olup, 22 metre serbest ve 8m'lik kök bölgesi tanımlanmıştır. Örnek bir analiz sonucu Şekil 4' de verilmiştir.

Tablo 2 –Ankrajların yapısal parametreleri

	Serbest bölge	Kök bölgesi
EA	8.2.104	6.2.109



Şekil 4 – 1 nolu şevin iksa sisteminin Plaxis ile analizi

3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Heyelanlar jeolojik, topografik ve meteorolojik etkenlere bağlı olarak meydana gelmektedir. Ancak heyelan riski olan şevlerde çeşitli önlemler alınarak heyelan potansiyeli düşürülebilmektedir [8]. Bu çalışmada heyelan problemine karşı tasarlanan ankrajlı iksa sistemi analiz edilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde iksa sistemi ile heyelan probleminin engellendiği ve zemin hareketinin topuğa kaydığı gözlemlenmiştir. İksa sistemi olmadan yapılan analizlerde şev yüzeyinde şev yüksekliği boyunca kütle hareketi gözlemlenirken, iksa sisteminin teşkili ile bu yalnızca topuk bölgesinde küçük deformasyonlar oluştuğu görülmüştür.

Çalışma sonuçlarının modellerde kullanılan girdiler ışığında elde edildiği dikkate alınarak, heyelan potansiyeli olan şevler için tüm faktörler göz önüne alınarak analizler yapılması gerektiği önerilmektedir.

Kaynakça

[1] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2008, Türkiye'de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Ankara.

[2] www.tarimziraat.com/faydali_bilgiler/toprak/408-toprak_cesitleri_nelerdir.html

[3] Ülgen D., Engin H.K., 2014, Deprem Yükleri Altında Kalıcı Şev Deplasmanlarının Tahmini, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2(1), 191-198.

[4] Taşkıran T., Yavuz V.S., Keskin MS.., 2015, Şev Stabilitesinin İki Ve Üç Boyutlu Modeller İle incelenmesi, Mühendislik Dergisi 6(1), 1-8.

[5] Pınarlık M., Kardoğan P.S.Ö., Demircan R.K., 2017, Şev Stabilitesine Zemin Özelliklerinin Etkisinin Limit Denge Yöntemi ile İrdelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 5(3), 675-684.

[6] Karaman K., 2013, Kaya Şev Duraylılığının Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi (Ünye, Ordu), Jeoloji Mühendisliği Dergisi 37 (1), 27-47.

[7] Delibalta MS., Erkin N.S., 2004, Hipoplastik Model ile Pasa Şev Stabilite Analizi ve Rehabilitasyonu, İTÜ Dergisi 3(2), 57-68.

[8] Korucu S., 2018, Doğu Karadeniz Heyelan Probleminin Modellenmesi Ve Kazıklı Temel Tasarımı, Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Lisans Tezi.

İstatistiksel Ölçek İndirgeme Yöntemi ile NCEP/NCAR re-analiz Verilerinin Doğu Karadeniz Havzası Aylık Yağış ve Sıcaklık Değerlerine İndirgenmesi

Sinan NACAR[1], Murat KANKAL[2], Umut OKKAN[3], Tayfun DEDE[1]

[1]Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon
[2]Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa
[3]Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

Email: sinannacar@ktu.edu.tr, mkankal@uludag.edu.tr, umutokkan@balikesir.edu.tr, dtayfun@ktu.edu.tr

Özet

İstatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri büyük ölçekli atmosferik değişkenler ile noktasal olarak ölçülmüş olan meteorolojik parametreler arasındaki istatistiksel ilişkileri açıklayan yöntemlerdir. Bu çalışmada (2.5°x2.5°) çözünürlüğe sahip National Center for Environmental Prediction and National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) re-analiz veri setinde yer alan büyük ölçekli atmosferik değişkenler arasından seçilmiş olası tahminleyicileri, Doğu Karadeniz Havzası (DKH) meteoroloji istasyonlarından ölçülmüş olan yağış ve sıcaklık parametrelerine indirgeyen ölçek indirgeme modellerinin kurulması amaçlanmıştır. Bu amaçla NCEP/NCAR re-analiz veri setinde yer alan yüzeysel parametrelerden yağış, sıcaklık, deniz yüzeyi basıncı ve yüzeysel hava basıncı ile 850, 500 ve 200 hPa basınç seviyelerindeki hava sıcaklığı, jeopotansiyel yükseklik ve rölatif nem tahminleyicileri kullanılmıştır. Bu tahminleyiciler arasından modellemede etkin olanları belirlemek için tahminleyiclerin tüm olası birleşimleri ile tahmin edilen değişkenler arasındaki lineer ilişki incelenmiş ve en uygun tahminleyiciler R2, ortalama karesel hataların karekökü ve Mallow Cp ölçütlerine göre belirlenmiştir. Ayrıca tahminleyiciler arasındaki korelasyonlar incelenmiş ve birbirileri ile içsel korelasyonları yüksek olan değişkenler gruptan atılmıştır. Ölçek indirgeme yöntemi olarak havzada yer alan her bir istasyon için yapay sinir ağları (YSA) modelleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar YSA tabanlı ölçek indirgeme yönteminin büyük ölçekli atmosferik değişkenlerin istasyon ölçeğine indirgenmesinde kullanılabilir bir istatistiksel ölçek indirgeme yöntemi olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Doğu Karadeniz Havzası, İstatistiksel ölçek indirgeme, NCEP/NCAR, Yapay sinir ağları

1. Giriş

Hidrolojik ve meteorolojik çalışmalar su kaynaklarının ve hidrolojik süreçlerin iklim değişikliği sebebi ile özellikle sera gazları ve sıcaklığın artmasıyla önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 5. Raporunda da ifade edildiği gibi iklimin en önemli parametrelerinden olan yağış ve sıcaklık değerlerinde dünyanın birçok bölgesinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Bu raporda küresel anlamda meydana gelen sıcaklık değişiminin %95-%100 oranında insan etkisiyle meydana geldiği kesin bir ifade ile vurgulanmıştır (IPCC, 2013; Okkan ve Fıstıkoğlu, 2014). İklim değişikliğinin

bölgesel ölçekte etkilerinin belirlenebilmesi için genel dolaşım modellerinin (GDM) büyük ölçekteki tahminlerinin bölgesel ölçeğe indirgenmesi gerekmektedir. Dinamik ve istatistiksel ölçek indirgeme yöntemleri büyük ölçekli sayısal ağa sahip re-analiz ve küresel dolaşım modeli çıktılarının bölgesel ölçeğe indirgenmesi için kullanılan en yaygın yaklaşımlardır (Wilby ve Wigley 1997). Dinamik ölçek indirgeme yöntemi, düşük çözünürlüğe sahip küresel model çıktılarını, sınırlı alan modelleri olarak da adlandırılan bölgesel iklim modelleri (RCM) ile daha yüksek çözünürlükte (10-50 km) üretebilen yöntemlerdir. Bu yöntemde başlangıç koşulları, ölçeği indirgenecek olan küresel dolaşım modelinden alınmaktadır. Dinamik ölçek indirgeme yöntemlerinde küresel modellere benzer fiziksel ve kimyasal süreçler yer almaktadır (Atay, 2015). Dinamik ölçek indirgeme yönteminden elde edilen sonuçlar bir anlamda GDM ve yerel özelliklerin birlikte belirlediği yerel tahminler olarak nitelendirilebilir. Buradaki en büyük zorluk ise, alan küçülmesine rağmen çözünürlüğün artması ve yerel şartların hesaplamalara dâhil olması nedeniyle önemli bir bilgisayar kapasitesine ihtiyaç duyulmasıdır (MGM, 2015). İstatiksel ölçek indirgeme yöntemleri, GDM çıktıları ile gözlem verileri arasındaki istatistiksel ilişkileri kullanan yöntemleridir. Bu yöntemler yerel iklimi temsil ettiği düşünülen atmosferik değişkenler ile yerel ölçekte gözlenen değişkenler arasında birtakım bağıntıların kurulması esasına dayanmaktadır. Çok değişkenli doğrusal-doğrusal olmayan regresyon tipleri, yapay sinir ağları (YSA) algoritmaları, destek vektör makinaları, asal bileşen analizi, kanonik korelasyon analizi gibi birçok yöntem bu kapsamda ele alınmaktadır (Okkan ve Fıstıkoğlu, 2014; Fıstıkoğlu ve Okkan 2010). İstatistik ölçek indirgeme yöntemi ihtiyaç duyulan bilgisayar gücü kapasitesinin, alanında uzman kişi sayısının ve ihtiyaç duyulan değişken sayısının az olması sebepleriyle literatürde sıkça kullanılmaktadır (Wilby vd., 1998; Mearns vd., 1999; Chen vd., 2012; Wagesho vd., 2012).

Bu çalışmanın amacı (2.5°x2.5°) çözünürlüğe sahip NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Centers for Atmospheric Research) re-analiz veri setinde yer alan büyük ölçekli değişkenlerin YSA tabanlı ölçek indirgeme yöntemi kullanılarak istasyon ölçeğine indirgenmesidir. Geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde Doğu Karadeniz Havzası (DKH) için istatistik ölçek indirgeme yöntemleri kullanılarak yapılan herhangi bir ölçek indirgeme çalışmasına rastlanmamıştır. Çalışma alanı Türkiye'nin en fazla yağış alan bölgesi olması, sık sık taşkınlara maruz kalması ve hidroelektrik enerji potansiyeli bakımından oldukça önemlidir. Bu çalışmanın, kurulacak olan ölçek indirgeme modellerinin daha sonra küresel dolaşım modellerine uygulanması ile iklim değişikliğinin gelecek dönemlerde DKH iklim parametreleri üzerindeki olası etkilerinin tahmin edilmesinde kullanılmasına bir altlık sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Kullanılan Veriler ve Yöntemler

2.1.Çalışma alanı

Türkiye'nin kuzeyinde yer alan DKH, doğuda Yeşilırmak Havzası ve batıda Çoruh Havza ile çevrelenmektedir. Havza coğrafi bakımdan 40°15' – 41°34' kuzey enlemleri ile 36°43' – 41°35' doğu boylamları arasında yer almaktadır. DKH 2.285.231 hektar alanla Türkiye'nin %2,92'sini teşkil etmektedir. Toplam yağış alanı 22.844 km^2 olan DKH'nin yıllık ortalama yağış yüksekliği 1.198 mm; yıllık ortalama akışı ise 566,23 m^3/s'dir. Yıllık ortalama verimi 23,57 $L/s/km^2$ olan havzadaki akışın yağışa oranı 0,62'dir. Havza, kuzeyde Karadeniz, doğuda

Kaçkar Dağları, güneyde Yamanlı, Soğanlı, Kemer, Iğdır Dağları, batıda Çarşamba Ovası'nın doğusuna kadar uzanmaktadır. Havzanın en önemli akarsuyu 160 km uzunluğunda olan Harşit Çayı'dır. Diğer en önemli akarsular Curi Deresi, Melet Irmağı, Bolaman Çayı, Elekçi Irmağı, Turnasuyu, Pazarsuyu, Aksu Çayı, Yağlı Dere, Fol Deresi, Kale Deresi, Değirmendere (Maçka Deresi), Yanbolu Deresi, Manahoz Deresi (Gürçay), Solaklı Deresi, Paşa Deresi, İyidere ve Fırtına Deresi'dir. Güney-kuzey yönünde uzanan akarsuların çoğu birbirinden bağımsız olarak kuzey yönünde Karadeniz'de sonlanmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası akarsularının hemen hepsi kaynaklarını, kıyıya paralel olarak uzanan dağların doruklarından alırlar. Yamaçlardan hızla inen akarsular, özellikle sağanaklardan sonra taşan kısa boylu ırmak ve derelerdir. Bu akarsular kar ve bol yağmur suları ile beslendiklerinden ve aynı zamanda fazla buharlaşması olmayan ılıman iklimde bulunduklarından yatakları hiçbir zaman kurumaz (SYGM, 2016). Havza sınırları ve havzada yer alan akarsular Şekil 1'de verilmektedir.

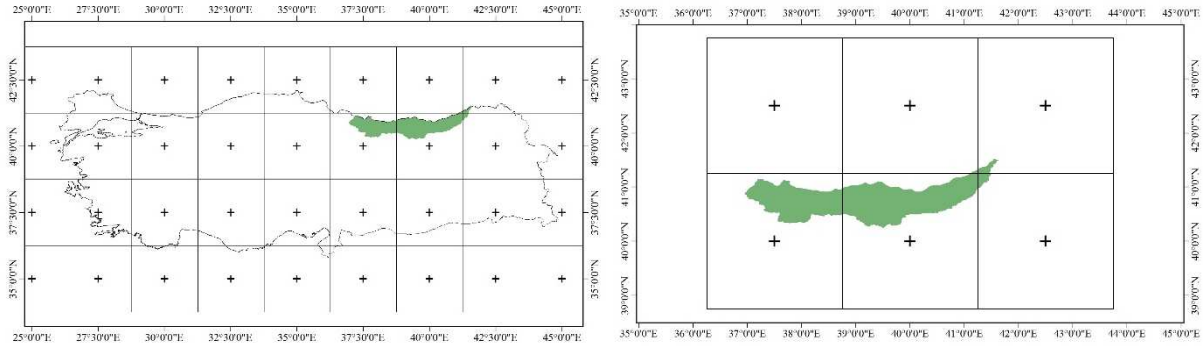
Şekil 1. Doğu Karadeniz Havzası.

DKH, Karadeniz Bölgesi'nin doğusunda sularını Karadeniz'e boşaltan Terme Çayı'ndan Hopa yakınlarındaki küçük dereler yağış alanlarına kadar uzanan bir kuşağı kapsamaktadır. Havza Türkiye'nin en fazla yağış alan coğrafî bölgesidir. Bu alanda; en fazla yağışın düştüğü Rize çevresindeki yıllık ortalama yağış miktarı, 650 mm civarında olan Türkiye ortalamasının dört katına yaklaşmaktadır. DKH'nin farklı kesimlerinde yerel koşullardan kaynaklanan özelliklere bağlı olarak yağış dağılışında önemli farklılıklar bulunmakla birlikte, özellikle kuzey yamaçlarında düzenli bir yağış rejimi etkili olmaktadır. Yıllık yağışın aylara dağılışı incelendiğinde, bazı dalgalanmalar görülmekle birlikte her ayın yağışlı olduğu ve en fazla yağış alan Rize, Hopa, Pazar merkezlerinde; eylül, ekim, kasım aylarındaki yağış miktarının 250 mm'yi geçtiği; en fazla yağışın düştüğü ekim ayında bu değerin 300 mm'ye yaklaştığı görülmektedir (SYGM, 2016).

2.2.NCEP/NCAR re-analiz veri seti

NCEP/NCAR kuruluşları, atmosfer çalışmaları ve iklim olaylarının anlaşılması için 1948 yılından günümüze küresel atmosfer analizlerini içeren veri setlerini oluşturmakta ve kullanıma sunmaktadır. Bu küresel iklim veri seti birçok ülkenin ulusal arşivleri, meteoroloji gözlem istasyonları, gemi ve uçak gözlemleri, uydu verileri ve hava tahmin modelleri kullanılarak

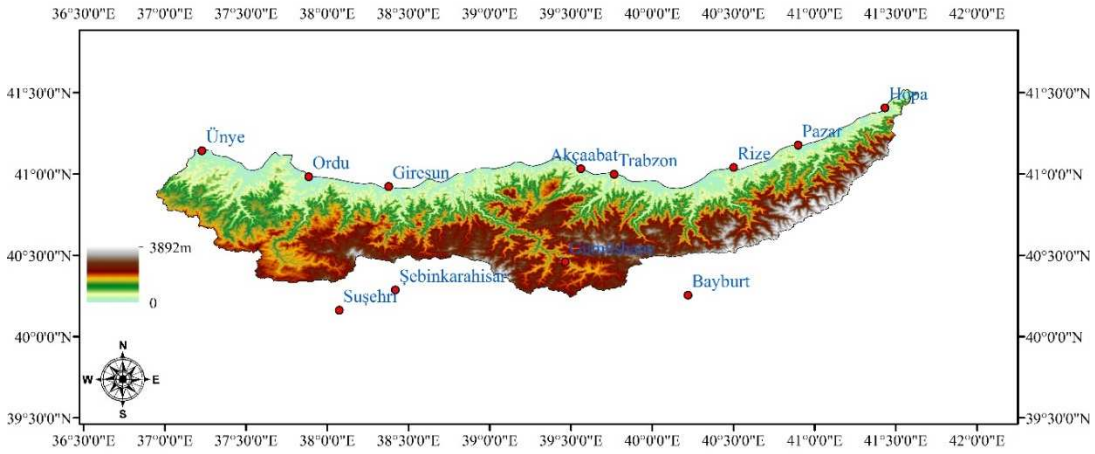
spektral istatistiksel interpolasyon yöntemi ile 210 km (2.5°x2.5°) çözünürlüklü olarak hazırlanmakta ve re-analiz (yeniden analiz) verileri olarak adlandırılmaktadır (Kalnay vd., 1996). NCEP/NCAR re-analiz verileri pek çok ölçek indirgeme çalışmasında bölgesel tahminleyici olarak kullanılmıştır (Wilby vd., 2002; Salathe 2003; Timbal vd., 2003; Bürger ve Chen 2005; Rong vd., 2010; Okkan ve Fıstıkoğlu 2014; Okkan ve Karakan 2016). Şekil 2 Türkiye'yi kapsayan NCEP/NCAR sayısal ağlarını göstermektedir. Çalışma bölgesini temsil edeceği düşünülen sayısal ağlar şekilde gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında da kullanılacak olan NCEP/NCAR re-analiz verilerine NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)'nın internet sitesinden erişilmiştir. Bu kapsamda Şekil 2'de belirlenen sayısal ağlara ait veriler ArcGIS yazılımı kullanılarak okunmuş ve ölçek indirgeme modellerinde kullanılmıştır. Havzayı kapsayan altı sayısal ağ ile aylık ortalama yağış ve sıcaklık gözlem değerleri arasındaki korelasyonlar incelenerek istasyonlar ila yüksek korelasyona sahip sayısal ağlardaki iklim parametreleri ölçek indirgeme modellerinin girdi değişkenleri olarak kullanılmıştır.



Şekil 2. Türkiye'yi ve Doğu Karadeniz Havzasını kapsayan NCEP/NCAR sayısal ağları

2.3.Meteorolojik veriler

Bu çalışma kapsamında DKH'de yer alan meteoroloji istasyonlarına ait veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Havza sınırları içinde yer alan ve havzayı temsil ettiği düşünülen 1981-2010 yıllarını da kapsayan 30 yıllık ölçülmüş veri setine sahip olan istasyonlar belirlenmiştir. Bu istasyonların havza üzerindeki yerleşimleri ise ArcGIS yazılımı kullanılarak oluşturulan sayısal yükseklik model üzerinde gösterilmiştir. (Şekil 3). İstasyonlardan alınmış olan 1981–2010 arasındaki 30 yıllık dönemi kapsayan aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişkenleri iki gruba bölünmüştür (n1:15 yıl (1981-1995); n2:15 yıl (1996-2010). Bu veri grupları YSA modellerinde sırasıyla eğitim ve (doğrulama + test) aşamalarında kullanılan veri gruplarıdır.



Şekil 3. DKH'de yer alan meteoroloji istasyonları ve sayısal yükseklik modeli

2.4.Yapay sinir ağları (YSA)

YSA'lar insan beyninin davranışını taklit etmek için geliştirilen hesaplamalı bir zekâ tekniklerdir (Bayram vd., 2012). Teknik olarak bir YSA'nın en temel görevi, kendisine gösterilen bir girdi takımına karşılık gelebilecek bir çıktı takımı belirlemektir. Bunu yapabilmesi için ağ, ilgili olayın örnekleri ile eğitilerek (öğrenme) genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulur. Bu genelleme ile benzer olaylara karşılık gelen çıktı takımları belirlenir (Öztemel, 2006). YSA'lar günümüzde birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar doğrulukları bakımından YSA'ların karmaşık mühendislik problemlerin çözümünde uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Doksanların başından beri, YSA'lar yağış-akış modellemesi, taşkın tahmini, yeraltı suyu modellemesi, su kalitesi, su yönetimi politikası, sediment tahmini, hidrolojik zaman serileri ve hazne işletmesi gibi hidrolojik ilgi alanlarında başarıyla kullanılmıştır (Turan ve Yurdusev 2009; Kankal vd. 2011; Bayram vd. 2014). Literatürde kullanımına sıkça rastlanan ve bu sebeple bu çalışmada da kullanılmasına karar verilen çok katmanlı algılayıcılar modelinde girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş temel elemanı bulunmaktadır (Dipova ve Cangir, 2010). Çok değişkenli bir YSA modelinde modeli oluştururken özellikle gizli katman sayısı, gizli katmanda yer alacak işlem elemanı sayısı, gizli katmanda ve girdi katmanında yer alacak aktivasyon fonksiyonları ile öğrenme algoritması gibi parametrelerin belirlenmesi önem taşımaktadır. Ancak bu parametrelerin belirlenmesi için kesin bir önerme olmaması nedeniyle parametreler deneme yanılma yoluyla elde edilir (Kaastra ve Boyd, 1996; Aslay ve Özen 2013). Bu çalışmada da ara katman eleman sayısı deneme yanıma yolu ile belirlenmiştir. Ayrıca geçmiş çalışmalarda kullanımına sıklıkla rastlanan Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Levenberg-Marquardt algoritması, Newton metodunun hızıyla, gradyant azalan metodun sağlamlığının bileşkesidir ve Levenberg-Marquardt algoritması geriye yayılım algoritmaları arasında en hızlı olanıdır. Uygulamada problemin türüne uygun olması ayrıca hızlı ve öğrenme hatasının düşük olması sebebiyle bu öğrenme algoritması tercih edilmiştir (Hagan ve Menhaj, 1994).

3. Yapılan Çalışmalar

3.1.Potansiyel tahminleyicilerin belirlenmesi

Genel olarak potansiyel tahminleyicilerin belirlenmesi ölçek indirgenecek parametreye ve çalışma alanına bağlıdır. Ölçek indirgeme çalışmalarında tahmin edilen parametre ile yüksek

korelasyona sahip parametreler tahminleyici olarak kullanılabilmektedir. Ancak çok sayıda tahminleyicinin kullanılması her zaman tahmin doğruluğunu arttırmazlar. Bu sebeple geçmiş çalışmalarda potansiyel tahminleyicileri daha az sayıda tahminleyiciye dönüştüren temel bileşenler analizi, tekil değer ayrışımı, kanonik korelasyon analizi gibi analiz yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır (Dehn vd., 2000; Müller vd., 2000; Hansen vd., 2004). Bunların yanı sıra girdi parametreleri arasındaki tüm olası kombinasyonların girdi takımı olarak denendiği ve en iyi kombinasyonun çeşitli kriterlere göre belirlendiği yöntemler de mevcuttur (Fıstıkoğlu ve Okkan, 2010). Bu çalışma kapsamında Tablo 1'de verilen olası tahminleyicilerin bir birileri ile oluşturabilecekleri tüm birli, ikili üçlü, … , 12'li kombinasyonları oluşturularak ölçek indirgenecek parametre ile aralarındaki doğrusal ilişki incelenmiş ve potansiyel tahminleyiciler R^2, ortalama karesel hatanın karekökü (OKHK) ve Mallow-Cp istatistiklerine göre belirlenmiştir. Ayrıca girdi değişkenlerinin kendi aralarındaki içsel korelasyonları da incelenmiş ve birbirileri ile içsel korelasyonu yüksek olan değişkenlerden biri gruptan çıkarılmıştır.

Tablo 1. NCEP/NCAR re-analiz veri setinde yer alan tahminleyiciler

Atmosferik Seviyeler	Değişkenler	Çözünürlük (°)
200hPa	air200 (°C)	2.5x2.5
	hgt200 (m)	2.5x2.5
500hPa	air500 (°C)	2.5x2.5
	hgt500 (m)	2.5x2.5
	rhum500 (%)	2.5x2.5
850hPa	air850 (°C)	2.5x2.5
	hgt850 (m)	2.5x2.5
	rhum850 (%)	2.5x2.5
Yüzey	air (°C)	2.5x2.5
	press (mb)	2.5x2.5
	slp (mb)	2.5x2.5
	Prate (kg/m^2)	1.875x1.904736

Tablo 1'de air hava sıcaklığını, prate yağışı, hgt jeopotansiyel yüksekliği, rhum rölatif nemi, press yüzey basıncını, slp deniz yüzeyi basıncını, 200, 500 ve 850 değerleri ise basınç seviyelerini göstermektedir. Tablodan da anlaşılacağı üzere bu çalışmada üç farklı basınç seviyesi ve yüzey iklim parametreleri ölçek indirgeme modellerinin girdileri olarak seçilmiştir. Bu girdi değişkenleri arasından potansiyel tahminleyicilerin belirlenmesinde kullanılan R^2, OKHK ve Mallow-Cp istatistiklerine ait eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{t=1}^{n}(Q_{g,t}-\overline{Q_g})(Q_{m,t}-\overline{Q_m})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(Q_{g,t}-\overline{Q_g})^2}\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(Q_{m,t}-\overline{Q_m})^2}} \right]^2 \quad (1)$$

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_{g,t}-Q_{m,t})^2} \quad (2)$$

$$C_p = (n-k)\frac{S_i^2}{S_F^2} - (n-2i) \quad (3)$$

R^2 ve OKHK eşitliklerindeki Q_{gt} gözlem değerlerini, Q_{mt} model tahminlerini, $\bar{Q}_m$ tahmin değerleri ortalamasını ve $\bar{Q}_g$ gözlem değerleri ortalamasını ifade etmektedir. C_p eşitliğindeki n gözlem veri sayısını, i değeri modelde kullanılan değişken sayısının bir fazlasını, S_i (i) değişkenli model için ortalama karesel hatayı, S_F tüm bağımsız değişkenler kullanılarak elde edilen tahminlere ait ortalama karesel hatayı, k toplam bağımsız değişken sayısını ifade etmektedir. Yapılan bu analizler sonucunda elde edilen yağış ve sıcaklık potansiyel tahminleyicileri Trabzon istasyonu için sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Sayfa sınırlaması olduğu için sadece Trabzon istasyonuna ait potansiyel tahmnileyicileri verilebilmiştir.

Tablo 2. Trabzon istasyonuna ait yağış değerleri tahminleyicilerinin belirlenmesi

BDS	R^2	RMSE	Cp	air850	hgt850	rhum850	air500	hgt500	rhum500	air200	hgt200	air	press	slp	prate
1	0.24	0.87	110.49												▲
2	0.32	0.83	62.89							▲					▲
3	0.35	0.81	50.23		▲					▲					▲
4	0.39	0.79	26.88	▲						▲		▲			▲
5	0.39	0.79	24.58	▲					▲	▲		▲			▲
6	0.41	0.78	16.30				▲	▲		▲		▲		▲	▲
7	0.43	0.77	8.84				▲	▲	▲	▲		▲		▲	▲
8	0.43	0.77	8.83	▲			▲	▲	▲	▲		▲		▲	▲
9	0.43	0.76	7.74	▲		▲	▲	▲	▲	▲		▲		▲	▲
10	0.43	0.76	9.29	▲		▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲
11	0.434	0.77	11.093	▲		▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
12	0.435	0.77	13.000	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

Tablo 3. Trabzon istasyonuna ait sıcaklık değerleri tahminleyicilerinin belirlenmesi

BDS	R^2	RMSE	Cp	air850	hgt850	rhum850	air500	hgt500	rhum500	air200	hgt200	air	press	slp	prate
1	0,99	0,14	183,42									▲			
2	0,99	0,13	99,90				▲					▲			
3	0,99	0,12	33,62				▲	▲				▲			
4	0,99	0,12	13,51				▲					▲	▲	▲	
5	0,99	0,12	7,27				▲					▲	▲	▲	▲
6	0,99	0,12	5,78				▲				▲	▲	▲	▲	▲
7	0,99	0,12	6,60				▲	▲		▲		▲	▲	▲	▲
8	0,99	0,12	6,10	▲			▲	▲		▲		▲	▲	▲	▲
9	0,99	0,12	7,37	▲	▲		▲	▲		▲		▲	▲	▲	▲
10	0,99	0,12	9,232	▲	▲	▲	▲	▲		▲		▲	▲	▲	▲
11	0,99	0,12	11,02	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲	▲

12	0,99	0,12	13,00	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	

3.2.Ölçek indirgeme modellerinin kurulması

Yapılan lineer regresyon analizleri sonucunda istasyonlar için belirlenen tahminleyiciler istasyon özelinde kurulmuş olan YSA tabanlı istastistiksel ölçek indirgeme modellerinin sayısal ağları olarak kullanılmışlardır. Bu tahminleyiciler YSA tabanlı modellere girdi olarak verilmeden önce standardize edilmiş ve model çıktıları yine aynı veri seti istatistikleri kullanılarak restandardize edilmiştir. Standardizasyon işlemi Eşitlik 4 yardımı ile yapılmıştır.

$$x_s = \frac{x - x_{ort}}{S_x} \quad (4)$$

YSA modellemesinde veriler belirli oranlarda (%50) eğitim, (%25) doğrulama ve (%25) test olarak ayrılmıştır. YSA tabanlı ölçek indirgeme modelinde MATLAB ortamında kodu yazılmış olan Levenberg Marquardt eğitim algoritmalı, tek katmanlı ileri beslemeli geri yayılımlı ağ mimarisi kullanılmıştır. Ara katmandaki eleman sayısı deneme yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Denemelerde ara katman eleman sayısı 2 ile 20 arasında değiştirilerek en iyi sonucu veren ara katman eleman sayıları belirlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklık ve yağış için kurulan YSA tabanlı ölçek indirgeme modellerinin performansları ortalama mutlak hata (OMH), OKHK ve Nash-Sutcliffe (NS) kriterleri kullanılarak belirlenmiştir. OMH ve NS kriterlerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler Eşitlik 5 ve Eşitlik 6 ile aşağıda verilmiştir.

$$OMH = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|Q_{g,t-Qm,t}\right| \quad (5)$$

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{t=1}^{n}\left(Q_{g,t} - Q_{m,t}\right)^2}{\sum_{t=1}^{n}\left(Q_{g,t} - \overline{Q_{g,t}}\right)^2}\right] \quad (6)$$

NS etkinlik katsayısı (NSE), Nash ve Sutcliffe tarafından teklif edilmiş ve birçok hidrolojik tahminin doğruluğunu ölçmek için kullanılan, gözlem verisi varyansına kıyasla kalıcı varyansın göreceli büyüklüğünü belirleyen

normalleştirilmiş bir istatistiktir. NSE, gözlenen ve hesaplanan verilerin hangi oranda birbirine yaklaştığını ifade etmektedir. NSE, $-\infty$ ile 1 arasında değişmektedir. Burada, NSE=1 olması, yöntemin fiziksel ve mükemmel yöntem olduğunu kanıtlar. NSE'nin 0 ile 1 arasında değer alması genelde yöntem performansının kabul edilebilir olduğu anlamına gelmektedir. Değerin 0'dan küçük olması, ortalama gözlem değerinin hesaplanan veriden daha iyi tahmin edici olduğunu vurgulamaktadır. Bu durum, yöntem performansının yetersiz olduğunu göstermektedir (Yılmaz, 2014). Moriassi vd. (2007) yapmış oldukları çalışmada NS kriteri için model performansının yeterlilik düzeyini belirleyen bir aralık tablosu vermişlerdir. Bu aralıklar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. NS için belirlenen performans aralıkları (Moriassi vd., 2007)

Performans	Çok İyi	İyi	Yeterli	Yetersiz
NS	0,75<NS<1	0,65<NS<0,75	0,50<NS<0,65	NS<0,50

Kurulmuş olan ölçek indirgeme modellerine ait eğitim, doğrulama ve test veri takımlarının tahmin performansları için OMH, OKHK ve NS performans kriterleri hesaplanmıştır. Tablo 5'te istasyonlara ait aylık ortalama yağış değerlerinin ve Tablo 6'da ise aylık ortalama sıcaklık değerlerinin ölçek indirgeme model sonuçları verilmiştir. Bu tablolarda NS kriterine göre yeterli sınıfına giren modeller koyu ile yazılmıştır. Aylık ortalama yağış değerleri için kurulan model sonuçları incelendiğinde, havzayı temsil eden istasyonlardan üç tanesi için kurulan modellerin (S3, S4 ve S10) eğitim, test ve doğrulama veri takımı için hesaplanan NS performans kriterlerinin yeterli düzeyde olduğu, bir tanesinin (S6) eğitim için iyi düzeydeyken doğrulama ve test için yeterli düzeyde olduğu, dört tanesinin (S1, S2, S11 ve S12) eğitim için yeterli, doğrulama ve test için yetersiz olduğu, üç tanesinin (S5, S7 ve S8) her üç veri takımı için yetersiz olduğu ve bir tanesinin de (S9) eğitim ve test için yeterli, doğrulama veri takımı için yetersiz olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. İstasyonlara ait aylık ortalama yağış değerleri için kurulan ölçek indirgeme modellerinin eğitim, doğrulama ve test veri takımlarına ait tahmin performansları

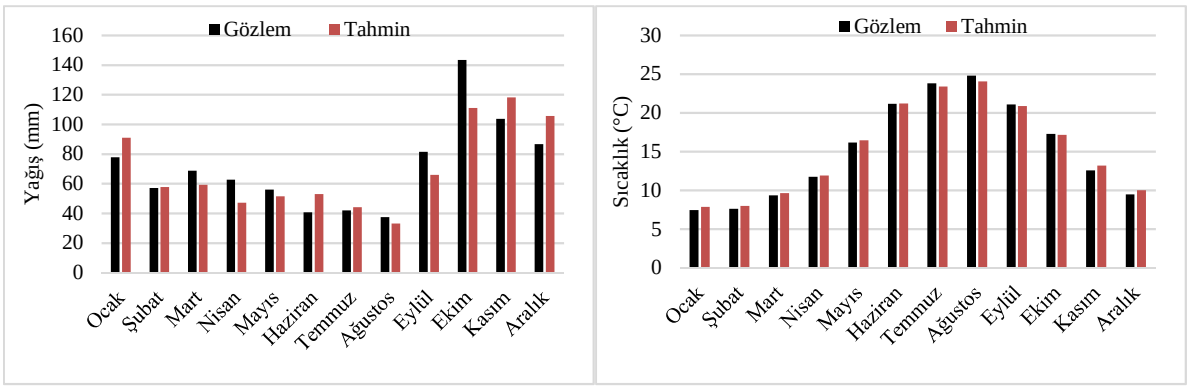
İstasyon	Veri Takımı	MAE	RMSE	NS	NS<0,50 Yetersiz	0,50<NS<0,65 Yeterli	0,65<NS<0,75 İyi	0,75<NS<1,00 Çok İyi
Trabzon	Eğitim	22,49	28,80	0,53		*		
	Doğrulama	29,43	38,42	0,32	*			
	Test	29,15	37,73	0,37	*			
Akçaabat	Eğitim	21,32	28,37	0,55		*		
	Doğrulama	24,90	33,25	0,38	*			
	Test	24,87	31,68	0,45	*			
Rize	Eğitim	55,46	70,75	**0,50**		*		
	Doğrulama	57,69	75,98	**0,53**		*		
	Test	57,29	76,50	**0,50**		*		
Pazar	Eğitim	49,81	64,76	**0,57**		*		

	Doğrulama	57,87	85,56	**0,51**		*		
	Test	48,86	67,36	**0,58**		*		
	Eğitim	36,67	47,16	0,36	*			
Giresun	Doğrulama	37,25	46,58	0,39	*			
	Test	45,10	67,93	0,28	*			
	Eğitim	16,07	21,41	**0,66**			*	
Şebinkarahisar	Doğrulama	17,17	23,26	**0,61**		*		
	Test	17,03	22,45	**0,51**		*		
	Eğitim	32,00	40,57	0,41	*			
Ordu	Doğrulama	26,94	37,08	0,32	*			
	Test	31,72	40,08	0,45	*			
	Eğitim	34,81	45,14	0,39	*			
Ünye	Doğrulama	32,82	46,68	0,34	*			
	Test	36,55	49,55	0,35	*			
	Eğitim	14,97	19,41	0,53		*		
Gümüşhane	Doğrulama	14,87	18,94	0,42	*			
	Test	15,06	21,56	0,50		*		
	Eğitim	54,36	71,64	**0,54**		*		
Hopa	Doğrulama	57,71	78,02	**0,53**		*		
	Test	57,87	77,30	**0,54**		*		
	Eğitim	12,92	16,63	0,61		*		
Bayburt	Doğrulama	15,74	21,87	0,32	*			
	Test	16,21	22,24	0,39	*			
	Eğitim	14,25	18,82	0,56		*		
Suşehri	Doğrulama	15,70	20,15	0,45	*			
	Test	14,92	20,01	0,40	*			

Tablo 6. İstasyonlara ait aylık ortalama sıcaklık değerleri için kurulan ölçek indirgeme modellerinin eğitim, doğrulama ve test veri takımlarına ait tahmin performansları

İstasyon	Veri Takımı	MAE	RMSE	NS	İstasyon	Veri Takımı	MAE	RMSE	NS
	Eğitim	0,58	0,78	0,98		Eğitim	0,50	0,64	0,99
Trabzon	Doğrulama	0,53	0,66	0,99	Ordu	Doğrulama	0,52	0,67	0,99
	Test	0,58	0,76	0,99		Test	0,55	0,72	0,99
	Eğitim	0,57	0,73	0,99		Eğitim	0,64	0,82	0,98
Akçaabat	Doğrulama	0,53	0,71	0,99	Ünye	Doğrulama	0,60	0,76	0,99
	Test	0,57	0,71	0,99		Test	0,59	0,78	0,98
	Eğitim	0,55	0,69	0,99		Eğitim	0,75	0,96	0,99
Rize	Doğrulama	0,57	0,72	0,99	Gümüşhane	Doğrulama	0,67	0,83	0,99
	Test	0,57	0,78	0,99		Test	0,55	0,76	0,99
	Eğitim	0,60	0,77	0,98		Eğitim	0,72	0,99	0,97
Pazar	Doğrulama	0,57	0,73	0,99	Hopa	Doğrulama	0,91	1,22	0,96
	Test	0,57	0,77	0,98		Test	1,16	1,54	0,95
	Eğitim	0,55	0,73	0,99		Eğitim	1,00	1,33	0,98
Giresun	Doğrulama	0,60	0,77	0,98	Bayburt	Doğrulama	0,83	1,04	0,99
	Test	0,73	1,01	0,97		Test	0,77	0,98	0,99
	Eğitim	0,84	1,08	0,98		Eğitim	0,73	0,98	0,99
Şebinkarahisar	Doğrulama	0,59	0,75	0,99	Suşehri	Doğrulama	0,57	0,71	0,99
	Test	0,52	0,64	0,99		Test	0,64	0,81	0,99

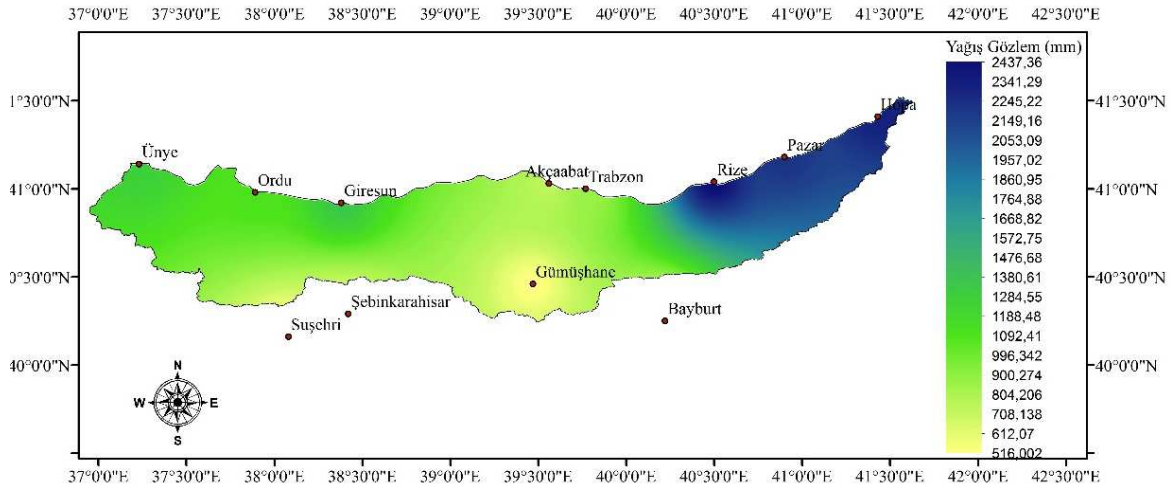
Aylık ortalama yağış değerleri için kurulmuş olan ölçek indirgeme modellerinin test veri takımları için üretmiş olduğu aylık ortalama değerleri gözlem değerleri ile ayrıca karşılaştırılmış ve tahmin sonuçlarının yetersiz olarak belirlendiği Trabzon istasyonu için grafik olarak Şekil 4 (a)'da sunulmuştur. Şekil 4 (b)'de ise Trabzon istasyonu için aylık ortalama sıcaklık değerlerinin model sonuçları ve gözlem değerlerinin test veri takımı için uzun dönem aylık ortalamaları verilmiştir. Oluşturulan grafikler incelenecek olduğunda ölçek indirgeme modeli aylık ortalama sıcaklık tahmin değerlerinin istasyonlardan ölçülmüş olan gözlem değerlerine bütün aylarda bütün istasyonlar için oldukça yakın olduğu görülmüştür.



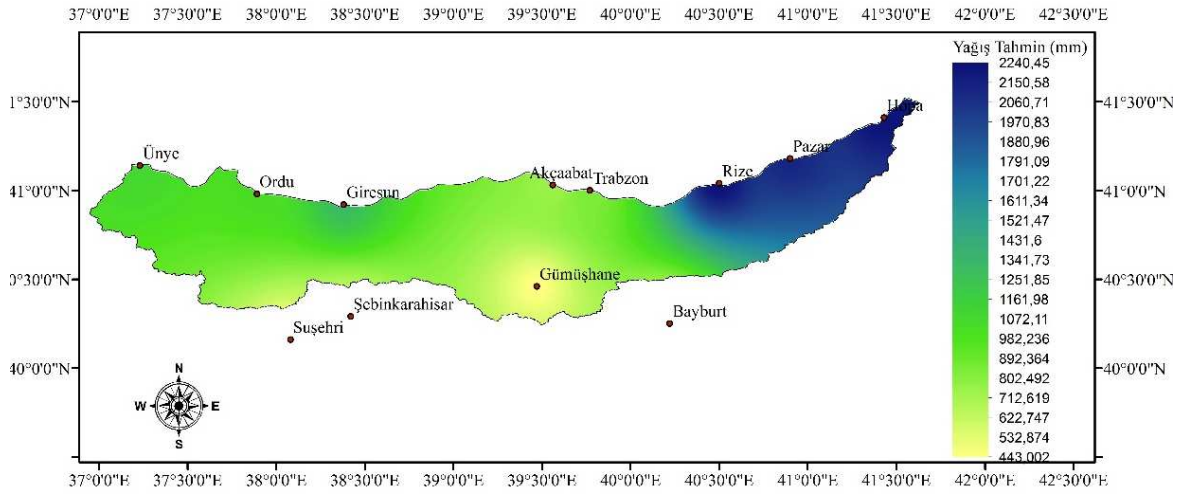
(a) **(b)**

Şekil 4. Trabzon istasyonu (a) yağış ve (b) sıcaklık modeli test dönemi aylık ortalamalarının karşılaştırılması

Ölçek indirgeme model sonuçları ile gözlem değerlerinin havza genelindeki dağılımının görülebilmesi için test veri takımına ait yıllık ortalama yağış değerlerinin bölgesel ölçekte hazırlanan haritaları Şekil 5'te verilmiştir. Ayrıca yıllık ortalama tahmin değerleri ile gözlem değerleri arasındaki farkın net bir şekilde görülebilmesi için farkları alınmış, % olarak haritalandırılmış ve Şekil 6'da verilmiştir. Aylık ortalama sıcaklık değerleri için de aynı grafikler oluşturulmuş ancak sayfa kısıtlaması sebebiyle burada verilmemiştir.

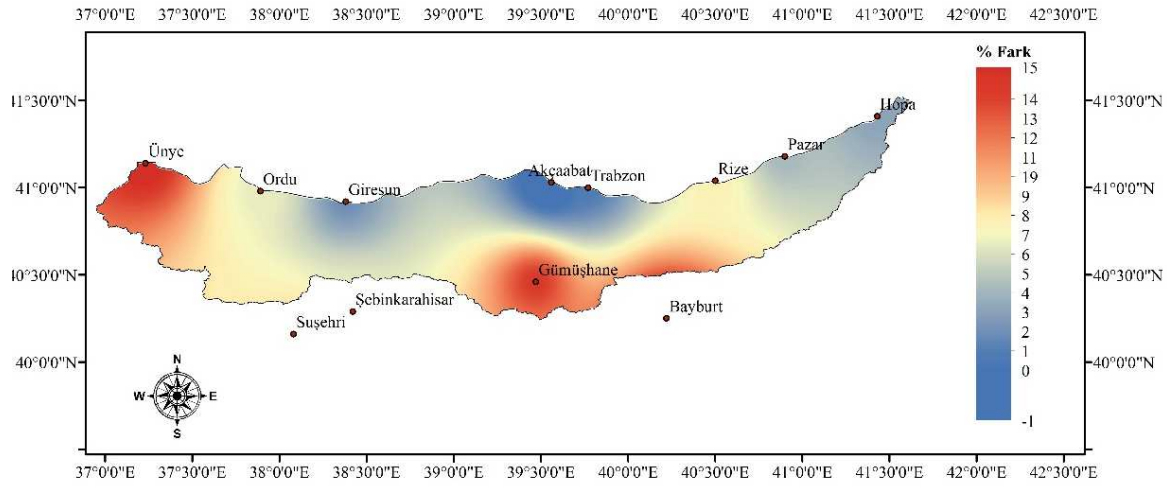


(a)



(b)

Şekil 5. Test veri takımına ait yıllık ortalama yağış haritaları (a) Gözlem (b) Tahmin



Şekil 6. Test veri takımına yıllık ortalama yağış gözlem ve tahmin değerleri % farkı

Uzun süreli yıllık ortalama yağışlar için hazırlanmış olan haritalar incelenecek olduğunda tahmin değerlerinin havza genelinde gözlem değerlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Havza genelinde tahmin değerleri ile gözlem değerleri arasındaki fark en fazla %15 olduğu ve bu farkın Gümüşhane ve Ünye istasyonları için olduğu açıkça görülmektedir. Havzanın önemli yağış alan bölgelerinden Hopa, Pazar, Rize, Trabzon Akçaabat, Giresun istasyonlarında ise bu farkın oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışmada NCEP/NCAR re-analiz veri setinde yer alan büyük ölçekli iklim parametreleri kullanılarak DKH aylık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri istatistik ölçek indirgeme yöntemi ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Potansiyel tahminleyicilerin seçilmesinde 12 farklı NCEP/NCAR iklim parametresinin tüm kombinasyonları ile doğrusal regresyon

analizleri yapılmış ve en uygun sayıdaki tahminleyiciler her istasyon için belirlenmiştir. Tahminleyicilerin belirlenmesinin ardından havzada bulunan her bir istasyonun aylık ortalama yağış ve sıcaklık parametreleri için YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modelleri kurulmuş ve tahmin sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda YSA tabanlı istatistiksel ölçek indirgeme modellerinin büyük ölçekli sayısal ağa sahip verilerin ölçeklerinin istasyon ölçeğine indirgenmesinde sıcaklık parametresi için oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Aylık ortalama yağış tahminlerinde ise birçok istasyonda yeterli düzeyde tahmin sonuçları üretilmiştir. Ayrıca YSA tabanlı ölçek indirgeme modellerinin yağış değerleri için uzun süreli aylık ortalamalar göz önüne alındığında gözlem değerlerine oldukça yakın değerleri ürettiği görülmüştür. Tahmin değerleri ile gözlem değerleri arasındaki farkın havza genelinde en fazla %15 civarında bir farklılık görülmüştür. Havzanın Türkiye'nin en fazla yağış alan havzası olması ve havza karakteristiklerinin çok kısa mesafelerde çok fazla değişmesi tahmin sonuçlarının başarılı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma ile büyük ölçekli sayısal ağa sahip iklim parametrelerinin havza ölçeğine istatistiksel ölçek indirgeme modelleri ile büyük ölçüde başarılı bir şekilde indirgendiği görülmüştür. Bu çalışma sonuçlarının iklim değişikliğinin gelecek dönemde DKH iklim parametreleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi için yapılacak çalışmalara bir altlık sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. Aslay, F., & Özen, Ü. (2013). 'Meteorolojik Parametreler Kullanılarak Yapay Sinir Ağları ile Toprak Sıcaklığının Tahmini. Politeknik Dergisi, 16(4), 139-145.
2. Atay, H., (2015). Kizilirmak Havzasinin 2013-2040 Periyodunda İklim İndisleri Projeksiyonları. Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1-102.
3. Bayram, A., Kankal, M., & Önsoy, H. (2012). Estimation of suspended sediment concentration from turbidity measurements using artificial neural networks. Environmental monitoring and assessment, 184(7), 4355-4365.
4. Bayram, A., Kankal, M., Tayfur, G., Onsoy, H., (2014). "Prediction of suspended sediment concentration from water quality variables.", Neural Comput Appl. 24, 1079-1087.
5. Bürger, G., and Chen, Y. (2005). Regression-based downscaling of spatial variability for hydrologic applications. Journal of Hydrology, 311(1-4), 299-317.
6. Chen, H., Xu, C. Y., & Guo, S. (2012). Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. Journal of hydrology, 434, 36-45.
7. Dehn, M., Bürger, G., Buma, J., & Gasparetto, P. (2000). Impact of climate change on slope stability using expanded downscaling. Engineering Geology, 55(3), 193-204.
8. Dipova, N., & Cangir, B. (2010). Lagün kökenli kil-silt zeminde sıkışabilirlik özelliklerinin regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri ile belirlenmesi. İMO Teknik Dergi, 21(3), 5069-5086.
9. Fistikoglu, O., & Okkan, U. (2010). Statistical downscaling of monthly precipitation using NCEP/NCAR reanalysis data for Tahtali River Basin in Turkey. Journal of Hydrologic Engineering, 16(2), 157-164.
10. Hagan, M. T., & Menhaj, M. B. (1994). Training feedforward networks with the Marquardt algorithm. IEEE transactions on Neural Networks, 5(6), 989-993.
11. Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haugen, J. E., & Tveito, O. E. (2003). Temperature and precipitation scenarios for Norway: comparison of results from dynamical and empirical downscaling. Climate Research, 25(1), 15-27.

12. IPCC, (2013). Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. (https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/). Erişim Tarihi: 25.05.2018.
13. Kaastra, I., & Boyd, M. (1996). Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. Neurocomputing, 10(3), 215-236.
14. Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., and Zhu, Y. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bulletin of the American meteorological Society, 77(3), 437-471.
15. Kankal, M., Akpınar, A., Kömürcü, M.İ., Özşahin, T.Ş., (2011). "Modeling and forecasting of Turkey's energy consumption using socio-economic and demographic variables.", Applied Energy, 88, 1927-1939.
16. Mearns, L. O., Bogardi, I., Giorgi, F., Matyasovszky, I., & Palecki, M. (1999). Comparison of climate change scenarios generated from regional climate model experiments and statistical downscaling. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 104(D6), 6603-6621.
17. MGM, (2015). Yeni Senaryolar Ile Türkiye Iklim Projeksiyonlari Ve Iklim Değişikliği. Araştirma Dairesi Başkanliği Klimatoloji Şube Müdürlüğü. 1-164.
18. Moriassi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantifcation of accuracy in watershed simulations. Trans. ASABE 50: 885–900.
19. Müller-Wohlfeil, D. I., Bürger, G., & Lahmer, W. (2000). Response of a river catchment to climatic change: application of expanded downscaling to Northern Germany. Climatic Change, 47(1-2), 61-89.
20. Okkan, U., and Fistikoglu, O. (2014). Evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M. Theoretical and applied climatology, 117(1-2), 343-361.
21. Okkan, U., ve Karakan, E. (2016). İklim Değişikliğinin İkizcetepeler Baraji Akımlarına Etkilerinin Modellenmesi: 2015-2030 Projeksiyonu. İMO Teknik Dergi, 7379(7401), 450.
22. Öztemel, E., (2006). "Yapay Sinir Ağları", Papatya Yayıncılık, İstanbul.
23. Rong, Y.S., Wang, W., Wang, P., and Wei, L.S. (2010) Downscaling extreme precipitation in Dongjiang river basin of China based on SDSM. Sciencepaper online in China.
24. Salathe, E.P. (2003). Comparison of various precipitation downscaling methods for the simulation of streamflow in a rainshadow river basin. International Journal of Climatology, 23(8), 887–901.
25. SYGM. (2016). Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi, Doğu Karadeniz Havzası. 1-135.
26. Timbal, B., Dufour, A., and McAvaney, A. (2003). An estimate of future climate change for western France using a statistical downscaling technique. Climate Dynamics, 20, 807–823.
27. Turan, M.E., Yurdusev, M.A., (2009). "River flow estimation from upstream flowrecords by artificial intelligence methods.", Journal of Hydrology 369, 71-77.
28. Wagesho, N., Jain, M. K., & Goel, N. K. (2012). Effect of climate change on runoff generation: Application to Rift Valley Lakes basin of Ethiopia. Journal of Hydrologic Engineering, 18(8), 1048-1063.
29. Wilby, R. L., Wigley, T. M. L., Conway, D., Jones, P. D., Hewitson, B. C., Main, J., & Wilks, D. S. (1998). Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods. Water resources research, 34(11), 2995-3008.
30. Wilby, R.L. and Wigley, T.M.L., (1997). Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. Prog. Phys. Geogr. 21 (4), 530–548.
31. Wilby, R.L., Dawson, C.W., ve Barrow, E.M. (2002). SDSM – a decision support tool for the assessment of climate change impacts. Environmental Modeling & Software, 17, 147–159.
32. Yılmaz, M.U., (2014). Performans Ağırlıklı Yöntemlerle Aylık Akımların Tahmini: Orta Fırat Havzası Uygulaması. İstanbul.

Güneybatı Karadeniz Kıyılarında Kurulması Muhtemel Dalga Enerjisi Dönüşüm Sistemleri İçin Uygun Yer Tespiti

Murat ŞAN[1], Adem AKPINAR[2], Bilal BİNGÖLBALİ[2], Murat KANKAL[2]

[1] Gümüşhane Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye
[2] Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye
E-mail: muratsan@gumushane.edu.tr, ademakpinar@uludag.edu.tr, bilalbingolbali@gmail.com, mkankal@uludag.edu.tr

Özet

Türkiye'nin artan elektrik enerjisi talebini karşılamak için temiz, yerli, düşük maliyetli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu kaynaklardan son zamanlarda potansiyel belirlenmesine yönelik yoğunlukla çalışılmaya başlanan dalga enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi fosil enerji kaynaklarına kıyasla pek çok avantaja sahip yeni bir enerji kaynağıdır. Denizlerde mevcut bu muazzam kaynaktan yararlanabilmek için geliştirilmiş pek çok dalga enerji dönüşüm sistemi (DEDs) bulunmaktadır. Bu sistemlerin denizlerin birçok amaç (ulaşım, askeri, balıkçılık vb.) için kullanılıyor olması ve bölgeden bölgeye değişen dalga şartları nedeniyle kurulacakları yerlerin önceden belirlenmesi son derece önemlidir. Bundan dolayı, şu anki çalışmada, Türkiye'nin doğu Karadeniz bölümüne göre daha yüksek dalga enerjisi potansiyeline sahip güneybatı Karadeniz'de, bu sistemlerin kurulabileceği alanların coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla belirlenmesi hedeflenmiştir. Alan seçiminde değerlendirme kriterleri olarak; yörenin dalga iklimi (yükseklik, periyot ve güç) ve deniz dibi jeolojisi ile sahile, limana ve elektrik şebekesine olan mesafeler dikkate alınmıştır. Değerlendirme ölçütleri, ortak bir ölçekte (0-100 arasında) sınıflandırılmış ve her bir ölçüte ait ağırlıklar belirlenerek senaryo oluşturulmuştur. Bunun yanında, farklı amaçlarla kullanılan ve yasaklı olan bölgeler belirlenmiş, bu bölgeler değerlendirmeden çıkartılmıştır. Senaryo sonuçları irdelendiğinde, Kırklareli açıklarının DEDs kurulumu için birincil öncelikli alan olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dalga enerjisi, Dalga enerji dönüşüm sistemleri, CBS, Uygun alan seçimi

Abstract

To meet the growing electricity demand in Turkey, the need for clean, indigenous, low-cost and renewable energy sources is increasing. Wave energy, which has been intensively studied on determination of its potential recently, is a new energy source with many advantages compared to fossil energy sources as in other renewable energy sources. There are many wave energy conversion systems (DEDs) developed to take advantage of this enormous resource available on the seas. Due to the fact that the seas are used for many purposes (transportation, military, fishing, etc.) and the changing wave conditions from region to region, it is extremely important to determine the areas where these systems will be

installed. Thus, the present study aims to determine the most suitable areas for wave energy conversion systems, which will be installed in the southwestern Black Sea coasts of Turkey where have higher wave energy potential compared to the eastern Black Sea coasts, with the help of geographic information systems. As the evaluation criteria in the field selection; the wave climate of the region (wave height, period and power) and the seabed geology and the distances to the coast, the port and the electricity grid were taken into consideration. The evaluation criteria were classified on a common scale (0-100) and a scenario was created by determining the weights of each criterion. In addition, forbidden zone and regions where were used for different purposes were identified then these regions were removed from the evaluation. When the scenario results are examined, Kırklareli coast was determined as the primary priority area for WECs installation.

Key words: GIS, Selection of suitable area, Wave energy, Wave energy conversion systems

1. Giriş

Türkiye'nin 2018 yılı elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık 303 TWh olarak gerçekleşmiştir. Melikoglu (2018) tarafından yapılan çalışmada, tüketim değerinin 2023 yılı itibari ile çok düşük talep senaryosunda 327 TWh, yüksek talep senaryosunda 429 TWh olabileceği ortaya konmuştur. Türkiye bu talebi karşılamak için temiz, yerli, düşük maliyetli ve güvenli enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktır. Deniz ve okyanuslardaki dalgaların çok az enerji kaybıyla büyük mesafelere gidebilmesi (López vd., 2013), enerji talebi ve kaynağı arasında yüksek korelasyona sahip olması, dalga enerjisi dönüştürücüler zamanın % 90 kadar güç üretebilir olması, kıyı şeridinden derin sulara kadar geniş bölgelerde bulunması, daha az çevresel etkiye sahip olması bakımından dalga enerjisi ön plana çıkmaktadır (Drew vd. ,2009; Villate, 2010). Bununla birlikte dalga enerjisi diğer yenilebilir enerji kaynaklarına göre; kaynak tahmin edilebilirliği, yüksek güç yoğunluğu ve nispeten yüksek kullanım faktörü gibi birçok avantaj sunmaktadır (Iglesias vd., 2009). Ancak, dalga enerjisinden faydalanmak için kurulması gereken bir dalga enerjisi dönüşüm sisteminin (DEDs) nerede kurulacağı, bu konuda planlama yapanların çözmesi gereken teknik, ekonomik ve stratejik problemdir (LWEC, 2005). DEDs'nin elektrik şebekesine bağlanması, demirlenmesi ve erişilebilirliği genellikle yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Ayrıca, denizlerin farklı amaçlarla (ulaşım, askeri, balıkçılık vb.) kullanılması ve dalga şartların bölgeden bölgeye değişmesi, DEDs için uygun alan seçimini önemli kılmaktadır. DEDs için uygun alan seçimi, yukarıda belirtilen etkenler nedeniyle karmaşık bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu süreç, çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemini de kapsayacak şekilde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yardımı ile çözülmeye başlanmıştır. CBS, son yıllarda enerji üretim santralleri (rüzgar, güneş enerjisi, nükleer enerji vb.) kurulumu için uygun alanların belirlenmesi için sıklıkla kullanılmaktadır (Aydin vd, 2010; Baskurt ve Aydin, 2018; Uyan, 2013). Dalga enerji dönüşüm sistemleri için uygun alan belirlenmesinde CBS yönteminin kullanımı, diğer yenilenebilir enerji sistemlerindeki kullanımına göre daha azdır. Defne vd. (2011) gelgit enerjisi dönüşüm sistemi için her kriter verisinin sisteme katkısına göre CBS ortamında düzenlendikten sonra her bölgenin sıralama algoritması ile skorları bulan uygun alan seçim metodolojisi önermiştir.

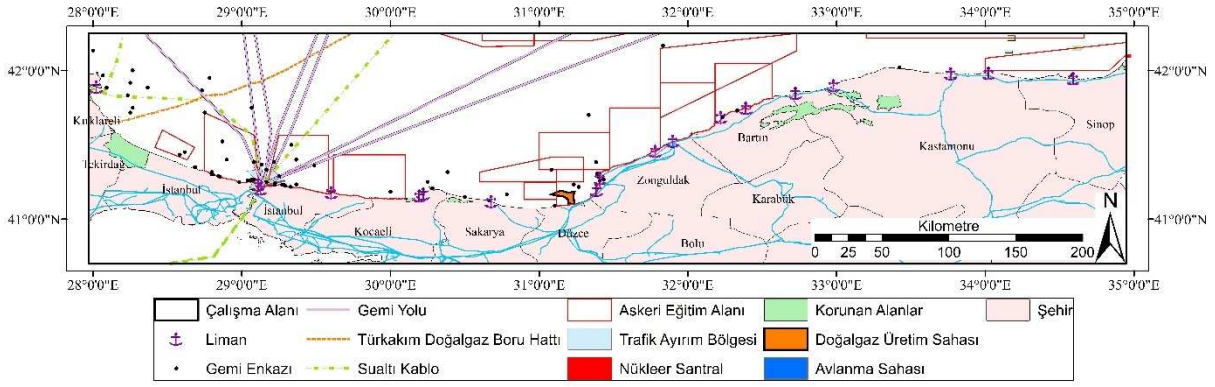
Nobre vd. (2009), DEDs için CBS kullanarak uygun alan seçim yöntemi önermişler ve yöntemi Portekiz güneybatı açık deniz kıyılarında değerlendirmişlerdir. Flocard vd. (2016) yaptıkları çalışmada kıyı ve açık deniz kullanıcıları ile olası anlaşmazlıkları en aza indirmek için beş ana kriter ve on sekiz alt kriterle birlikte CBS kullanarak DEDs kurulumu için uygun alanları belirlemiştir. Kaldellis ve Chrysikos (2019), Yunanistan'ın İyon denizi kıyılarında CBS ortamında DEDs için uygun alan seçimi yapmışlardır. Çalışmada maliyeti etkileyecek mesafe kriterlerini (kıyı, liman, elektrik iletim hatları), DEDs için uygun olmayan alanları ve sadece dalga yüksekliği kriterlerini kullanmışlardır.

Karadeniz'in Türkiye kıyıları ile ilgili dalga enerjisi konusunda yapılan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Duman (2010), üç tanesi (İğneada, Sinop ve Hopa) Karadeniz'de olmak üzere beş adet farklı kıyı alanlarında dalga enerjisi potansiyelini araştırmıştır. Bu çalışma, İstanbul boğazının kuzey kısımları ve Karadeniz'in batı kısmı dalga enerjisi için kullanılabileceğini göstermiştir. Aydoğan vd. (2013), MIKE21 model simülasyonunu kullanarak 13 yıllık dalga enerjisi potansiyelini, dalga periyodunu, belirgin dalga yüksekliğini incelemişler ve Türkiye'nin Trakya kıyıları, özellikle İstanbul boğazının batı kesimleri dalga enerjisi kullanımı için potansiyel bölge olarak belirlemişlerdir (yaklaşık 7.5 kW/m). Akpınar ve Kömürcü (2013), 15 yıllık ERA-Interim rüzgâr verilerini SWAN dalga modeli kullanarak yıllık, mevsimsel ve aylık dalga enerjisi akısına dayalı Karadeniz'in dalga enerjisi potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmada, Karadeniz'in batı bölgesinin doğu bölgesine göre daha fazla dalga enerjisine sahip olduğu belirlenmiştir. Akpınar vd. (2017), Karadeniz'de uzun dönem (31 yıllık) dalga modeli simülasyonlarına dayanarak dalga enerjisini mevsimsel, aylık ve yıllık incelemiş ve güney batı Karadeniz'in en yüksek enerji potansiyeline sahip olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmalar, Karadeniz'in güneybatı bölümünün, Karadeniz'in diğer bölümlerine kıyasla daha yüksek dalga enerji potansiyeline sahip olduğunu ve DEDs'lerin kurulması için uygun alanlar olabileceği sonucunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Karadeniz'in güneybatı bölümü içinde kalan ve Sinop'tan başlayarak Bulgaristan sınırına kadar olan Türkiye'nin açık deniz kıyısında DEDs için en uygun alan seçimi CBS-ÇKKV yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

2. Çalışma alanı, veriler ve yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, Doğu Karadeniz'e oranla yüksek dalga gücüne sahip Karadeniz'in güneybatı bölgesinde, Sinop İnceburun ile Bulgaristan sınırına kadarki bölüm olarak seçilmiştir. Çalışma alanı, 40,70° ve 42,25° enlemleri ile 27,95° ve 34,95° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çalışma bölgesi Karadeniz ile Marmara denizi arasındaki bağlantıyı sağlayan ve Asya ile Avrupa kıtalarını birbirinden ayıran İstanbul boğazını da içermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı

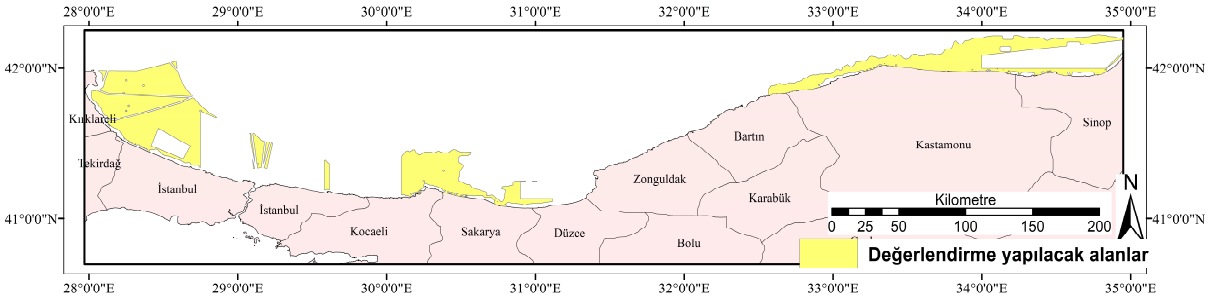
2.2. Sınırlayıcı kriterler

Çevresel, kültürel vb. farklı amaçlar için kullanılan ve yasaklı olan alanlarda (askeri alan, gemi enkazı, gemi yolu vb.) DEDs kurulumu mümkün olamamaktadır. Örneğin; askeri eğitim alanlarında belirli aralıklarla top atışları olduğu için, aynı zamanda su altı kabloları ve boru hatları, DED sistemlerinin demirleme bölgesi içine girdiğinde zarar görebileceği için, bu bölgelerde DEDs kurmak uygun değildir. Bunun yanında, arkeolojik alanlar ve gemi enkazı gibi korunan alanlarda kültürel mirasın korunması gerektiğinden, bu bölgelerde de DEDs kurulması uygun değildir. Nükleer ve doğalgaz santrallerin sahip olduğu belirli bir tampon bölge içinde DEDs kurulması, santrallerin çalışmasını engelleyebilir veya DEDs'nin kurulum aşamasında santraller zarar görebilir. Bu alanlar ile DEDs kurulumu için uygun alanlar arasında belirli bir mesafe olması gerekmektedir. Tüm bunların yanında; DEDs kurulumu, mevcut birçok DEDs için uygun çalışma aralığı olan 30 metre ile 200 metre arasında olmalıdır (Nobre vd., 2009). Bu çalışmada, DEDs için uygun alan belirlenirken 30-200 m derinlik sınırları dikkate alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan DEDs kurulumu yapılamayacak (sınırlayıcı alanlar) ve tampon bölge ölçüleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sınırlayıcı Alanlar

Veriler	**Tampon Bölge**	**Kaynaklar**
Gemi yolu	500 m	(Raţă vd. 2017)
Türkakım doğalgaz	500 m	(ÇŞB, 2018)
Atıksu boruları	500 m	(ÇŞB, 2018)
Sualtı kabloları	500 m	(ÇŞB, 2018)
Askeri Eğitim Alanı	-	(SHOD, 2018)
Trafik ayırım bölgesi	-	(ÇŞB, 2018)
Nükleer santral	1000 m	(ÇŞB, 2018)
Korunan alanlar	1000 m	(TCKTB, 2018)
Doğalgaz üretim tesisi	500 m	(ÇŞB, 2018)
Balık avlanma sahası	500 m	(SHOD, 2018)
Gemi enkazı	500 m	(WC, 2018)
Batimetri	>30 m ve <200m	(GEBCO, 2014)

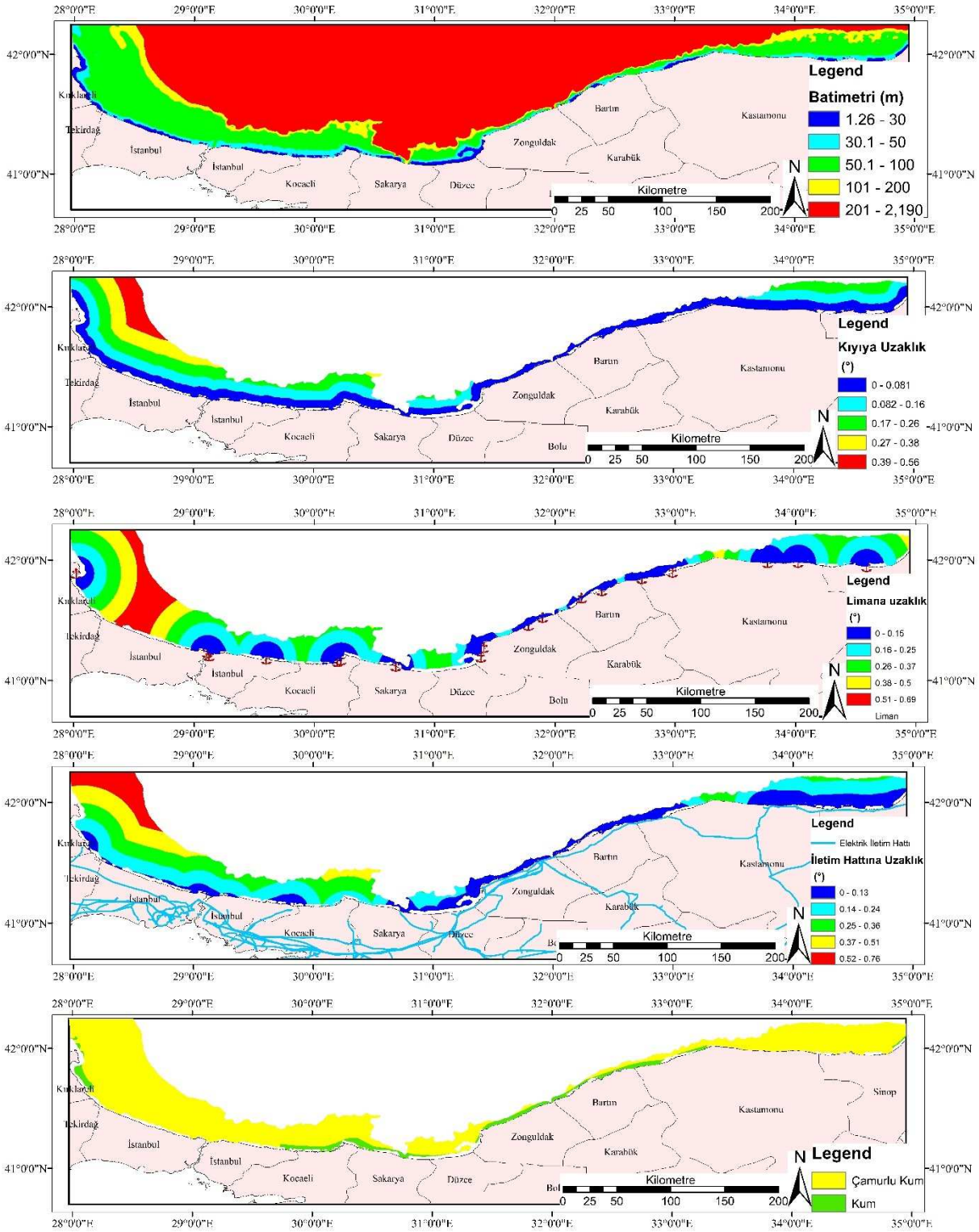
Sınırlandırılmış alanlar ve tampon bölgeleri 30-200 metre arasında derinlikte bulunan alandan çıkarılmış ve çalışmada dikkate alınan bölgenin son hali Şekil 2'de gösterilmiştir.



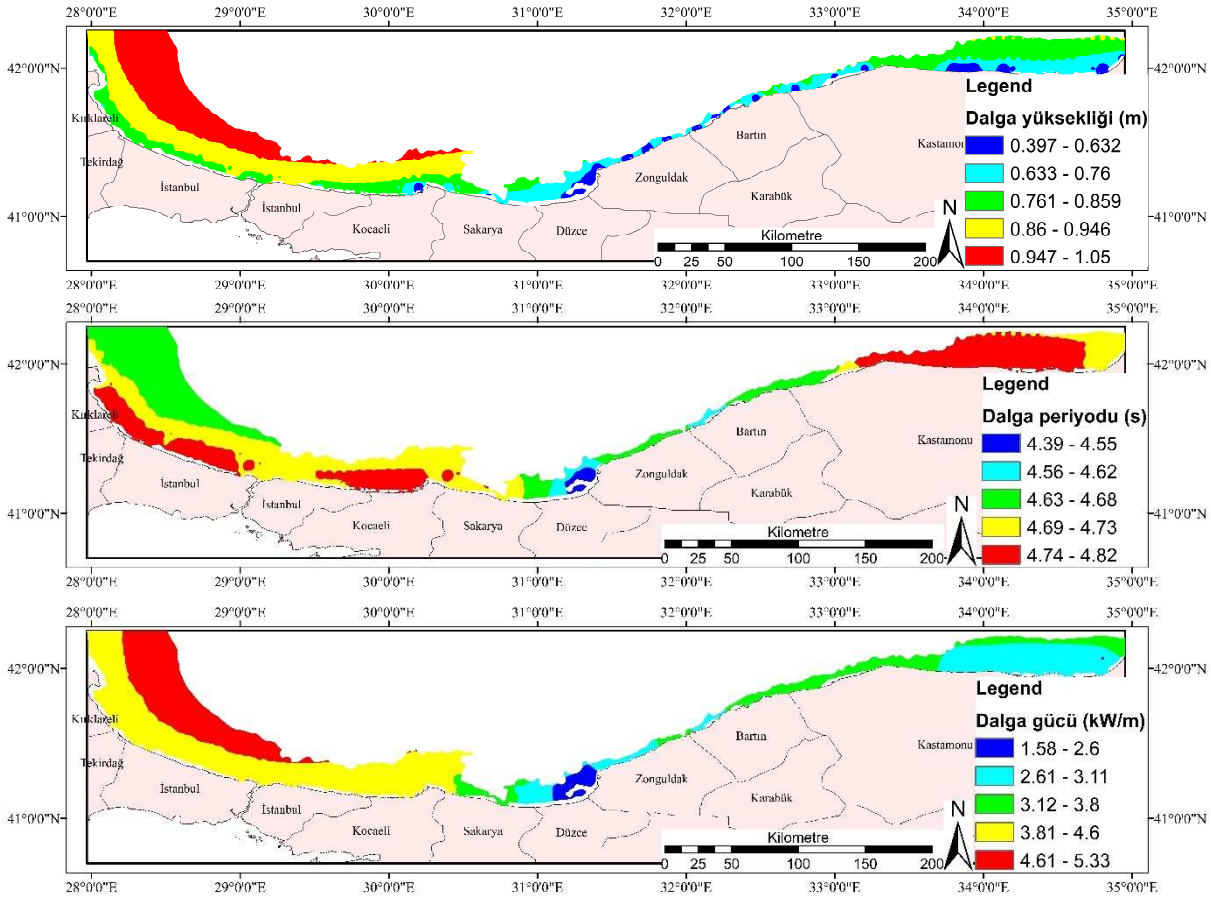
Şekil 2. Sınırlandırılmış alanlar

2.2. Değerlendirme kriterleri

Bu çalışmada, DEDs kurulum alanların tespitinde bir bütün olarak sistemin kurulumu, işletilmesi, bakımı ve dalga enerjisi dönüştürülmesinde etkili olabilecek kriterler dikkate alınmıştır. Bu kriterler limana, sahile ve elektrik şebekesine olan uzaklık, deniz tabanı jeolojisi, yörenin dalga iklimi (güç, periyot, yükseklik) olmak üzere toplam altı adettir. DEDs kurulması muhtemel olan alanların limana, sahile ve elektrik şebekesine uzaklık değerleri, ekonomik sebeplerden dolayı minimum düzeyde olması istenir. Deniz tabanı jeolojisi (çamur, kum, kaya vb.), DEDs deniz tabanına demirlenmesi dolayısıyla maliyeti etkilediğinden, çalışma bölgesinin daha sağlam zemin sınıfına sahip olması bölgeyi DEDs kurulumu açısından daha avantajlı bir konuma getirmektedir. Deniz tabanı jeolojisinin alansal dağılımı için folk sınıflandırma sistemi kullanılarak sınıflandırılan 1/1000000 ölçekli harita verileri EMODnet (2018) kaynağından alınarak kullanılmıştır. Çalışma alanın batimetrisi ve diğer değerlendirme kriterleri için alansal haritalar Şekil 3'te sunulmuştur. DEDs'den maksimum enerji elde edilmesi için yıllık ortalama dalga gücü, dalga periyodu ve belirgin dalga yüksekliği değerlerinin yüksek olması da gerekmektedir. Yörenin dalga iklimi verileri Akpınar vd. (2016) tarafından üretilmiş dalga veri tabanından çekilmiştir. Batimetri verisi ise, GEBCO, (2014)'ten temin edilmiştir. Dalga veri setinden elde edilen ortalama dalga şartlarının alansal haritaları Şekil 4'te verilmiştir.

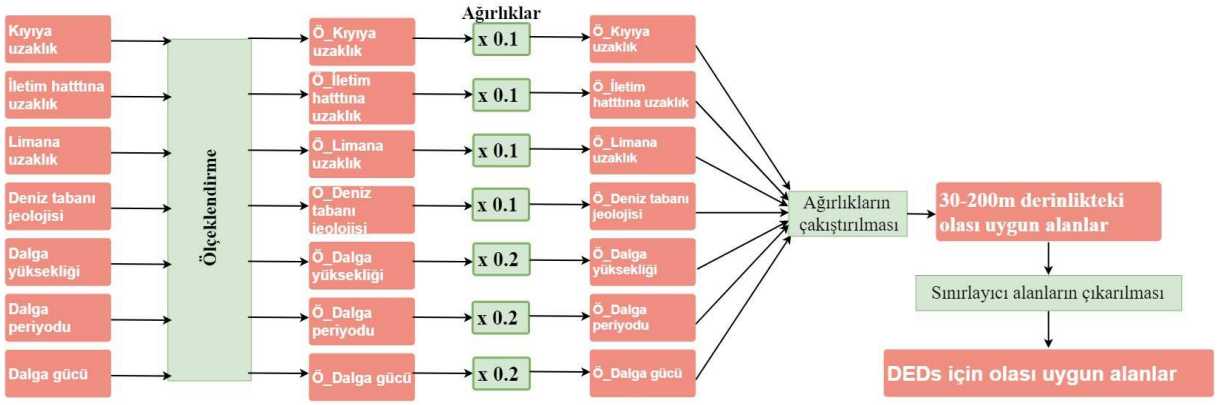


Şekil 3. (a) Çalışma alanı batimetrisi, (b) kıyıya uzaklık haritası, (c) limana uzaklık haritası, (d) elektrik iletim hattına uzaklık haritası, (e) deniz tabanı jeolojisi haritası

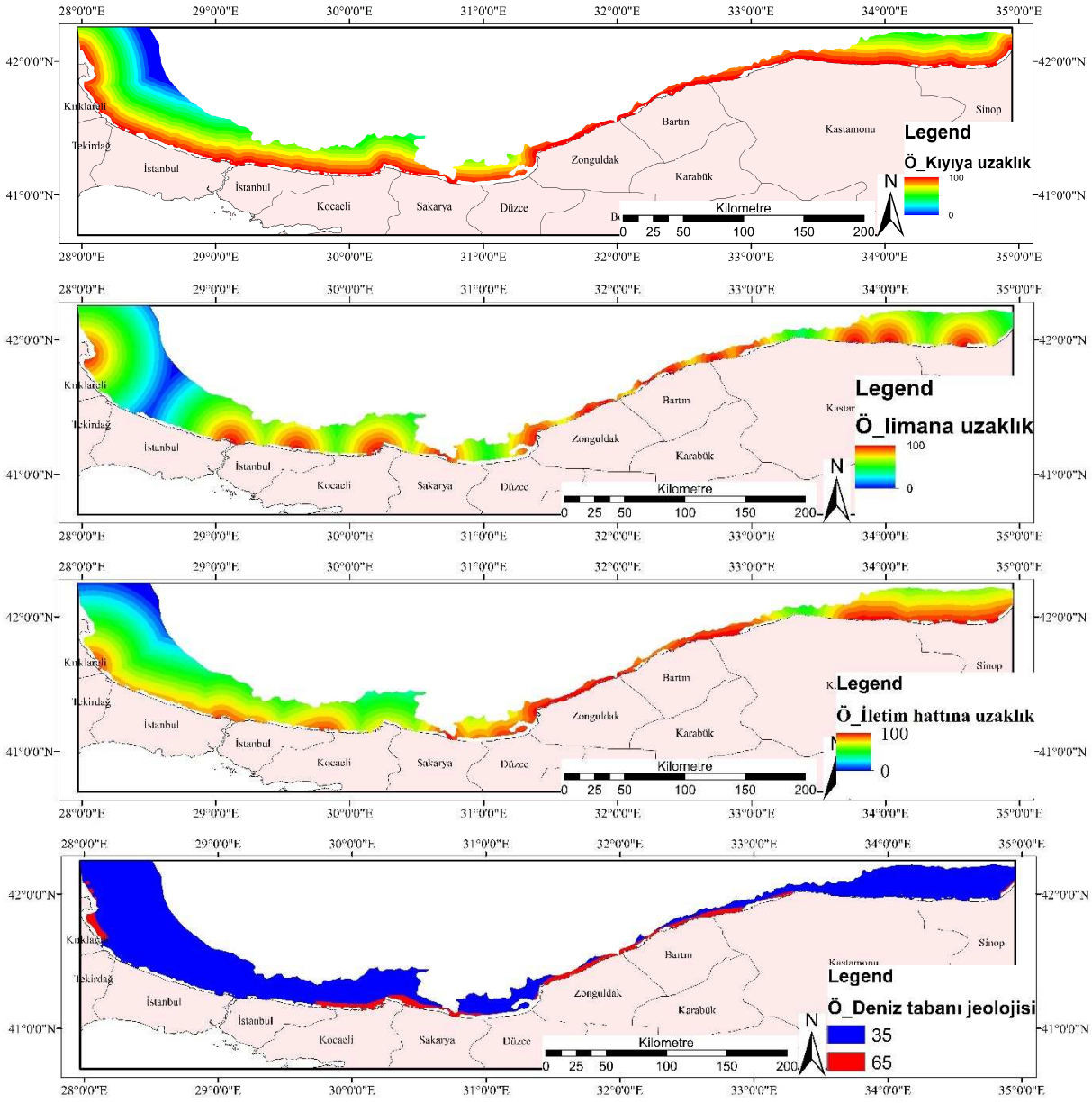


Şekil 4. (a) ortalama belirgin dalga yüksekliği, (b) ortalama dalga periyodu ve (c) ortalama dalga gücü

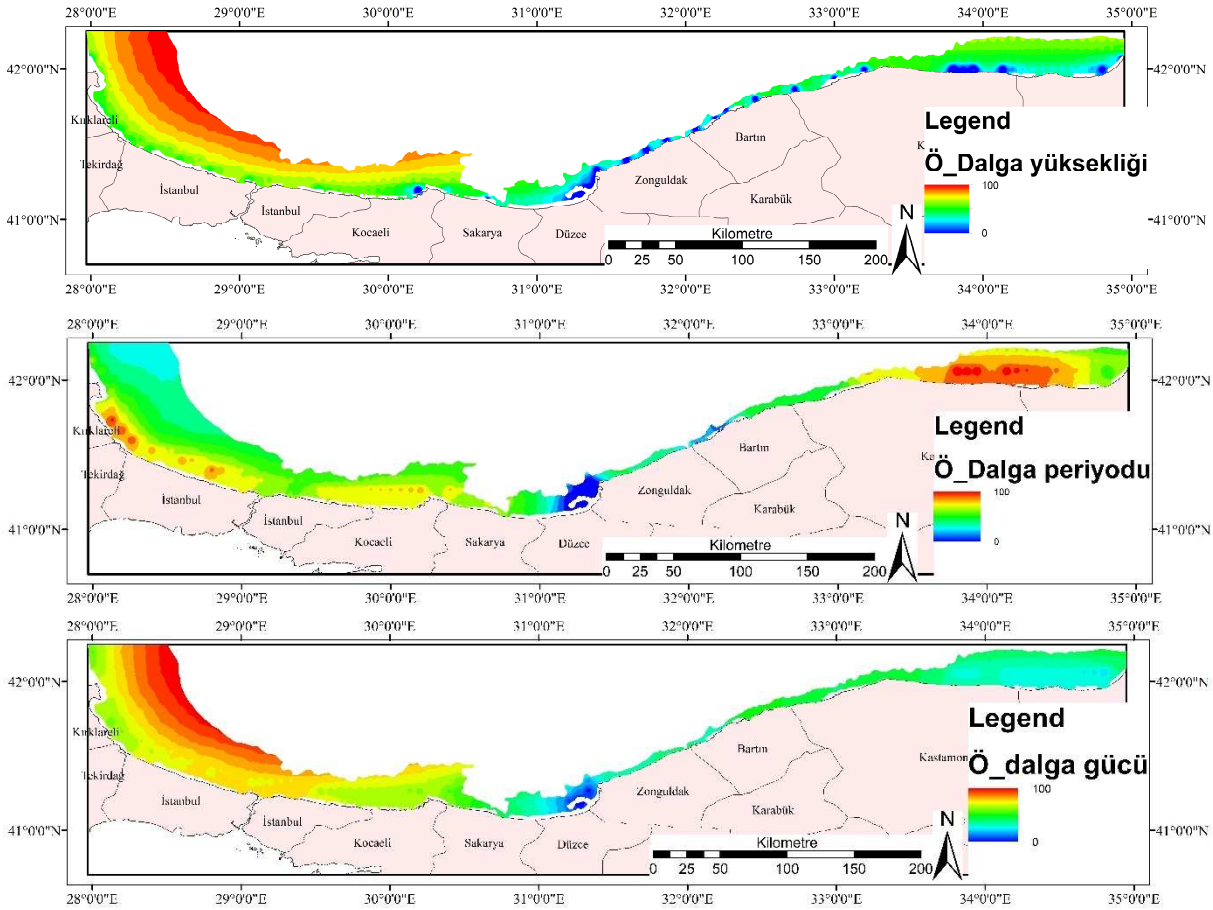
Şekil 3 ve 4'te sunulan haritalar incelendiğinde her bir parametrenin farklı birim ve büyüklüğe sahip oldukları görülmektedir. Çok kriterli karar verme yönteminde bu farklılıkları gidermek için tüm değerlendirme kriterlerini ortak ölçeğe çevirmek gerekmektedir. Her bir parametrelerin alansal haritaları türetildikten sonra, tüm kriterlerin kendi içerisinde DEDs katkı durumuna göre, en olumsuz durumdan en olumlu duruma doğru olacak şekilde (en olumlu 100, en olumsuz 0) yeniden ölçeklendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Uzaklık kriterlerinde en düşük değer en olumlu durumken (100), dalga iklimi kriterlerinde en düşük değer en olumsuz durum (0) olarak ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirme işlemi yapıldıktan sonra enerji dönüşümüne katkı oranlarına göre ağırlıklar tanımlanmıştır. Bu çalışma için kullanılan ağırlıklar Şekil 5'de görülmektedir. Bu ağırlıklar, Nobre vd. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmaya uyumlu bir şekilde seçilmiştir. Son aşamada ağırlıkları verilmiş kriterlerin raster tabakaları çakıştırılarak DEDs için uygun alanların puanları hesaplanmıştır. Yapılan bu işlemlere ait adımlar Şekil 5'de ve kriterlerin 0-100 arasında ölçeklendirilmiş hali Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 54. İş akış diyagramı



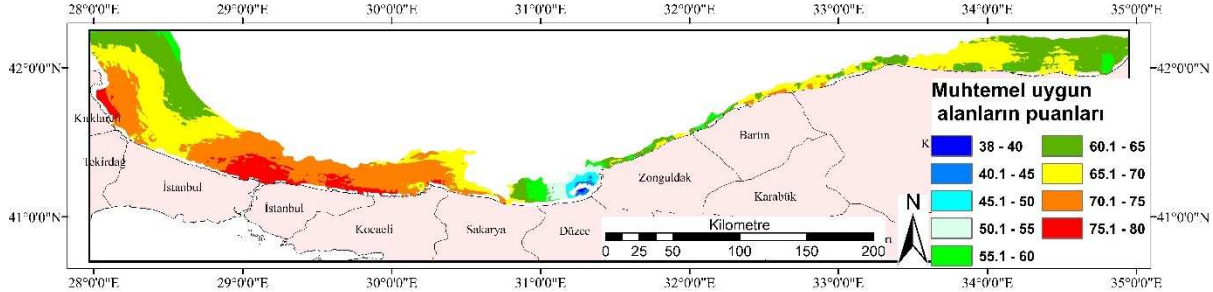
Şekil 6. (a) Ölçeklendirilmiş kıyıya uzaklık haritası, (b) ölçeklendirilmiş limana uzaklık haritası, (c) ölçeklendirilmiş iletim hattına uzaklık haritası ve (d) ölçeklendirilmiş deniz tabanı jeolojisi haritası



Şekil 7. (a) Ölçeklendirilmiş ortalama belirgin dalga yüksekliği dağılımı, (b) ölçeklendirilmiş ortalama dalga periyodu dağılımı ve (c) ölçeklendirilmiş ortalama dalga gücü dağılımı

3. Uygun alanların belirlenmesi

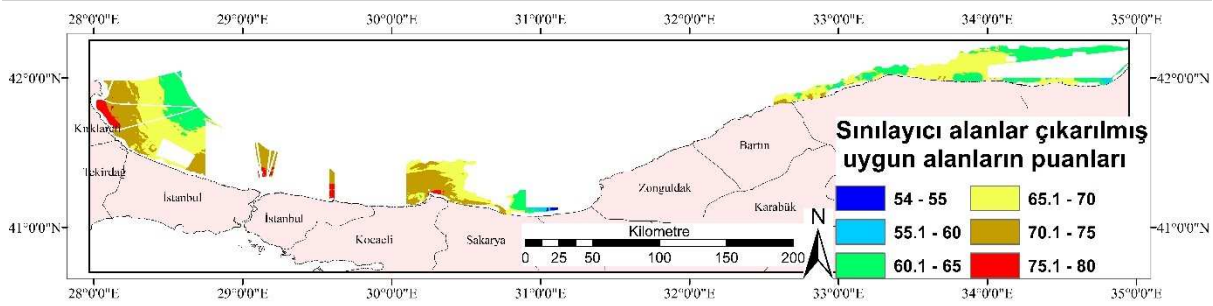
Değerlendirme kriterlerin ölçeklendirme işlemi yapıldıktan sonra herbir kriterin DEDs enerji dönüşümüne katkı durumuna göre ağırlıklar belirlenmiş ve raster tabakaları çakıştırılarak 30-200 metre batimetriye sahip alan içerisinde olası uygun alanların 38-80 değerleri arasında bir puana sahip olduğu görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. DEDs kurulması için muhtemel alanlar

Şekil 8 incelendiğinde, çalışma alanının batı bölümlerinin doğu bölümlerine göre daha yüksek puanlara sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, dalga gücü ve dalga yüksekliği (toplamda %40 ağırlığa sahip) kriterlerin yüksek değerleri batı bölümlerinde toplanmasıdır. Bununla birlikte, Düzce'nin doğu ve Zonguldak sahili en düşük değerlere sahiptir ve dalga ikliminin (toplamda %60 ağırlığa sahip dalga gücü, dalga peryodu ve dalga yüksekliği) değerlerinin en düşük olduğu bölümdür. Kırklareli, İstanbul boğazı, İstanbul'un doğu, Kocaeli kıyılarında 75 ve üzeri değerlere sahip DEDs için muhtemel uygun alanlar görülmektedir. Ancak; sınırlayıcı alanlar değerlendirme yapılan alandan çıkarıldığı Şekil 9'a bakıldığında, Kırklareli sahili dışındaki yukarıda belirtilen alanların büyük bir kısmının değerlendirme dışı kaldığı görülmektedir.

Tablo 2'de DEDs kurulması muhtemel alanların özellikleri verilmiştir. Bu tabloya bakıldığında, batimetrisi 30-200 m arasındaki olan bölgelerin toplam alanı 20178 km^2'dir ve bu alanın yaklaşık %46,47'sini sınırlandırılmış alanlar oluşturmaktadır. Puanı 75'den daha yüksek alanlar; Kırklareli sahilinde, İstanbul boğazı sahilinde, İstanbul'un doğusu sahilinde ve Kocaeli doğu sahilinde toplanmıştır. Bu alanlar içerisinde Kırklareli sahili değerlendirme alanı içinde en yüksek alana (%0.98) sahiptir. Toplamda değerlendirme alanının %1.55'ni oluşturan bu alanlar DEDs kurulması için en uygun alanlar olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. Sınırlayıcı alanlar çıkartılmış DEDs kurulması için muhtemel uygun alanlar

Tablo 2. DEDs kurulması muhtemel alan özellikleri

Alanlar	**Alan km^2**	**Alan yüzdesi (%)**	
Değerlendirme alanı (Batimetri 30-200 m)	20718	**100**	
Sınırlayıcı alanlar çıkarılmış	11091	**53,53**	
75 puandan yüksek bölgeler			
Kırklareli sahili	202,54	**0,98**	**1,55**
İstanbul boğazı sahili	44,54	**0,21**	
İstanbul'un doğu sahili	42,38	**0,20**	
Kocaeli doğu sahili	32,55	**0,16**	

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Karadeniz'in güney batı kesiminde Türkiye'nin Sinop İnceburun ile Bulgaristan sınırı arasındaki sahil kesiminde DEDs kurulması için muhtemel alanlar belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada dikkate alınan değerlendirme kriterlerine farklı değere sahip ağırlıklar verilmiş ve ortak ölçekte (en olumlu durum 100 puan, en olumsuz durum 0

puan) analizleri yapılmıştır. Çalışma bölgesindeki alanların 54-80 arasında değişen puanlara sahip olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda yüksek değerlere sahip alanlar çalışma alanının batı kesiminde dört farklı yerde konumlandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, Güneybatı sahil kesiminde değerlendirme yapılan alanın yaklaşık yarısı sınırlandırılmış alandır. Yüksek değere sahip yerlerden (>75) Kırklareli sahil kesimi yaklaşık 202,54 km^2 ile birincil öncelikli alan olarak görülmektedir. Bu çalışmada; DEDs için uygun alan seçimi tek bir senaryo dikkate alınarak yapılmış, ancak daha sonraki çalışmalarda uygulayıcı firmalar, kıyı ve deniz mühendisleri, çevre bilimcileri, kamu hizmetleri temsilcileri, devlet kurumları üyesi ve denizalanı kullanıcıları gibi paydaşlar ve uzmanlar tarafından farklı senaryolar ve ortak senaryolar üretilebilir. Ayrıca, DEDs için uygun alan seçimini etkileyen farklı kriterler araştırılıp uygulanabilir.

5. Kaynaklar

1. Akpınar, A., Bingölbali, B., & Van Vledder, G. P. (2016). Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds. *Ocean Engineering*, 126, 276 – 298.
2. Akpınar, A., Bingölbali, B., & Van Vledder, G. P. (2017). Long-term analysis of wave power potential in the Black Sea, based on 31-year SWAN simulations. *Ocean Engineering, 130*, 482-497. doi:https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2016.12.023
3. Akpınar, A., & Kömürcü, M. İ. (2013). Assessment of wave energy resource of the Black Sea based on 15-year numerical hindcast data. *Applied Energy, 101*, 502-512. doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.06.005
4. Aydin, N. Y., Kentel, E., & Duzgun, S. (2010). GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*(1), 364-373. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.023
5. Aydoğan, B., Ayat, B., & Yüksel, Y. (2013). Black Sea wave energy atlas from 13 years hindcasted wave data. *Renewable Energy, 57*, 436-447. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.01.047
6. Baskurt, Z. M., & Aydin, C. C. (2018). Nuclear power plant site selection by Weighted Linear Combination in GIS environment, Edirne, Turkey. *Progress in Nuclear Energy, 104*, 85-101. doi:https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2017.09.004
7. ÇŞB. (2018). *T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*. Ankara: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Retrieved from https://csb.gov.tr/
8. Defne, Z., Haas, K. A., & Fritz, H. M. (2011). GIS based multi-criteria assessment of tidal stream power potential: A case study for Georgia, USA. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15*(5), 2310-2321. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.005
9. Drew, B., Plummer, A. R., & Sahinkaya, M. N. (2009). A review of wave energy converter technology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 223*(8), 887-902. doi:10.1243/09576509JPE782
10. Duman, Ç. (2010). *Evaluation and Comparison of the Wave Energy Potential in Selected Coastal Regions in Turkey.* (Master), Middle East Technical University, Ankara, TURKEY.

11. EMODnet. (2018). The European Marine Observation And Data Network. Retrieved from http://www.emodnet.eu/
12. Flocard, F., Ierodiaconou, D., & Coghlan, I. R. (2016). Multi-criteria evaluation of wave energy projects on the south-east Australian coast. *Renewable Energy*, *99*, 80-94. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.06.036
13. GEBCO, 2014. British Oceanographic Data Centre, Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas [CDROM]. Published on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization, Liverpool.
14. Iglesias, G., López, M., Carballo, R., Castro, A., Fraguela, J. A., & Frigaard, P. (2009). Wave energy potential in Galicia (NW Spain). *Renewable Energy*, *34*(11), 2323-2333. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.030
15. Kaldellis, J. K., & Chrysikos, T. (2019). Wave energy exploitation in the Ionian Sea Hellenic coasts: spatial planning of potential wave power stations. *International Journal of Sustainable Energy*, *38*(4), 312-332. doi:10.1080/14786451.2018.1539395
16. López, I., Andreu, J., Ceballos, S., Martínez de Alegría, I., & Kortabarria, I. (2013). Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *27*, 413-434. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.009
17. LWEC. (2005). *The potential and strategy for the development of wave energy in Portugal*. Retrieved from Lisbon Wave Energy Centre:
18. Melikoglu, M. (2018). Vision 2023: Scrutinizing achievability of Turkey's electricity capacity targets and generating scenario based nationwide electricity demand forecasts. *Energy Strategy Reviews*, *22*, 188-195. doi:10.1016/j.esr.2018.09.004
19. Nobre, A., Pacheco, M., Jorge, R., Lopes, M. F. P., & Gato, L. M. C. (2009). Geo-spatial multi-criteria analysis for wave energy conversion system deployment. *Renewable Energy*, *34*(1), 97-111. doi:https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.03.002
20. Raţă, V., Gasparotti, C., & Rusu, L. (2017). The Importance Of The Reduction Of Air Pollution In The Black Sea Basin. *Mechanical Testing and Diagnosis*, *7*(2), 5.
21. SHOD. (2018). *Türkiye Denzi Kuvvetleri Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi*. İstanbul: Türkiye Denzi Kuvvetleri Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi, Retrieved from http://www.shodb.gov.tr
22. TCKTB. (2018). *TC Kültür ve Turizm Bakanlığı*. Ankara: TC Kültür ve Turizm Bakanlığı Retrieved from http://www.kultur.gov.tr/
23. Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *28*, 11-17. doi:https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042
24. Villate, J. L. (2010). Situación actual de las energías marinas y perspectivas de futuro. *Seminario anual de automatica, electronica e instrumentacion (SAAEI)*.
25. WC. (2018). Wreck Site Retrieved from https://www.wrecksite.eu/

ASSESSMENT OF WATER MASS OSCILLATIONS IN AN ORIFICE SURGE CHAMBER

Kutsi Savaş ERDURAN[1], Özgür KÖKÇÜ[2], Uğur ÜNAL[3]

[1,3]Department of Civil Engineering, Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey
[2]Graduate School of Natural and Applied Sciences, Niğde Ömer Halisdemir University, Turkey
kserduran@ohu.edu.tr, zgrkokcu@gmail.com, ugurunal@ohu.edu.tr

Abstract

A surge chamber is a storage tank, which is introduced to protect the long pressure tunnel in medium-high-head hydropower against high water hammer pressures resulted mainly from the sudden closure of a valve controlling flow to the turbine. The surge chamber absorbs the excess pressure rise which is turned into water mass oscillations and hence reduces the construction cost of the pressure tunnel. An orifice surge chamber has a throttle at the entrance of the surge chamber. The throttle helps to produce large head losses, which reduces the amplitudes of the mass oscillations. In this study, water mass oscillations in an orifice surge chamber have been experimentally and numerically studied. All experiments with different flow rates have been carried out using experimental apparatus in the Fluid Mechanic Laboratory in Engineering Faculty at Niğde Ömer Halisdemir University. Moreover, a numerical model has been developed and used for the computation of the mass oscillations. A comparison has been made between the measured and computed results. It has been seen that the results agree well.

Keywords: Orifice surge chamber, Water mass oscillation, Experiment, Numerical model.

1. Introduction

Rapid changes in load conditions of pumps or turbines by a sudden closure or opening result in high water hammer pressures, which have to be reduced not only to protect the pipelines or hydropower tunnels but also decrease the cost of overall design. Surge chambers or tanks have been used for many years primarily to reduce the harmful water hammer effects by converting the high water pressures into mass oscillations, which are eventually damped out by the friction losses. Depending upon its configuration, a surge chamber or tank may be classified as follows; simple surge tank, throttled/orifice surge tank, differential surge tank, surge tank with expansion chambers, surge tank with venture mounting (Novak et.al., 2007). Studies on surge chambers goes back to more than 100 years and are still of interest for many researchers (Johnson, 1908; Guo et al., 2017). An orifice surge chamber has a throttle at the entrance of the surge chamber. Nowadays, orifice surge chambers are usually preferred. The reason for this is two folds; their design comparatively simple and they effectively attenuate the water level in the tank as the throttle helps to produce a large head losses, which reduces the amplitudes of the mass oscillations (URL-1) This headloss at the inlet port helps to dampen the energy of the water in a shorter time and reduces the size of the surge chamber. Therefore, this surge chambers are more economical. Correct calculation of the contraction at

the entrance is very important in this type of surge chambers (Berberoğlu, 2013). The contraction is usually around 0.5-0.7 of the gallery cross-sectional area (Cofcof, 2011).

This study covers numerical and experimental investigations of water mass oscillations in a orifice surge chamber. Several experiments with different flow rates have been conducted in the Fluid Mechanic Laboratory in Engineering Faculty at Niğde Ömer Halisdemir University.

A numerical model based on the solution of the governing continuity and dynamic equations has also been developed for this purpose. Obtained maximum and minimum oscillation heights and time of their occurrences from the experiment and the numerical model have been compared to evaluate the performance of the developed numerical model.

2. Material and Method

2.1. Experimental Setup

As shown in Figure 1, the experimental apparatus mainly consists of a reservoir, a pressure tunnel, an orifice surge chamber, a pump, a hydraulic tank and an oscilloscope with pressure sensors. The pressure tunnel is 3m long it has an inner diameter of 21.1mm. The orifice surge chamber has an inner diameter of 44.5mm (Figure 2).

Initially, the reservoir is fully filled with pumped water in the tank. Desired water level on the orifice surge chamber is obtained by adjusting a valve at the outlet, once steady flow condition is reached in the pressure tunnel, the flow rate is measured. Then, the valve is suddenly closed and the oscillations in the orifice surge chamber are recorded by using the camera and the oscilloscope.

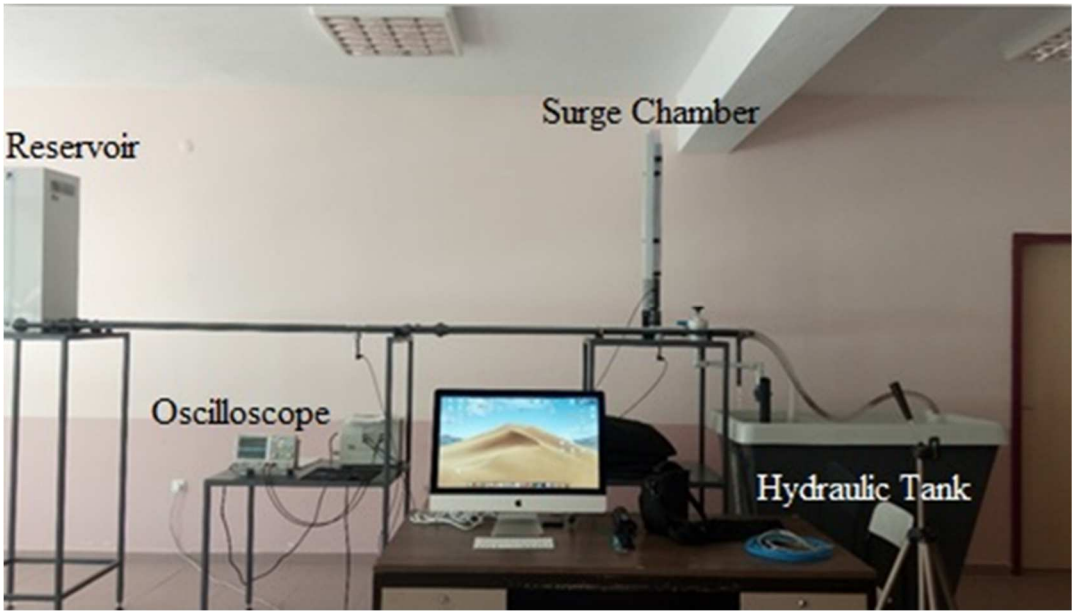
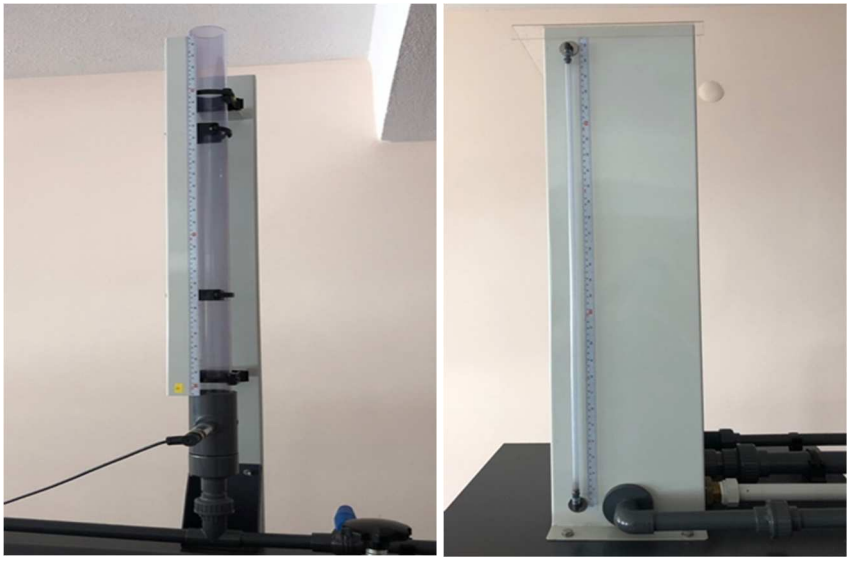


Figure 1 – Experimental setup



(a) **(b)**

Figure 2 – a) Orifice surge chamber b) reservoir

2.2. Numerical Model

Governing dynamic equations and continuity are given in Equations 1 and 3 respectively.

$$\frac{L_g}{g}\frac{du_g}{dt} + z + f_g u_g|u_g| + f_s u_s|u_s| = 0 \qquad \text{(Eq. 1)}$$

where Lg is the length of the pressure tunnel (m), ug is the flow velocity in the pressure tunnel (m/s), z is vertical distance measured from the water level (m) in the orifice surge chamber when the steady flow occurs in the pressure tunnel, fg represents minor and friction losses in the pressure tunnel.

$$f_g = \frac{1}{2g}\left[\frac{\lambda_g L_g}{D_g} + \varepsilon\right] \qquad \text{(Eq. 2)}$$

where λg is Darcy friction coefficient in the pressure tunnel, Dg is the diameter (m) of the pressure tunnel, g is gravitational acceleration (m/s^2), ε is the minor loss coefficient, fs represents losses at the entrance of the surge chamber.

$$A_s\frac{dz}{dt} = u_g A_g - Q \qquad \text{(Eq. 3)}$$

where Ag is the cross sectional area (m^2) of the pressure tunnel, As is the surge chamber cross-sectional area (m^2) and Q represents the flow rate (m^3/s).

The equations are solved in two stages by predictor-corrector type finite difference method.

3. Numerical and Experimental Results and Discussion

1st and 2nd maximum and minimum points of mass oscillations in the orifice surge chamber obtained from the numerical and experimental models are given in Table 1 and Table 2 with 10 different flow rates. Moreover, time of occurrence for these points are shown in Tables 3 - 6.

Table 1- Measured and computed first maximum and minimum oscillation values for 10 different flow rates

Flow Rates (L/s)	Measured		Computed		Absolute Error %	
	1.Maximum	1.Minimum	1.Maximum	1.Minimum	Maximum	Minimum
0.4122	98	-62	102.962	-57.045	5.0633	7.9919
0.3827	98	-64	98.161	-55.154	0.1643	13.8219
0.3475	96	-63	101.688	-57.541	5.9250	8.6651
0.3062	93	-64	95.951	-55.085	3.1731	13.9297
0.2685	88	-61	95.567	-54.749	8.5989	10.2475
0.2426	86	-58	89.818	-52.763	4.4395	9.0293
0.2224	81	-56	87.028	-51.32	7.4420	8.3571
0.1909	76	-52	78.466	-48.144	3.2447	7.4154
0.1605	67	-47	73.172	-45.988	9.2119	2.1532
0.1265	59	-42	59.339	-39.627	0.5746	5.6500

Table 2- Measured and computed second maximum and minimum oscillation values for 10 different flow rates

Flow Rates (L/s)	Measured		Computed		Absolute Error %	
	2.Maximum	2.Minimum	2.Maximum	2.Minimum	Maximum	Minimum
0.4122	40	-28	40.045	-28.877	0.1125	3.1321
0.3827	39	-29	38.575	-28.384	1.0897	2.1241
0.3475	39	-29	40.608	-29.857	4.1231	2.9552
0.3062	39	-28	38.812	-28.337	0.4821	1.2036
0.2685	38	-28	38.338	-28.529	0.8895	1.8893
0.2426	36	-28	37.367	-26.844	3.7972	4.1286
0.2224	35	-26	36.575	-27.426	4.5000	5.4846
0.1909	33	-25	34.91	-26.14	5.7879	4.5600
0.1605	32	-25	33.93	-25.455	6.0313	1.8200
0.1265	29	-23	30.122	-22.959	3.8690	0.1783

Table 3- Measured and computed time of occurrence of first maximum oscillation values for 10 different flow rates

Flow Rates (L/s)	Time (s)		Absolute Error %
	Measured	Computed	
	1.Maximum	1.Maximum	Maximum
0.4122	3.76	3.50	6.9149
0.3827	3.48	3.38	2.8736
0.3475	3.44	3.18	7.5581
0.3062	3.24	2.98	8.0247
0.2685	3.11	2.80	9.9678
0.2426	2.91	2.70	7.2165
0.2224	2.83	2.60	8.1272
0.1909	2.78	2.52	9.3525
0.1605	2.43	2.40	1.2346
0.1265	2.21	2.32	4.9774

Table 4- Measured and computed time of occurrence of first minimum oscillation values for 10 different flow rates

Flow Rates (L/s)	Time (s)		Absolute Error %
	Measured	Computed	
	1.Minimum	1.Minimum	Maximum
0.4122	7.63	7.26	4.8493
0.3827	7.49	7.14	4.6729
0.3475	7.45	6.94	6.8456
0.3062	7.36	6.74	8.4239
0.2685	7.24	6.56	9.3923
0.2426	7.11	6.46	9.1421
0.2224	7.08	6.34	10.4520
0.1909	6.70	6.24	6.8657
0.1605	6.67	6.14	7.9460
0.1265	6.44	6.02	6.5217

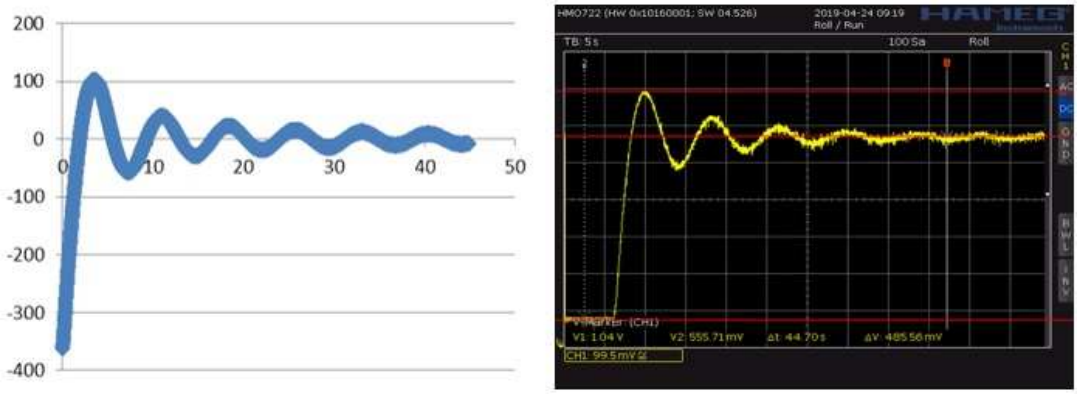
Table 5- Measured and computed time of occurrence of second maximum oscillation values for 10 different flow rates

Flow Rates (L/s)	Time (s)		Absolute Error %
	Measured	Computed	
	2.Maximum	2.Maximum	Maximum
0.4122	11.89	10.98	7.6535
0.3827	11.51	10.86	5.6473
0.3475	11.48	10.64	7.3171
0.3062	11.45	10.44	8.8210
0.2685	11.31	10.28	9.1070
0.2426	11.26	10.16	9.7691
0.2224	11.13	10.04	9.7934
0.1909	11.04	9.94	9.9638
0.1605	10.89	9.84	9.6419
0.1265	10.67	9.72	8.9035

Table 6- Measured and computed time of occurrence of second minimum oscillation values for 10 different flow rates

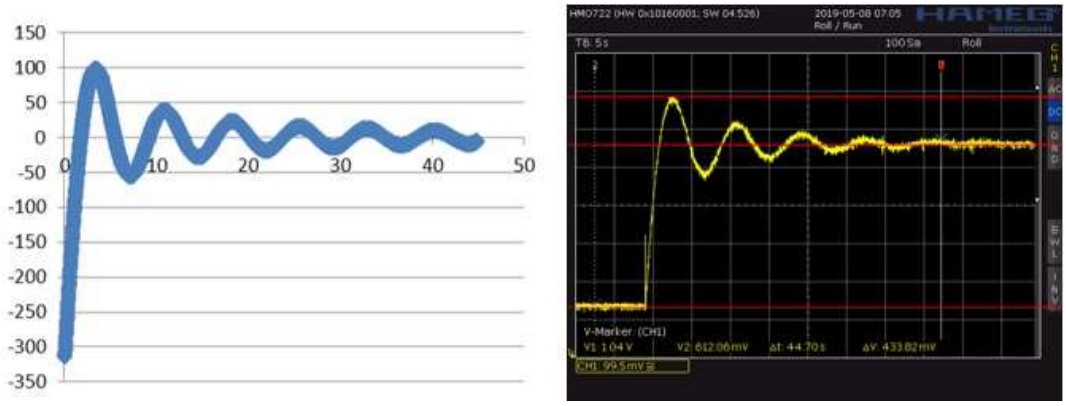
Flow Rates (L/s)	Time (s)		Absolute Error %
	Measured	Computed	
	2.Minimum	2.Minimum	Maximum
0.4122	15.96	14.68	8.0201
0.3827	15.93	14.54	8.7257
0.3475	15.70	14.36	8.5350
0.3062	15.65	14.12	9.7764
0.2685	15.56	13.96	10.2828
0.2426	15.38	13.84	10.0130
0.2224	15.24	13.74	9.8425
0.1909	15.17	13.64	10.0857
0.1605	15.13	13.52	10.6411
0.1265	15.04	13.40	10.9043

For each flow rate, the oscillation variations obtained from the oscilloscope and numerical model are graphically given in Figures 3 – 12 for comparisons.



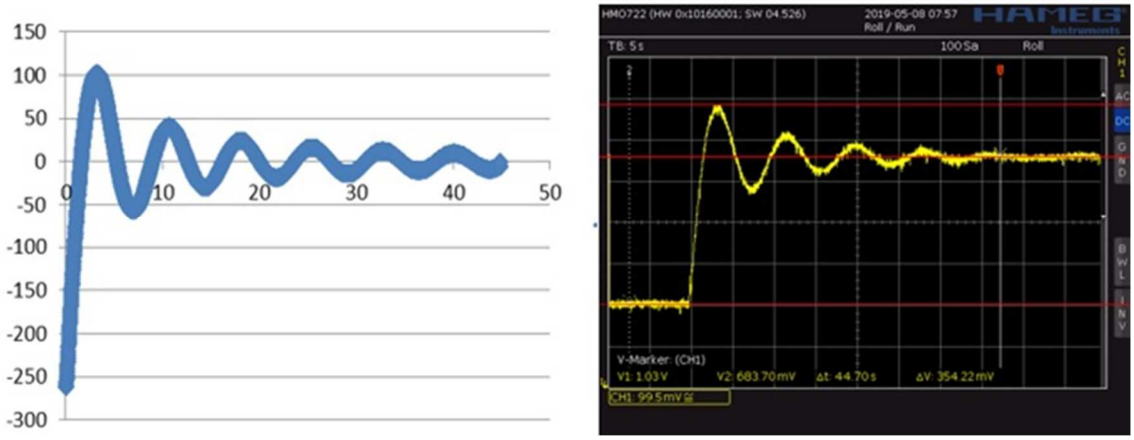
(a) **(b)**

Figure 3 – Oscillation variations for Q: 0.4122 L/s a) computed b) oscilloscope



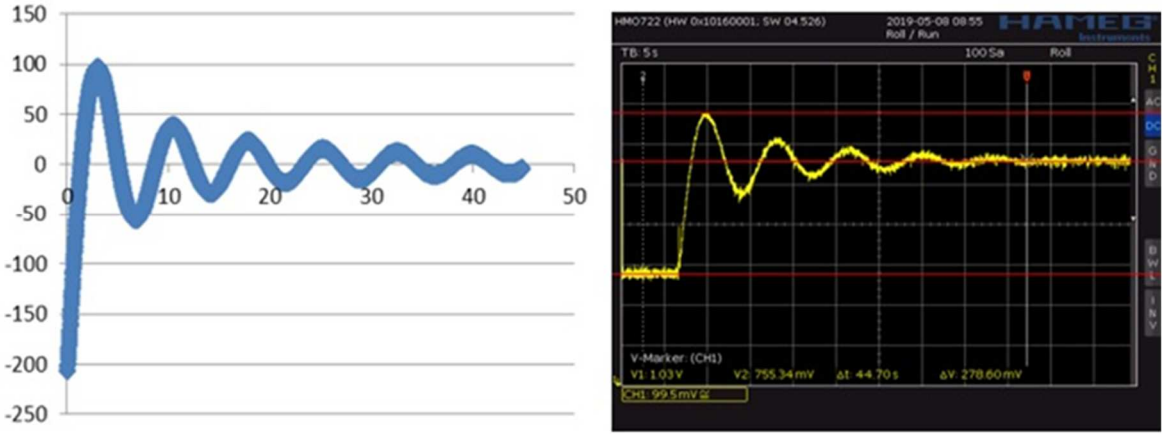
(a) **(b)**

Figure 4 – Oscillation variations for Q: 0.3827 L/s a) computed b) oscilloscope



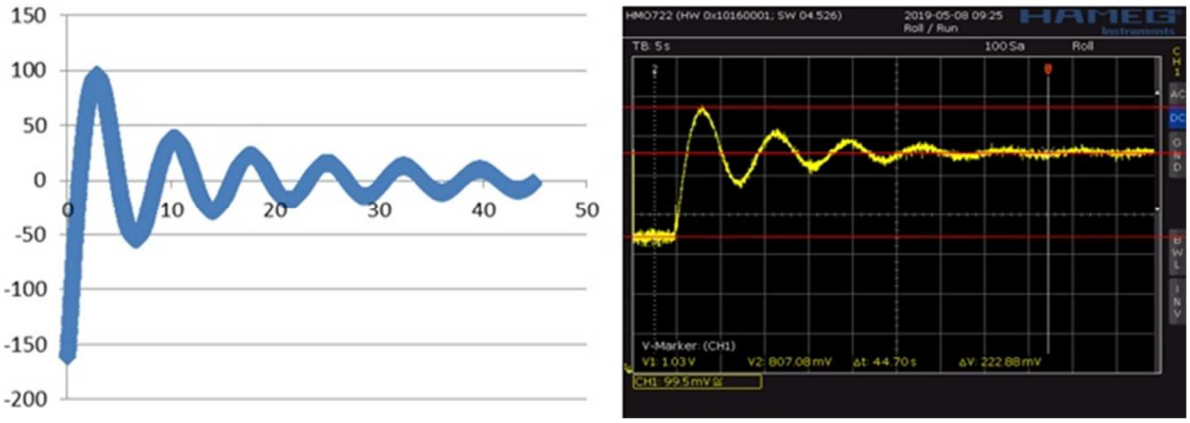
(a) **(b)**

Figure 5 – Oscillation variations for Q: 0.3475 L/s a) computed b) oscilloscope



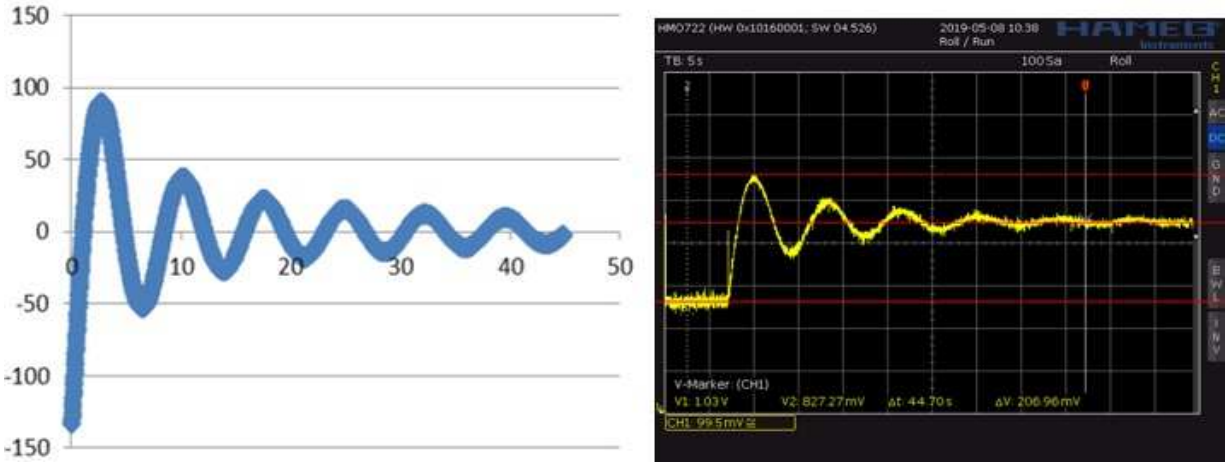
(a) **(b)**

Figure 6 – Oscillation variations for Q: 0.3062 L/s a) computed b) oscilloscope



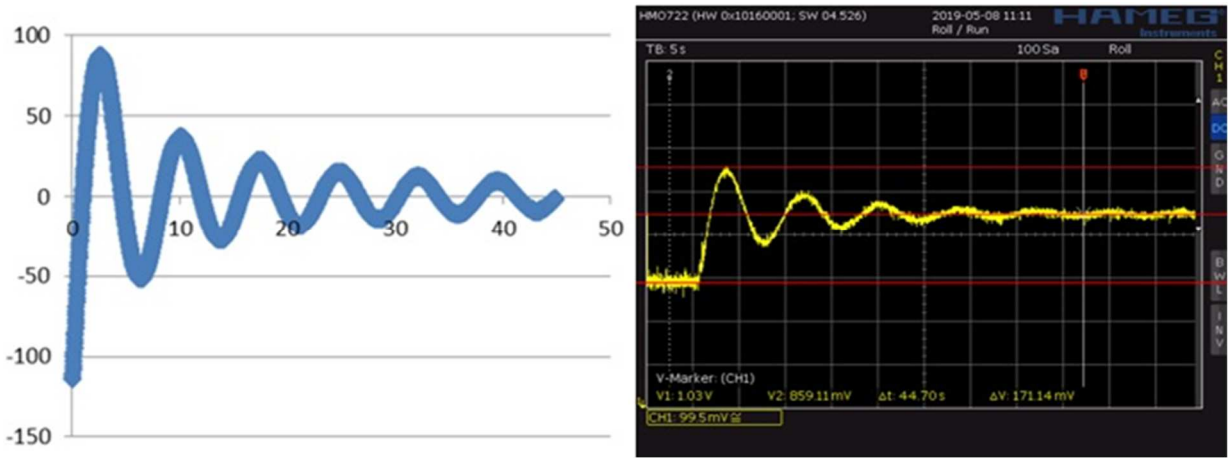
(a) **(b)**

Figure 7 – Oscillation variations for Q: 0.2685 L/s a) computed b) oscilloscope



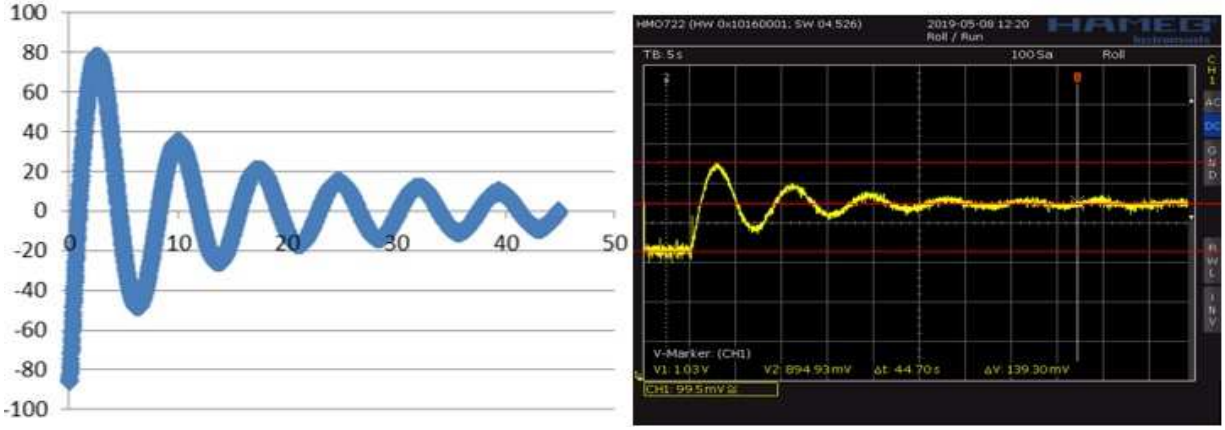
(a) **(b)**

Figure 8 – Oscillation variations for Q: 0.2426 L/s a) computed b) oscilloscope



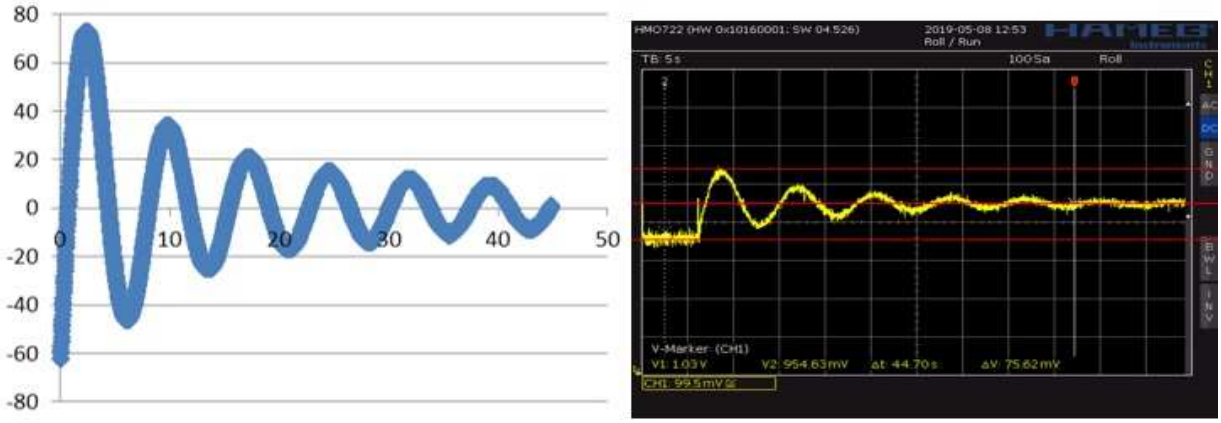
(a) **(b)**

Figure 9 – Oscillation variations for Q: 0.2224 L/s a) computed b) oscilloscope



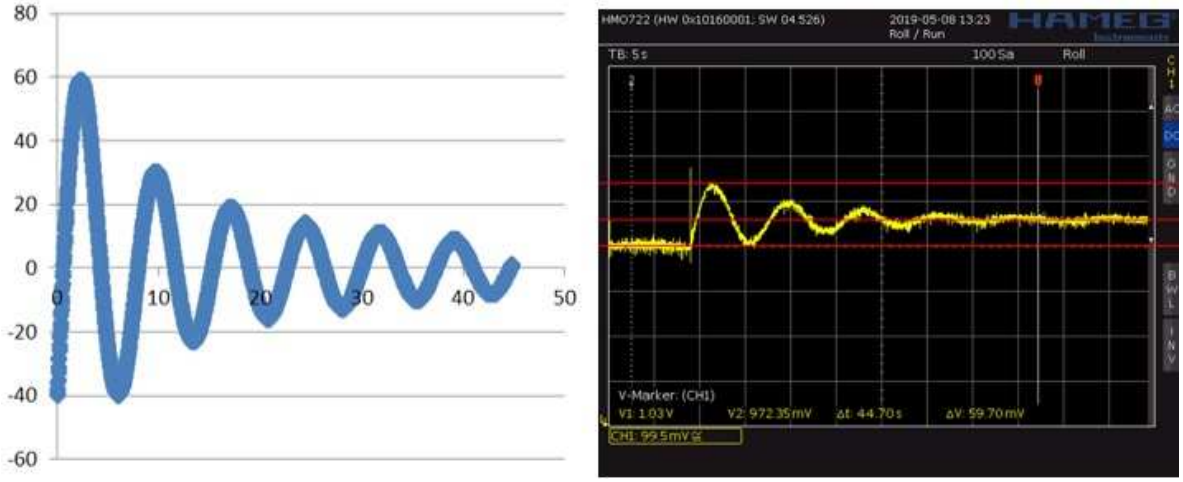
(a) **(b)**

Figure 10 – Oscillation variations for Q: 0.1909 L/s a) computed d b) oscilloscope



(a) **(b)**

Figure 11 – Oscillation variations for Q: 0.1605 L/s a) computed b) oscilloscope



(a) **(b)**

Figure 12 – Oscillation variations for Q: 0.1265 L/s a) computed b) oscilloscope

Measured and computed first maximum and minimum oscillation values and corresponding absolute errors given in Table 1 shows that the maximum absolute error is 13.93 % corresponding to the minimum oscillation values for flow rate of 0.3062 L/s, and the minimum absolute error occurs at the flow rate of 0.3827 L/s and it is 0.16 %. Calculated overall average absolute error is 4.78 % for the maximum oscillation values and 8.72 % for the minimum oscillation values.

Measured and computed second maximum and minimum oscillation values and corresponding absolute errors given in Table 2 shows that the maximum absolute error is 6.03 % corresponding to the maximum oscillation values for flow rate of 0.1605 L/s, and the minimum absolute error occurs at the flow rate of 0.4122 L/s and it is 0.113 %. Calculated overall average absolute error is 3.07 % for the maximum oscillation values and 2.75 % for the minimum oscillation values.

The maximum and calculated average absolute errors corresponding to the measured and computed time of occurrence of first maximum oscillation values are 9.97 % and 6.62 % respectively. The maximum and calculated average absolute errors corresponding to the measured and computed time of occurrence of first minimum oscillation values are 10.45 % and 7.51 % respectively.

The maximum and calculated average absolute errors corresponding to the measured and computed time of occurrence of second maximum oscillation values are 9.96 % and 8.66 % respectively. The maximum and calculated average absolute errors corresponding to the measured and computed time of occurrence of second minimum oscillation values are 10.90% and 9.68 % respectively.

The differences can be attributed to the calibrated friction coefficient for the tunnel and the loss coefficient due to the entrance of throttled section of the surge chamber as well as the reading errors. However, one can conclude that the differences between measured and computed values are still within the acceptable limits.

Looking at Figure 3-12, the patterns of the oscillations variations obtained from the numerical model and the oscilloscope show similarities.

4. Conclusion

A numerical model has been developed for the computation of mass oscillations in a surge chamber and several experiments have been conducted in the laboratory. The numerical model verification is made by comparing the numerical results with the experimental ones. It has been shown that the developed model is promising and can be used for the simulations of the similar experimental or real life problems.

References

1. Berberoğlu, P. (2013). Numerical investigation of effective surge tank dimensions in hydropower plants under various hydraulic conditions. The degree of master of science, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.
2. Cofcof, Ş. (2011). Denge Bacaları. DSİ Yayınları.
3. Guo, J., Woldeyesus, K., Zhang, J. & Ju, X. (2017). Time evolution of water surface oscillations in surge tanks. *Journal of Hydraulic Research*, 55(5), 657-667, DOI: 10.1080/00221686.2017.1289267
4. Johnson, R.D. (1908). The surge tank in water power plants. *Transactions of ASME*, 30, 443-474.
5. Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. & Narayanan, R. (2007). *Hydraulic Structures*. Fourth Edition, Londan and Newyork.
6. URL-1: Design of Restricted Orifice Surge Tank. Date of Access: 21.05.2019, http://civilyarou.web.fc2.com/WANtaroHP_html5_win/f90_ENGI/dir_SURGE/en_TeX_SURGE.pdf.

Water footprint as a new sustainability indicator for regional and global water resources (Oral)

Abdullah Muratoglu[1]

[1] Department of Civil Engineering, Batman University, Turkey

Abstract

Water footprint (WF) is relatively a new environmental and sustainability indicator measuring the quality and quantity of water resources implemented within a geographically delineated area, product or through a process. The concept has been formulated to reveal the hidden links of human appropriation on water resources and to understand the relationships between production, consumption and trade [1] using a comprehensive approach. Thus, the outcomes of WF analyses provide suitable information to policy makers for better water management and governance on regional and global scale. While traditional approaches mainly regard on direct consumption of water resources and they demonstrate limited information on water utilization; the WF methodology assesses total evapotranspiration, surface and ground water exploitation for both direct and indirect ways through the whole supply chain. The main scope of this study is to introduce the WF concept and to explain the hidden water volumes behind dairy products and processes. Globally, average 1827 lt water is required to produce 1 kg of wheat [2]. Similarly, the average virtual water contents (VWC) of cattle and sheep meat is approximately 15400 and 10400 lt/kg, respectively [3]. Majority of water behind the products is agricultural green water which is the total volume of evapotranspiration from rainfall required to produce the crops. Consequently, in this study, the WF and VWC concepts and statistics; blue, green and grey water components, the shares of agricultural and livestock production and domestic/industrial WF scores have been underlined for Turkey and global average.

Keyword(s): Water footprint, environment, sustainability, production, trade, agriculture

1. Introduction

1.1. Water resources and scarcity

Water is one of the most important and vital natural resources. On our planet, all living activities are depend on the existence of water. It is also the main input for modern processes such as agricultural activities, energy production, many industrial sectors, etc. Large part of Earth's surface is covered by water. However, majority of available water could not be used by human activities and the amount of fresh and usable water resources is quite limited. Global freshwater potential accounts 2.5% of available water on Earth [4]. High percentage of this amount is available on ice cover and still cannot be utilized. Consequently, only around 0.3% [5] of total water resources on earth is assigned for human allocation. On the other hand, human interference on water resources has greatly increased [6] in the last decades. Increasing

population, higher per capita water consumption and capacity increase of agricultural and industrial sectors detrimentally effected the quality and quantity of available and limited fresh water resources on earth. High demand rates and non-homogenous spatial and temporal distribution of water resources has triggered the scarcity problems at local and global level. The detrimental impacts of water scarcity is observed especially in arid and semi-arid regions where the evaporation exceeds the precipitation amount [7]. Thus, in the last decades, the accurate management of water resources had been an important scientific and political issue, in which majority of nations have put required rules and regulations.

1.2. Water footprint concept

The water footprint (WF) concept is a recently developed indicator which quantifies the amount of water consumed or processed by goods, services or inside geographically delineated areas. The concept has been proposed by Hoekstra (2002) [8] to reveal the hidden links of human consumption and available water resources [1]. Thus, the WF quantification studies has direct contributions on the sustainability of regional and global water resources.

The water footprint of a product is defined as the total consumptive and contaminative use of water resources through its whole supply chain. On the other hand, the WF of geographically delineated area is defined as the total amount of water consumed at that region [9]. Comparing to the traditional quantification approaches, the water footprint methodology includes the consumptive or evaporative use of all processes by tracing the origins of the products. Additionally, the type of the allocated water is also specified by assigning colors such as blue, green and grey water. Blue water is defined as the consumed surface and ground water in a region or through a production process. Green water is the total evaporative component (evapotranspiration) which is mainly observed at the agricultural products. Finally, the grey water footprint is defined as the total amount of fresh water in order to assimilate the load of pollutants to meet the environmental standards. The total water footprint becomes the sum of the blue, green and grey components [9] (Eq. 1).

$$WF = WF_{blue} + WF_{green} + WF_{grey} \quad (1)$$

2. Water footprint methodology

The WF of a product, process or company is calculated by including all water intensive activities through the supply chain or life cycle. On the other hand, the WF of an area or region is evaluated by considering all the consumptive and pollutive activities [10]. Similarly, the WF of nations, basins, cities or other specific geographically delineated areas can be obtained. The water footprint of any spatial resolution is mainly calculated from two perspectives which are production and consumption. The WF of national production is the amount of water consumed and contaminated inside the borders of that nation, including the exported products. On the other hand, the WF of national consumption becomes the total amount of water processed through all activities which is consumed or utilized by inhabitants

of that nation including the imported products. Thus, the WFs of production and consumption is not necessarily to be equal. The water transfers together with the product trade which is also known as the virtual water transfer is another important term which arises from the consumption and production perspective. Explanation the virtual water transfer mechanism out of scope of this study. In this study, mainly the water footprint of production has been reported. Consequently, the total water footprint of a region or area becomes the sum of water footprints of crop production, livestock activities, domestic and industrial utilization (Eq. 2).

$$WF_{area} = WF_{crop} + WF_{livestock} + WF_{domestic} + WF_{industry} \quad (2)$$

The agricultural operations have substantial importance for water footprint accounting. Around 90 % of global fresh water is consumed by agrarian activities [1]. The water consumption through crop production process is greatly takes place by evapotranspiration which is defined as the case of transfer of a certain amount of water into the atmosphere on a vegetated surface. Thus, accurate measurement or prediction of evapotranspiration (ET) is of great importance for WF accounting. Total evapotranspiration is a function of climatic parameters, crop parameters and management and environmental conditions (Figure 1). The important climatic parameters are; average maximum and minimum temperature, average humidity, solar radiation or sunshine hours and wind speed. Mainly, these parameters (long-term averages) are employed to predict the reference evapotranspiration (ET_0) amount. The ET_0 provides a very practical approximation which is defined as the evaporative power of atmosphere and it is independent from the crop type and agricultural operations. Although there are different method proposed to predict the reference ET, the FAO Penman-Monteith approximation is accepted as the sole method for ET_0 modeling [11]. Reference ET is a strongly location-based parameter which is predicted for a discrete point by employing the latitude and altitude of the studied position.

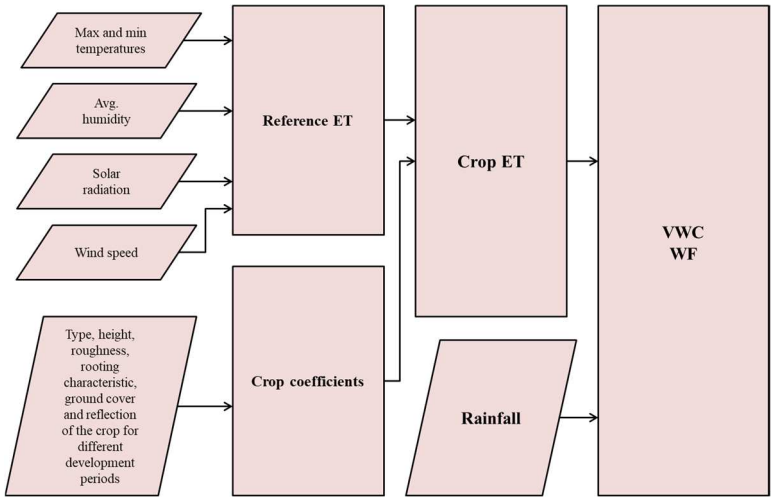


Figure 1 – Water footprint calculation process

On the other hand, the crop parameters effecting evapotranspiration is the type, height, roughness, rooting characteristic, ground cover and reflection of the crop [11]. Mainly, these

parameters are embedded in another term which is known as the crop coefficient (K_c). The crop coefficients include the above-mentioned crop parameters and derived for different development periods which are initial, development, mid-season and late-season stages. Similar to the reference ET, the K_c's are also location based and point measurements are needed to be estimated.

Total crop evapotranspiration is evaluated by considering both crop coefficients and reference evapotranspiration (Eq. 3). Mostly, the CROPWAT model [12] is used to predict the total product-based evapotranspiration amounts. All water intensive crops should be inputted to accurately model the total water footprint of agricultural production in a geographically delineated area.

$$ET_C = K_C ET_0 \tag{3}$$

The separation of blue and green water footprints is provided as a result of the blue and green ET. Blue ET is defined as the total evapotranspiration from the irrigation, surface and ground water. Similarly, the green ET is known as the evapotranspiration from the experienced total rainfall. Blue and green evapotranspiration and water footprints are mainly estimated by using modeling tools developed to predict the irrigation requirements such as crop water requirement, irrigation requirement [13] or grid based dynamic water balance models.

3. Data input

Various different data sources which should be obtained from different authorities are required for water footprint analyses. Necessitating the large data input is one of the main difficulties of WF studies effecting the quantity of available scientific studies. Meteorological, climatic and crop statistics data, as well as the water requirements of sub-processes are among the main data input for majority of water footprint analyses. Real data which is measured in the studied area provide a more accurate input. Global gridded data maps can also be used when available data is insufficient or in the case of large-scale analyses. Mainly long-term climatic data at least 30 years of time period including temperature, humidity and solar radiation and wind speed is employed. Effective precipitation which is defined as the amount of precipitation stored in the soil is another important data input for WF analyses. CROPWAT model has the capability of employing different effective rainfall methods. On the other hand, the crop coefficients are another important data input for the processes which employs the agricultural products such as crops, livestock and derived products. Finally, the industrial activities in which the raw product or material is processed should be carefully analyzed in term of water consumption and contamination. The water utilization of each sector or sub-processes would have different water footprints. The water requirement per unit mass of transformed products is known as the water footprint of production processes.

4. WF statistics

The water footprint concept has been introduced to the scientific literature by Hoekstra in 2002 [8]. Since then, various studies have been concluded on local and global scale. The most comprehensive guide is published by [9] in which the water footprint methodology and calculation mechanism is explained in details. The most important and extensive studies quantifying global water footprints and virtual water concepts of crop production and derived sub-products are conducted by [2, 14, 15]. Similarly, the national water footprint accounts in terms of production and consumption for various countries has been analyzed by [16, 17, 18]. The water footprint analysis of Turkey based on the data generated by abovementioned studies is provided by [19]. In this study, the national and global water footprint statistics of various different products is illustrated based on previous studies.

4.1. Global WF of production

The annual global water footprint of production is estimated to be 9087 Gm^3 including crop production, livestock activities (both as agricultural production) and industrial and domestic use (Figure 2). It has been reported that, the agricultural activities are responsible around 92% of total water footprint while the industrial and domestic consumption approximately remains at 4%. High component corresponding around 38% of total water footprint is situated in China, India and USA [20]. It could be observed that high proportion of both domestic and industrial water supply is composed of grey component which shows the environmental pollution dimension of these activities. On the other hand, crop production highly relies on the green water in which, the principal source is precipitation. This situation shows that, the global water footprint is strongly depend on the climatic conditions and water scarcity can considerably affect the crop production and its water footprint.

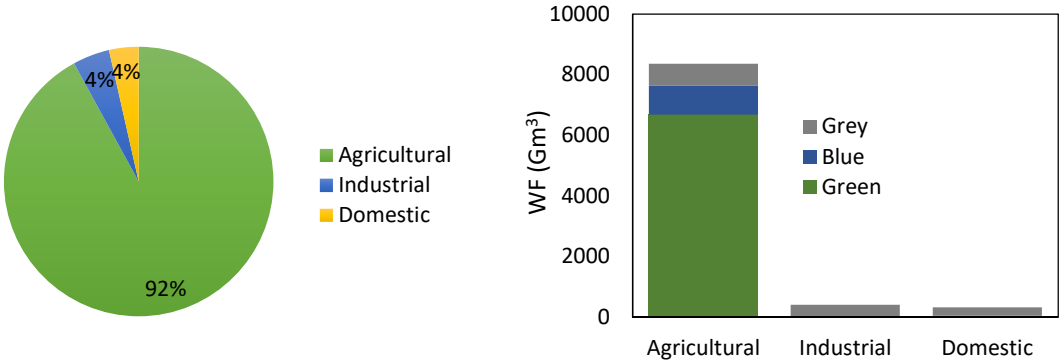


Figure 2 – Statistics on global water footprint of production
(Data is based on [20])

4.2. WF of crop production

Wheat is the most important crop having largest global water footprint based on its production mass and extensive harvesting. The total water footprint of wheat is around 15% of total WF of crop production which corresponds to 1087 Gm^3/yr. Rice and maize also play an important

role of total global water consumption which is around 992 and 770 Gm^3/yr, respectively. Fodder crops which is mainly used for livestock activities account around 9% of global fresh water consumption and contamination [2]. Detailed shares of WF of these and other crops have been illustrated in Figure 3.

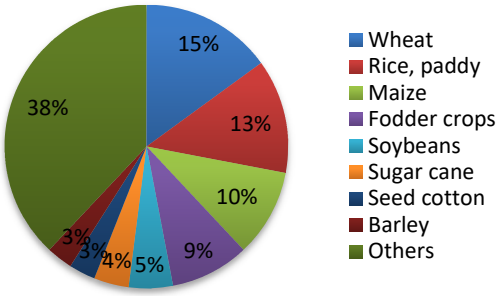


Figure 3 – Global water footprint shares of various crops
(Data is based on [2])

Virtual water content (VWC) which is defined as the embedded volume of water per ton of products has been illustrated for major crops in terms of global averages in Figure 4. According to this outcome, pistachio has the largest virtual water content exceeding around 11000 m^3/ton which is dominantly composed of blue water. Tea is also of high global virtual water content approximating 10000 m^3/ton. On the other hand, seed cotton, lentils, dry beans and chick peas have intermediate VWCs [2]. High grey water component of these products receive attention which is believed to be sourced from the agricultural fertilizer utilization. Consequently, wheat, rice and maize which are the most extensively cultivated crops have relatively small virtual water contents and dominantly composed of green water. Relatively low virtual water contents of these crops is very important in order to reduce the pressure of agricultural production on the fresh water resources considering their high production mass and extensive use.

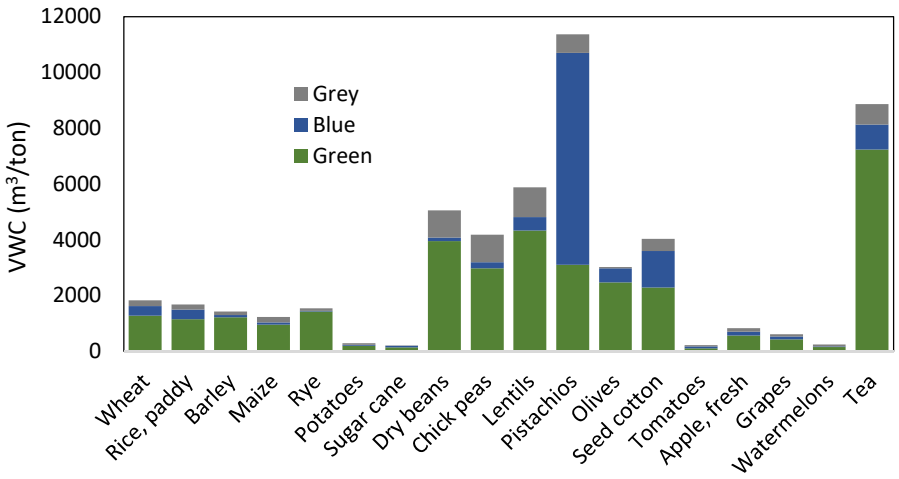


Figure 4 – Global average virtual water contents of various crops
(Data is based on [2])

4.3. WF of livestock production

It has been reported that, water footprint per ton of animal products is generally larger than that of crop products [21]. Global water footprint of animal production is estimated as 2422 Gm^3/yr in which, the majority of water (98%) [21] is consumed or polluted in order to produce the fodder crops which have been included in Section 4.2. The water contents per ton of various animal products have been illustrated in Figure 5. Accordingly, leather has the highest VWC. However, beef and other meat types become more substantial based on their high consumption rate world widely. Meat from bovine animals has extremely large water footprint in which one kilogram of beef consumes higher than 15 m^3 of water. Similarly, the virtual water content of sheep meat seems to be slightly higher than 10000 m^3/ton.

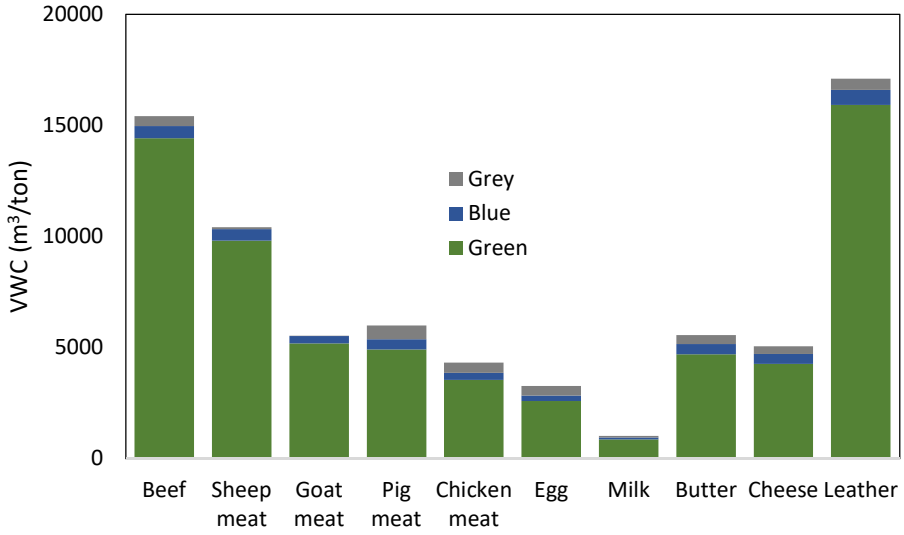


Figure 5 – Virtual water contents of livestock products
(Data is based on [22])

4.4. Turkey's water footprint

Turkey's per capita water footprint is estimated as 1615 m^3/yr [23]. Turkey's total water footprint is also reported to be around 115.5 Gm^3/yr [17]. The green, blue and grey water shares of different sectors have been illustrated in Figure 6. Turkey's WF of crop production excluding the fodder crops for livestock activities accounts to be around 87 %. The share of WF of livestock production in total national water footprint becomes around 7%. It should be noted that, Turkey's grey water proportion in industrial production and domestic water supply is extremely high which is an expected situation. Total share of grey water footprint remains at 13%, which is very close to the blue water share.

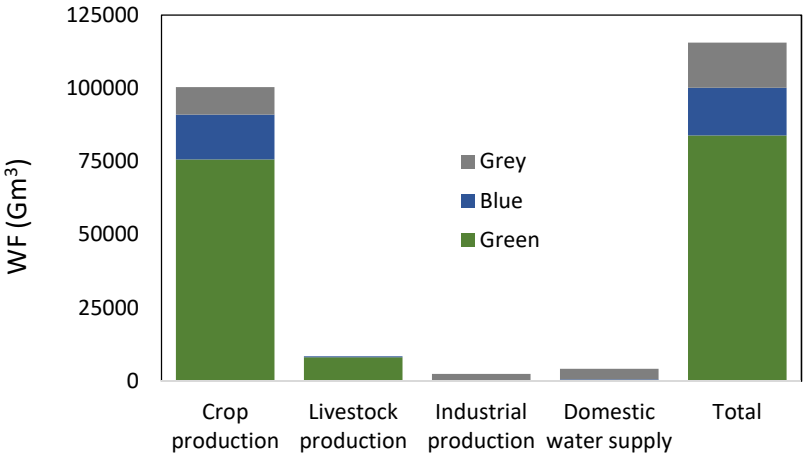


Figure 6 – Turkey's water footprint outlook
(Data is based on [17])

National virtual water contents of various crop and livestock products have been illustrated and compared in Figure 7. Accordingly, bovine meat has the highest virtual water content which is around 20000 m^3/ton. Olive oil is also of high VWC. On the other hand, wheat, barley and maize which are among the mostly cultivated cereals having reasonable virtual water contents. High blue water proportion in the cotton lint, cotton seed and rice also attracts the attention.

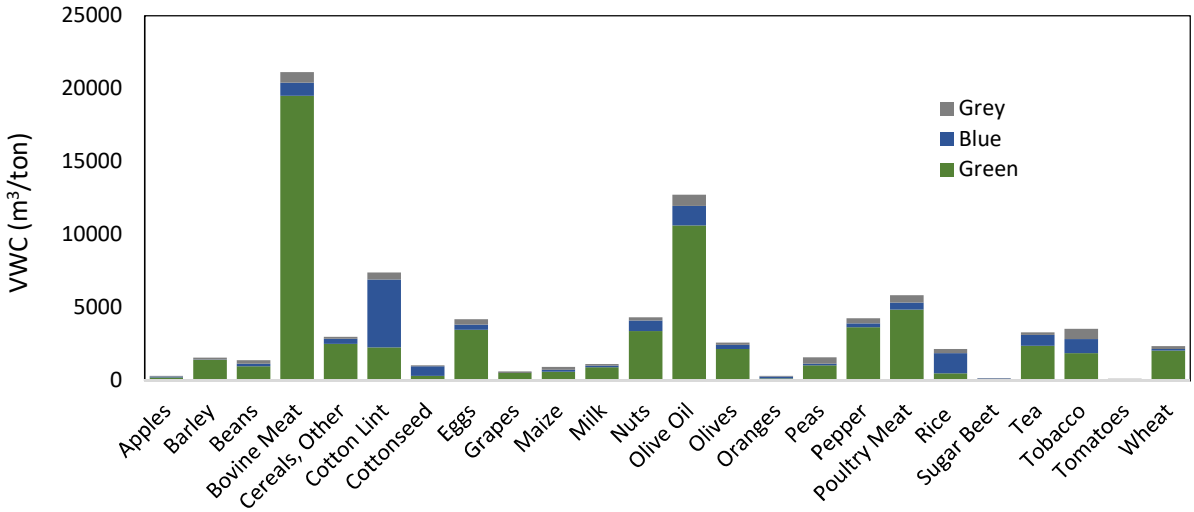


Figure 7 – Virtual water contents of various crop and livestock products for Turkey
(Data is based on [17])

5. Conclusion

In this study, the water footprint concept, which is a new parameter for sustainability of fresh water resources has been introduced. Detailed water footprints and virtual water contents of agricultural, industrial and domestic products have been illustrated for global average and Turkey. Employed data is mostly obtained from the previous studies which are covered in Section 4. Smaller quantities of water footprint mean higher sustainability of available limited water resources of earth. On the other hand, the blue water proportion is also an important

criterion showing the employed surface and ground water resources consumed. Thus, the blue water ratios should be reduced for crop production or industrial activities. Finally, high grey water percentages show the level of anthropogenic pollutions on water resources. Using suitable treatment facilities will considerably decrease the surface or ground water contamination. Consequently, the green, blue and grey components of water footprint are important in order to reveal the human appropriation type and influence which directly affecting the sustainability of fresh water resources.

References

1. Ercin A.E., Governance of globalized water resources: The application of water footprint to inform corporate strategy and government policy, Ph.D. Dissertation in University of Twente, 2012. doi:10.3990/1.9789036534154

2. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., The green, blue and grey water footprint of crops and derived products. Volume 1: Main report, Unesco-IHE Institute for Water Education, 2010.

3. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 1: Main Report, UNESCO-IHE Institute for Water Education, UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2011. doi:10.5194/hess-15-1577-2011

4. Distefano T., Kelly S., Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth, Ecological Economics, 142 130–147, 2017.

5. Tunç Dede Ö., Sezer M., The application of Canadian water quality index (CWQI) model for the assessment of water quality of Aksu creek, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 32 (3), 909–917, 2017.

6. Postel S., Last Oasis: Facing Water Scarcity, American Journal of Alternative Agriculture, 8 94–96, 1993.

7. Bond N.R., Burrows R.M., Kennard M.J., Bunn S.E., Water Scarcity as a Driver of Multiple Stressor Effects, Multiple Stressors in River Ecosystems, 111–129, 2019. doi:10.1016/B978-0-12-811713-2.00006-6

8. Hoekstra A.Y., Virtual Water Trade, in Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, UNESCO-IHE, 2002.

9. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Aldaya M.M., Mekonnen M.M., The Water Footprint Assessment Manual, Water Footprint Network, 2011. doi:978-1-84971-279-8

10. Hoekstra A.E.E., Y. A., Carbon and Water Footprints, Concepts, Methodologies and Policy Responses, (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), 1–24, 2012. doi:10.1038/021225b0

11. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements (FAO Irrigation and DRainage paper no.56), FAO,

1998. doi:10.1016/j.eja.2010.12.001

12. Smith M., CROPWAT A computer program for irrigation planning and management (FAO-Irrigation and drainage paper, 46), 1992.

13. FAO, CropWat 8.0 Model, Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2018.

14. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., The green, blue and grey water footprint of crops and derived products. Volume 2: Appendices, UNESCO-IHE Instituate for water education, 2010.

15. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Hydrology and Earth System Sciences, 15 (5), 1577–1600, 2011.

16. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption, Volume 1: Main report, Education, UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2011.

17. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption, Volume 2: Appendices, Unesco-IHE Institute for Water Education, 2011.

18. Hoekstra A.Y., Chapagain A.K., Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern, Water Resources Management, 21 (1), 35–48, 2006.

19. Pegram G., Conyngham S., Aksoy A., Dıvrak B.B., Öztok D., Türkiye'nin su ayak izi raporu: Su, üretim ve uluslararası ticaret ilişkisi, WWF, 2014.

20. Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M., The water footprint of humanity, Proceedings of the National Academy of Sciences, 109 (9), 3232–3237, 2012.

21. Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products Volume 1: Main report, Unesco-IHE Institute for Water Education, 2010.

22. Mekonnen M., Hoekstra A., A global assessment of the water footprint of farm animal products, Ecosystems, 15 (3), 401–415, 2012.

23. Chapagain A.K., Hoekstra A.Y., Water footprint of nations. Volume 1 : Main report, Value of Water Research Report Series, 1 (16), 1–80, 2004.

Estimation of Daily Dissolved Oxygen Concentration in the Clackamas River, Oregon, Using the Multivariate Adaptive Regression Splines

Sinan NACAR[1], Betül METE[1], Adem BAYRAM[1]

[1]Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

Emails: sinannacar@ktu.edu.tr, betulmete@ktu.edu.tr, abayram@ktu.edu.tr

Abstract

Dissolved oxygen (DO) concentration is an important parameter for determining the water quality of surface waters. In this study, multivariate adaptive regression splines (MARS) and three different regression forms, exponential, power, and linear functions, were applied to estimate dissolved oxygen (DO) concentration using several water quality parameters as input. The river water temperature (WT), electrical conductivity (EC), discharge (Q), and pH as well as DO concentration data from one station operated by the United States Geological Survey (USGS) were used for developing the models. The surface-water quality data, which were collected daily during a period from September 2016 to August 2017, of the Clackamas River, Oregon, were obtained from the USGS web page. For each water-quality indicator, there were 352 data, 232 of which were used as a training data set, and the rest were used as a test data set. Four different input sets were tested to determine the effect of each input variable used in modeling on the accuracy of the models. For evaluating the performance of functions and input sets, three statistical indices, namely root means square error, mean absolute error, and the Nash Sutcliffe coefficient of efficiency, were used. The results showed that the MARS gave more accurate results than the regression forms. It was also concluded that the river water-quality indicators such as WT, EC, Q, and pH can be employed successfully in DO estimation studies.

Keywords: Conventional regression analysis, Dissolved oxygen concentration, MARS, River water quality

1. Introduction

Water quality measurements include a variety of physical, chemical, and biological parameters. The concentration of dissolved oxygen (DO), one of these parameters, is an important parameter for the healthy functioning of aquatic ecosystems, and a significant indicator of the state of aquatic ecosystems. The dissolved oxygen levels in aquatic systems probably reveal more about their metabolism than any other single measurement. Concentrations reflect the momentary balance between oxygen supply from the atmosphere and photosynthesis on one hand, and the metabolic processes that consume oxygen on the other hand [1, 2]. The basic problem in the case of water quality monitoring is the complexity associated with analyzing a large number of variables. Dissolved oxygen content is one of the easiest and most basic water quality parameters to measure and is a good indicator of overall water body health. Because of resource deficiencies, budget constraints, and the sheer number of river miles to be assessed, there is a need for cost-efficient and effective methods that can

estimate DO for a large number of river miles using limited monitoring data [3]. Various methods have been used for the estimation of DO concentration in surface waters over the past years [4-9]. The aim of this study is to estimate the DO concentration using water temperature (WT), electrical conductivity (EC), discharge (Q), and pH with the help of multivariate adaptive regression splines (MARS) and conventional regression analysis (CRA). Various combinations of the WT, EC, Q, and pH variables are used as input data set in this study to modeling the DO concentration.

2. Material and Methods

2.1. The Study Area

The Clackamas River in northwestern Oregon is valued for its scenic beauty, recreational opportunities, salmon and steelhead runs, and for providing a high-quality source of drinking water. From its headwaters in the Cascade Range between Mount Hood and Mount Jefferson, the upper Clackamas River descends 7,200 feet on a northwesterly course, winding through steep canyons and gorges and cutting through prominent basalt outcrops and cliffs. From the high mountainous areas to the low valleys, the landscape of the Clackamas Basin is diverse, featuring five ecoregions, each with its own unique combination of climate, geology, soils, and vegetation that shape the various hydrologic and chemical factors that influence water quality. Human activities in the basin, including timber harvesting, construction of roads and urban developments, farming, gravel mining, and hydroelectric power generation also may affect water quality. The largest inputs of contaminants introduced by human development occur in the lower basin, particularly on the north side of the Clackamas River, where agricultural and urban land is concentrated. Water-quality problems, such as high levels of turbidity, also occasionally occur from soil erosion, particularly in the upper basin, where steep topography and geologic instability, combined with abundant winter precipitation, contribute to erosion during periods of heavy runoff. The Clackamas River Basin encompasses 940 square miles of public and private forestland, agricultural land, rural residential areas, and urban development [10].

2.2. Modeling Variables

One of the most important parts of DO concentration estimation studies is to determine the independent variables. So the independent variables must be chosen appropriately. A wide variety of variables have been used in studies of DO modeling in the literature. These variables are WT, pH, EC, Q, specific conductivity, water depth, hardness, suspended solids, total solids, total alkalinity, total dissolved solids, nitrite, nitrate, ammonia, ammonium, total phosphorus, chemical oxygen demand, sulfate, sodium, potassium, calcium, chloride, iron, and manganese. Taking into account the literature review made by [5], the WT, EC, Q, and pH, which are effective in modeling studies, were determined as inputs. The choice of these input variables was also based on their availability and thus could be relevant in pollution monitoring and control, and also based on the relationship among the inputs and DO [8, 11]. After these parameters were determined, the correlation between them and DO was examined. The correlations between the input parameters and with DO concentration are given in Table 1.

Table 1 – The correlation coefficient (r) of water-quality parameters

r	WT	EC	Q	pH
EC	0.874			
Q	-0.492	-0.692		
pH	-0.351	-0.055	-0.323	
DO	-0.971	-0.913	0.648	0.254

It can be seen from Table 1 that the WT and EC have higher negative correlations with the DO (-0.971 and -0.913 respectively) and also the Q has a higher correlation with the DO concentration. It is clear from the table that the most effective parameter is WT. According to the results of the correlation analysis, WT, EC, Q, and pH parameters were selected as estimators. After the selection of estimators, in order to determine the effect of each parameter on the DO estimation, models were created with different combinations of these estimators.

2.3. Multivariate Adaptive Regression Splines

MARS which is developed by [12] is a form of nonparametric regression analyses. This technique has gathered attention due to the significant performance in estimates made with a nonlinear dataset. This flexible method is used in order to predict continuous numeric outcomes. Non-parametric regression methods are used to be able to represent events that are not linearity between variables. The MARS technique produces flexible, precise and quick regression models for forecasting continuous and binary output variables. It has been successfully applied and verified in the different field engineering applications [13-16]. The detailed information about the MARS can be found in [17].

2.4. Modeling Applications

The daily mean data recorded at Clackamas River, Oregon, in the USA were used in this study. Table 2 gives the statistics of the DO, WT, EC, Q, and pH.

Table 2 – Basic statistics of the daily measured parameters between September 2016 and August 2017

Parameter	DO	WT	EC	Q	pH
Unit	mg/L	°C	µS/cm	$feet^3/s$	-
X_{max}	14.30	17.90	58.46	16100.00	7.60
X_{min}	8.70	0.70	20.20	685.00	7.30
X_{mean}	11.33	9.33	35.62	2911.76	7.46
σ	1.65	5.01	11.30	2316.00	0.08
C_{sx}	-0.10	0.18	0.61	2.07	0.40

X_{max}, X_{min}, X_{mean}, σ, and C_{sx} indicate the maximum, minimum, mean, standard deviation, and skewness coefficient of the parameters, respectively. A total of 352 measurements were obtained from the web site of the USGS. 232 of these (for each season two month) measurements were used for training and the remaining 120 (for each season one month) measurements were reserved for test process. In this way, the function giving good results for the training dataset will be tested whether it gives the good results for another data set. After

the separation of data into training and test groups, various input combinations were tried in order to evaluate the effect of each variable on concentration. The input combinations evaluated in this study are WT (M1), WT and EC (M2), WT, EC, and Q (M3), and WT, EC, Q, and pH (M4), respectively. Following the input combination and modeling process, the CRA method was employed to obtain the coefficients giving the closest values to the actual values of the DO concentration. IBM SPSS statistics 25 for windows is used to find the coefficients of the equations in the CRA. In the modeling process, three regression functions are used to estimate the DO concentration considering the measurement results. These functions are exponential (EF), linear (LF), and power (PF), and can be formulated as follows:

$$y_{EF} = w_0 + \exp(w_1 + w_2 x_1 + w_3 x_2 + \ldots + w_{n+1} x_n) \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$y_{LF} = w_0 + w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \ldots + w_n x_n \quad \text{(Eq. 2)}$$

$$y_{PF} = w_0 x_1^{w_1} x_2^{w_2} x_3^{w_3} x_4^{w_4} \ldots x_n^{b_n} \quad \text{(Eq. 3)}$$

Then the MARS method was applied to the training data set and the equation and basic functions which gave the lowest error value were determined. The Salford Predictive Moduler 8.0 software was used for the MARS method. The estimation performances of the regression functions are evaluated using root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and Nash Sutcliffe coefficient of efficiency (NS) for training and testing data sets. The RMSE, MAE, and NS are calculated as follows:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(t_i - td_i)^2} \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|(t_i - td_i)\right| \quad \text{(Eq. 5)}$$

$$\text{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(t_i - \bar{t})^2} \quad \text{(Eq. 6)}$$

where t_i is the actual value, $\bar{t}$ is the average of actual values, td_i is the estimated value, and N is the total number of samples. The highest values of the NS and the lowest values of the RMSE and MAE mean better performance of the developed models [18, 19].

3. Results and Discussion

Using data the USGS for the Clackamas River, firstly the CRA is applied to the LF, PF, and EF for each model. In the results of the analysis, the fittest coefficients obtained from the training data set for the functions are presented in Table 3. Then the MARS method was applied. The optimum parameters for MARS models were determined by trial and error. In the MARS technique, the maximum number of BFs was initially selected as 50 for each model. The optimum number of BF and coefficients obtained from the MARS were given in Table 4.

Table 3 – The coefficients obtained from the CRA for each function

Model	Equations	Coefficients					
		w_0	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
M1	$y_{LF} = w_0 + w_1 WT$	14.323	-0.321				
M2	$y_{LF} = w_0 + w_1 WT + w_2 EC$	14.953	-0.251	-0.036			
M3	$y_{LF} = w_0 + w_1 WT + w_2 EC + w_3 Q$	13.662	-0.286	-0.002	0.0001		
M4	$y_{LF} = w_0 + w_1 WT + w_2 EC + w_3 Q + w_4 pH$	3.128	-0.264	-0.004	0.0002	1.3836	
M1	$y_{PF} = w_0 WT^{w_1}$	15.318	-0.151				
M2	$y_{PF} = w_0 WT^{w_1} EC^{w_2}$	39.703	-0.087	-0.309			
M3	$y_{PF} = w_0 WT^{w_1} EC^{w_2} Q^{w_3}$	18.993	-0.105	-0.187	0.0447		
M4	$y_{PF} = w_0 WT^{w_1} EC^{w_2} Q^{w_3} pH^{w_4}$	0.712	-0.090	-0.175	0.0549	1.5578	
M1	$y_{EF} = w_0 + \exp(w_1 + w_2 WT)$	-74.732	4.490	-0.004			
M2	$y_{EF} = w_0 + \exp(w_1 + w_2 WT + w_3 EC)$	6.911	2.434	-0.050	-0.0157		
M3	$y_{EF} = w_0 + \exp(w_1 + w_2 WT + w_3 EC + w_4 Q)$	4.415	2.337	-0.039	-0.0032	0.00002	
M4	$y_{EF} = w_0 + \exp(w_1 + w_2 WT + w_3 EC + w_4 Q + w_5 pH)$	4.338	1.231	-0.036	-0.0034	0.00002	0.1464

Table 4 – Basic functions (BF) and equations obtained from the MARS for each model

M1	M2	M3	M4
BF01 = max(0, WT - 5.9)	BF01 = max(0, WT - 5.9)	BF01 = max(0, WT - 5.9)	BF01 = max(0, WT - 5.9)
BF02 = max(0, 5.9 - WT)	BF04 = max(0, 26.8259 - EC)	BF02 = max(0, 5.9 - WT)	BF02 = max(0, 5.9 - WT)
BF03 = max(0, WT - 12.6)	BF06 = max(0, 12.4 - WT)	BF03 = max(0, Q - 8050)	BF03 = max(0, Q - 7920)
BF09 = max(0, WT - 10.6)	BF08 = max(0, 4.8 - WT)	BF04 = max(0, 8050 - Q)	BF10 = max(0, Q - 4250)
BF12 = max(0, 2.6 - WT)	BF09 = max(0, EC - 28.7846)	BF05 = max(0, WT - 7.7)	BF13 = max(0, 5850 - Q)
BF14 = max(0, 7.2 - WT)	BF12 = max(0, 41.4534 - EC)	BF06 = max(0, 7.7 - WT)	BF17 = max(0, 1940 - Q)
BF18 = max(0, 4.2 - WT)	BF13 = max(0, WT - 2.6)	BF09 = max(0, Q - 4430)	BF19 = max(0, 43.0612 - EC)
	BF15 = max(0, WT - 14)	BF12 = max(0, 41.4534 - EC)	BF20 = max(0, PH - 7.3)
	BF16 = max(0, 14 - WT)	BF14 = max(0, 1940 - Q)	
		BF17 = max(0, WT - 6.9)	

DO_{M1} = 12.5162 - 0.336345 * BF1 - 0.262043 * BF2 + 0.253057 * BF3 - 0.140463 * BF9 - 0.233304 * BF12 + 0.234223 * BF14 + 0.466384 * BF18

DO_{M2} = 11.069 - 0.0562706 * BF1 + 0.135136 * BF4 + 0.0785472 * BF6+ 0.162912 * BF8 - 0.0176267 * BF9 + 0.0287067 * BF12 - 0.0530838 * BF13 - 0.0846375 * BF15 + 0.0640619 * BF16

DO_{M3} = 11.9619 - 0.0659563 * BF1 + 0.196553 * BF2 - 5.15052e-05 * BF3 - 9.69886e-05 * BF4 - 0.0687407 * BF5 + 0.169821 * BF6+ 0.000115356 * BF9 + 0.0281239 * BF12 - 0.000258807 * BF14 - 0.0673862 * BF17

DO_{M4} = 11.6164 - 0.197673 * BF1 + 0.354968 * BF2 - 0.000156279 * BF3+ 0.000227675 * BF10 - 8.44506e-05 * BF13 - 0.000195357 * BF17+ 0.0312569 * BF19 + 1.283 * BF20

After completing the model training process, the remaining data (test data) were used to determine how well the models performed. The results obtained from the equations constructed are compared with the measurement results, and the best-fit equations are determined. The comparisons were made according to the RMSE, MAE, and NS criteria. Tables 5 and 6 show the RMSE, MAE, and NS values of regression functions and the MARS models in training and testing phases, respectively.

Table 5 – RMSE, MAE, and NS values of regression functions for each model in the training phase

Training					
Criteria	Model	LF	PF	EF	MARS
RMSE	M1	0.378	0.877	0.379	**0.308**
	M2	0.317	0.356	0.269	**0.229**
	M3	0.221	0.330	0.184	**0.160**
	M4	0.210	0.302	0.177	**0.149**
MAE	M1	0.285	0.733	0.284	**0.230**
	M2	0.245	0.288	0.201	**0.165**
	M3	0.180	0.279	0.141	**0.124**
	M4	0.167	0.261	0.137	**0.119**
NS	M1	0.947	0.718	0.947	**0.965**
	M2	0.963	0.954	0.973	**0.981**
	M3	0.982	0.960	0.988	**0.991**
	M4	0.984	0.967	0.989	**0.992**

Table 6 – RMSE, MAE, and NS values of regression functions for each model in the testing phase

Testing					
Criteria	Model	LF	PF	EF	MARS
RMSE	M1	0.420	0.921	0.420	**0.384**
	M2	0.344	0.339	0.262	**0.249**
	M3	0.238	0.282	0.235	**0.169**
	M4	0.258	0.227	0.227	**0.158**
MAE	M1	0.312	0.806	0.310	**0.281**
	M2	0.295	0.255	0.199	**0.185**
	M3	0.197	0.223	0.167	**0.129**
	M4	0.175	0.211	0.160	**0.122**
NS	M1	0.929	0.657	0.929	**0.940**
	M2	0.952	0.954	0.972	**0.975**
	M3	0.977	0.968	0.978	**0.988**
	M4	0.978	0.973	0.979	**0.990**

The most acceptable results for each criterion were marked in bold. It was clear from Table 5 that the best results for the training set were obtained from the MARS for all of the models. Similarly, as shown in Table 6, the lowest error values for the test phase were obtained from the MARS models. The comparison results show that the smallest RMSE and MAE as well as the highest NS values obtained from M4 for training and testing sets. Generally, additional EC, Q, and pH variables were increased the estimation accuracy for each function and MARS method. Addition of EC and Q to the input parameters greatly improved the accuracy of the model while the addition of pH did not lead to a significant improvement. It is seen from the tables that the EF model having four inputs for the output DO has the best accuracy in the training and test period for CRA. The graphical results of the best performing function in the

training and testing phases for each model are shown in Fig. 1 in the form of time series plots which depict a good match between the measured and simulated DO by the CRA method. Fig. 2 also provides a different illustration of the performance for the best fitting model for the training and testing sets. The nearer the points gather around the diagonal, the better the learning results are. The relative errors of the points on the diagonal are zero [5].

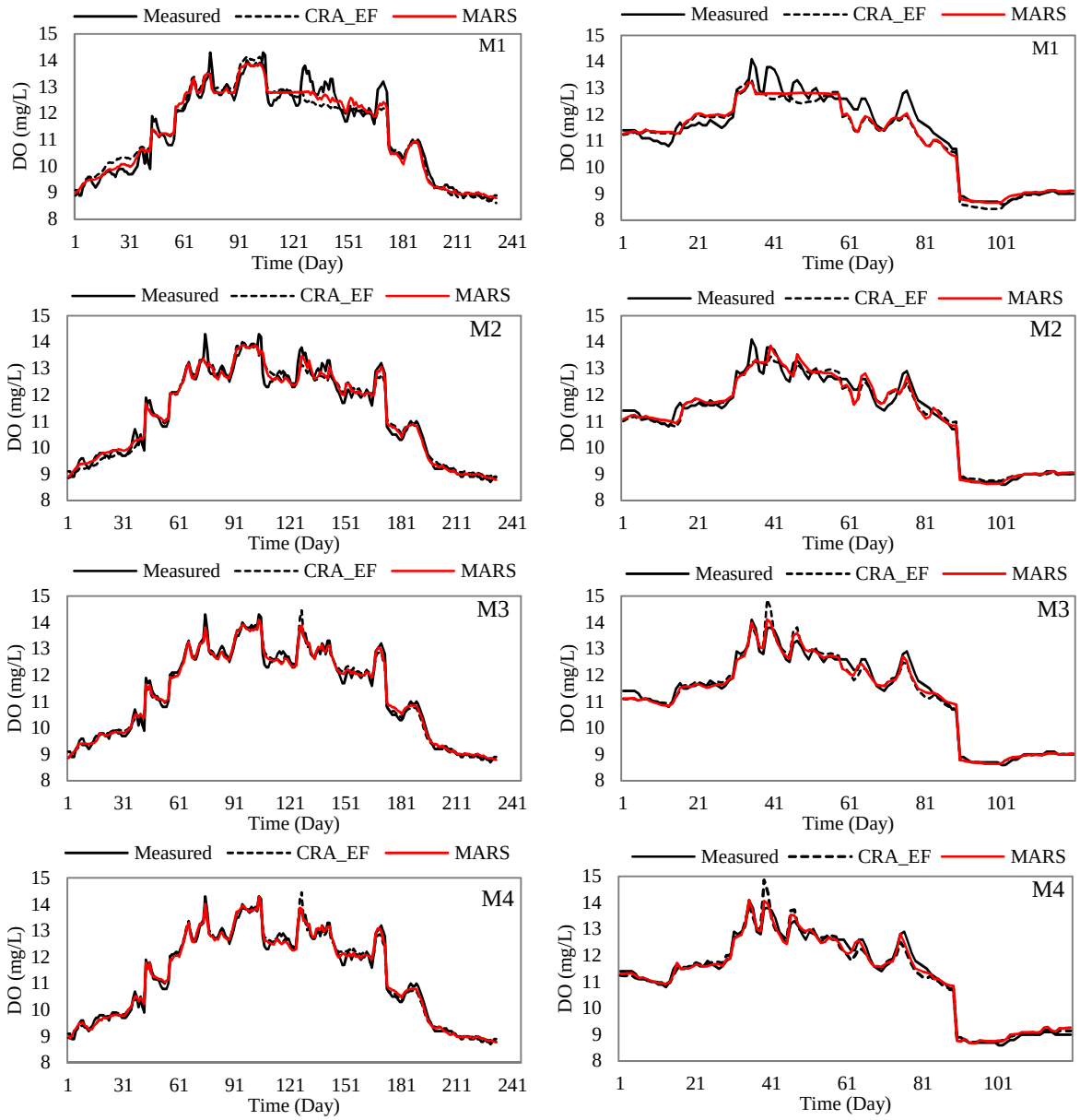
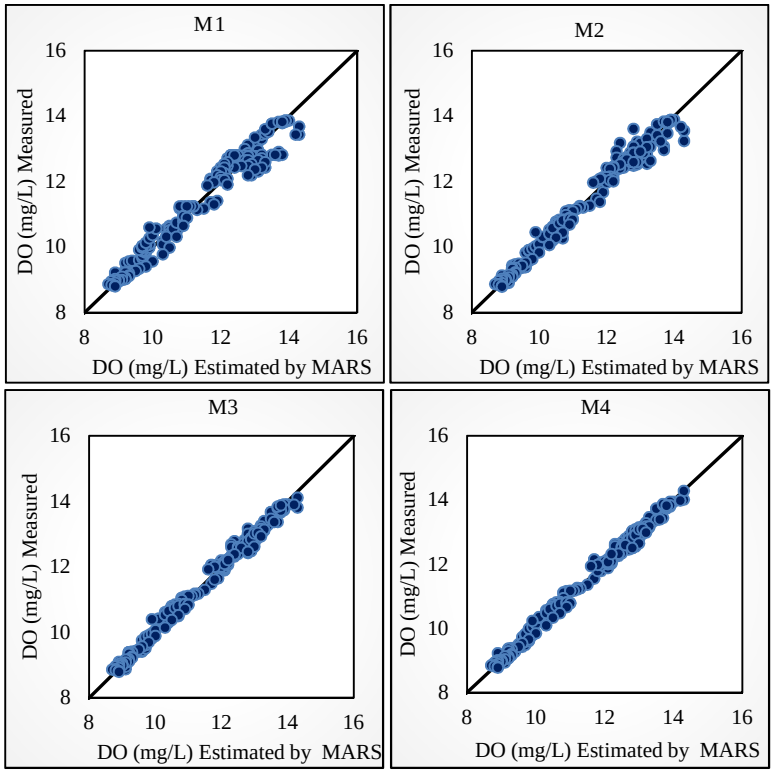
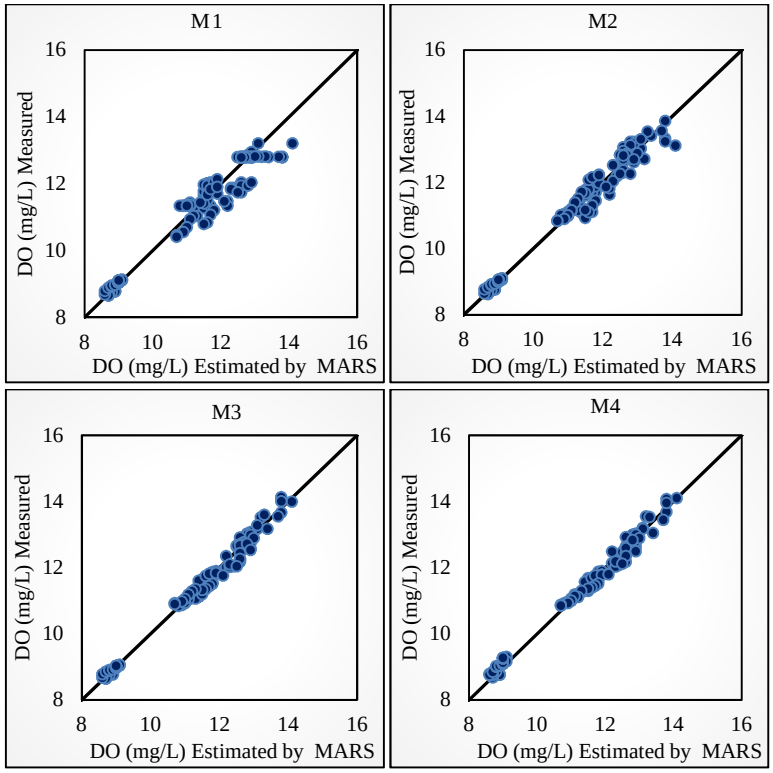


Fig 1 – Measured and estimated of the DO concentration for M1, M2, M3, and M4 in the (a) training and (b) testing phases



(a)



(b)

Fig 2 – The scatter plots of the measured DO concentrations with the estimated ones by the MARS for the (a) training and (b) testing data sets for M1, M2, M3, and M4 respectively.

When the scatter plots are examined, it is seen that the estimated and measured values are very close to each other in all four models. It can be seen from these figures, for the training and testing phases, the M4 is closer to the exact fit line than the M1, M2, and M3.

Conclusions

In this study, the ability of conventional regression analysis (CRA) with exponential (EF), linear (LF) and power (PF) regression functions and the MARS to estimate DO concentration based on the other water-quality indicators, namely, WT, EC, Q, and pH are investigated. The daily measured data of the water-quality parameters from one station operated by the USGS were used for developing the models. Three different input combinations have been developed and compared, including WT (M1), WT and EC (M2), WT, EC, and Q (M3), and WT, EC, Q, and pH (M4).

In the light of the results obtained so far, we can draw the following general conclusions. An important aspect of this study is that the best results for all of the model were obtained from the MARS method. For CRA, EF performs better than the other functions in all model. It was concluded that the river water-quality indicators such as WT, EC, Q, and pH, can be employed successfully in DO estimation studies with different combinations. Another significant point of this study, generally, additional WT, EC, Q, and pH variables to the models increase the estimation accuracy for all the functions and the MARS method. However, the addition of EC and Q to the input parameters greatly improved the accuracy of the model while the addition of pH did not lead to a significant improvement. In this case, only the WT, EC and Q can be used as estimators in this study. In addition, the M4 model, which uses all four input parameters, has lower error values than the other two models. Shortly, DO concentration have been modeled by using the CRA method with three functions and the MARS method in this study. The results of this study show that the MARS model may be an effective tool for estimation of DO concentrations in rivers which is utilized in water resources management and treatment systems.

Acknowledgements

The authors sincerely thank the personnel of USGS for the data monitoring, processing, and management.

References

1. Kalff, J., (2002). Limnology: Inland Water Ecosystems. Prentice-Hall, New Jersey, USA, 92 pp.
2. Rankovic, V., Radulovic, J., Radojevic, I., Ostojic, A., and Comic, L. (2010). Neural network modeling of dissolved oxygen in the Gruza reservoir, Serbia. Ecological Modelling, 221(8): 1239-1244.
3. Money, E., Carter, G. P., and Serre, M. L. (2009). Using river distances in the space/time estimation of dissolved oxygen along two impaired river networks in New Jersey. Water Research, 43: 1948-1958.
4. Ahmed, A. M. (2017). Prediction of dissolved oxygen in Surma River by biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand using the artificial neural networks (ANNs). Journal of King Saud University Engineering Sciences, 29(2): 151-158.

5. Bayram, A., Uzlu, E., Kankal, M., and Dede, T. (2015). Modeling stream dissolved oxygen concentration using teaching–learning based optimization algorithm. Environmental Earth Sciences, 73: 6565-6576.
6. Heddam, S. (2014). Modeling hourly dissolved oxygen concentration (DO) using two different adaptive neuro fuzzy inference systems (ANFIS): a comparative study. Environmental Monitoring and Assessment, 186(1): 597-619.
7. Heddam, S., Kisi, O. (2018). Modelling daily dissolved oxygen concentration using least square support vector machine, multivariate adaptive regression splines and M5 model tree. Journal of Hydrology, 559: 499-509.
8. Kanda, E. K., Kipkorir, E. C., and Kosgei, J. R. (2016). Dissolved oxygen modelling using artificial neural network: a case of River Nzoia, Lake Victoria basin, Kenya. Journal of Water Security, (2): 1-7.
9. Salami, E. S., and Ehteshami, M. (2015). Simulation, evaluation and prediction modeling of river water quality properties (case study: Ireland Rivers). International Journal of Environmental Science and Technology, 12(10): 3235-3242.
10. Carpenter, K. D. (2003). Water-quality and algal conditions in the Clackamas River Basin, Oregon, and their relations to land and water management. Water-Resources Investigations Report, 2: 4189.
11. Kisi, O., and Ay, M., (2013). Modeling dissolved oxygen (DO) concentration using different Neural Network techniques. International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering. 19-21 May 2011, Epoka University, Tirana, Albania, 1-7.
12. Friedman, J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines. The Annals of Statistics, 19(1): 1-67.
13. Parsaie, A., and Haghiabi, A. H. (2017). Improving modelling of discharge coefficient of triangular labyrinth lateral weirs using SVM, GMDH and MARS techniques. Irrigation and Drainage, 66(4): 636-654.
14. Zakeri, I. F., Adolph, A. L., Puyau, M. R., Vohra, F. A., and Butte, N. F. (2009). Multivariate adaptive regression splines models for the prediction of energy expenditure in children and adolescents. Journal of Applied Physiology, 108(1): 128-136.
15. Zhang, W., and Goh, A. T. (2016). Multivariate adaptive regression splines and neural network models for prediction of pile drivability. Geoscience Frontiers, 7(1): 45-52.
16. Zhou, Y., and Leung, H. (2007). Predicting object-oriented software maintainability using multivariate adaptive regression splines. Journal of Systems and Software, 80(8): 1349-1361.
17. Yilmaz, B., Aras, E., Nacar, S., and Kankal, M. (2018). Estimating suspended sediment load with multivariate adaptive regression spline, teaching-learning based optimization, and artificial bee colony models. Science of the Total Environment, 639: 826-840.
18. Legates, D. R., and McCabe, G. J. (1999). Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Research, 35: 233-241.
19. Uluer, O., Kirmaci, V., and Atas, S. (2009). Using the artificial neural network model for modeling the performance of the counter flow vortex tube. Expert Systems with Applications, 36: 12256-12263.

Hidrolojik Kuraklığın Trendinin Şen Yöntemi ile Değerlendirilmesi: Karasu-Torun Köprüsü Örneği

Veysel GÜMÜŞ[1], Oğuz ŞİMŞEK[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Harran University, Turkey
Emails: gumus@harran.edu.tr, oguzsimsek@harran.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Asi havzasında bulunan Karasu-Torun Köprüsü istasyonuna ait aylık akım verileri kullanılarak hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Hidrolojik kuraklığın analizinde Akım Kuraklık İndisi (AKİ) yöntemi, kuraklığın trendinin belirlenmesinde ise geleneksel Mann-Kendall ve Spearman'ın Rho testlerinin yanı sıra, son yıllarda sıklıkla kullanılan Şen yöntemi, trendin eğiminin belirlenmesinde ise Sen'in trend eğim metodu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, mart ayında azalan yönde anlamlı trend belirlenmiş ve en yüksek azalma eğimi yine mart ayında gözlenmiştir. Şen yöntemine göre ise, aylık AKİ değerlerine göre en yüksek ve en düşük durumlar dışında kalan ortalama değerlerde (-1.5<AKİ<2) belirgin bir azalma olduğu görülmüştür. Kullanılan üç farklı yöntemler ile elde edilen AKİ değerlerinin trendlerinin birbiri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Akım Kuraklık İndisi, Karasu-Torun Köprüsü, Mann-Kendall Yöntemi, Şen Yöntemi,

Abstract

In this study, hydrological drought analysis was performed by using monthly streamflow data of Karasu-Torun Bridge station located in Asi basin. In the analysis of the hydrological drought, the Streamflow Drought Index (SDI) method was used, while the trend of drought was determined by the traditional Mann-Kendall and Spearman's Rho tests, in order to determine the slope of the trend, Sen's trend slope method was used. As a result of the study, a significant trend was determined in decreasing direction in March and the highest decrease slope was observed in March. According to the Şen method, there was a significant decrease in the mean values (-1.5 <AKİ <2) except the highest and lowest cases according to the monthly AKI values. It was determined that the trends of the AKI values obtained by three different methods were compatible with each other.

Key words: Current Drought Index, Karasu-Torun Bridge, Mann-Kendall Method, Sen Method,

1. Giriş

Dünyada artan nüfusa paralel olarak gıda ve su ihtiyacı da artmakta, ancak değişen iklim koşulları nedeniyle yağış miktarı azalmakta ve buna bağlı olarak mevcut su kaynakları nüfusun ihtiyacını karşılamada yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, su kaynaklarının izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması, küresel iklim değişikliği ekseninde oldukça önem arz eden bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Değişen iklim koşulları beraberinde kuraklığı getirebilmektedir. Su miktarının uzun yıllar ortalamasının altında kalması olayı olarak ifade edilen kuraklığın, zamansal değişiminin bilinmesi suyun etkin ve verimli kullanılması, ayrıca gelecek planlaması açısından hayati önem taşımaktadır.

Küresel iklim değişikliği nedeniyle, birçok araştırmacı tarafından kuraklık analizi, akım verilerinin trend analizi ve bunların yanında, doğrudan kuraklık indis değerlerinin trend analizi çalışmaları yapılmaktadır. Akımların kuraklığının belirlenmesinde, Nalbantis ve Tsakiris (2009) tarafından önerilen Akım Kuraklık İndeksi (AKİ), Mckee ve ark. (1993) tarafından önerilen standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) gibi yöntemler kullanılmaktadır. AKİ yöntemi sadece akım değerlerini kullanarak hesaplanması nedeniyle hidrolojik kuraklığın belirlenmesinde dünyada sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. AKİ yöntemi Avrupa (Nalbantis ve Tsakiris, 2009; Rimkus ve ark., 2013), Asya (Liu ve ark., 2012; Tabari ve ark., 2013; Hong ve ark., 2015), Türkiye (Gumus ve Algin, 2017) ve ABD (Madadgar ve Moradkhani, 2013) 'de bölgesel kuraklıkların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Trend analizi çalışmalarında ise bu çalışmada kullanılan yöntemler, Türkiye'de ve Dünyada birçok araştırmacı tarafından hidro-meteorolojik verilerin eğiliminin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Kişi ve Ay (2014) çalışmalarında, Kızılırmak havzasında bulunan5 farklı istasyona ait debi ve su kalitesi parametrelerine ait trend analizi Şen (2012) yöntemi ile yapılmıştır. Ayrıca karşılaştırma amacıyla aynı verilerin trendi Mann-Kendall yöntemi ile de belirlenmiştir. Bu iki yöntemin farklarını araştırmışlar ve Şen (2012) yönteminin Mann-Kendall testine göre bazı avantajları olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, Şen (2012) yönteminin debi ve su kalitesi parametrelerinin trend analizinde başarılı bir şekilde uygulanabileceğini belirtmişlerdir. Güçlü ve ark. (2016) çalışmalarında, İstanbul-Florya'da bulunan 46 yıllık yağış kayıtlarını kullanarak, iklim değişikliğinin hidro-meteorolojik olaylar üzerindeki etkisi; Mann-Kendall, Spearman'nın Rho ve lineer regresyon yaklaşımlarına ilaveten, klasik yöntemler yerine önerilen Şen yöntemine göre grafiksel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, bu istasyonda azalan bir trend bulunduğu belirtilmiştir. Dabanlı ve Şen (2018) çalışmalarında, Şen (2012) yöntemi ve klasik trend yöntemleri arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Klasik eğilim analizi yöntemleri, Mann-Kendall eğilim testi ve klasik regresyon yöntemi, bir dizi kısıtlayıcı varsayımlara dayanmaktadır, ancak Şen (2012) yaklaşımının varsayımları olmadığı belirtilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda klasik yöntemlerinin önemli bir eğilim göstermediği bazı durumlarda, Şen (2012) yönteminin ayrıntılı ve nicel bilgi için bazı kategorik olarak önemli eğilimler sunduğu belirtilmiştir. Çeribaşı (2018) çalışmasında, İznik Gölü havzasının meteorolojik ve hidrolojik verilerini Şen (2012) yöntemini kullanarak, bölgenin iklim değişikliğinden ne ölçüde etkilendiği araştırmıştır. Çalışmaları sonucunda İznik Gölü'nün iklim değişikliklerinden etkilendiğini

tespit edip, bu değişikliklerin etkilerini azaltmak için bazı önerilerde bulunmuştur. Ejder ve ark. (2016) çalışmalarında, Çanakkale'deki Kocabaş Çayı'nda üç meteoroloji gözlem istasyonundan 1970-2012 yılları arasında alınan sıcaklık, buharlaşma ve yağış gibi iklimsel veriler ile 1968-2007 yılları arasındaki akım verilerini, küresel ısınmanın Kocabaş Çayı üzerindeki yıllık akım üzerine etkilerini araştırmışlardır. İklimsel parametrelerde ise trend analizi sonuçlarında yağışta azalma, sıcaklık ve buharlaşma değerlerinde ise artan yönde trend belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda; iklim değişikliğinin nehrin yıllık akımı üzerindeki etkilerinin değişken olabileceğini ve zirai faaliyetler, coğrafi konum gibi birçok etkinin nehir sistemleri üzerindeki iklim değişikliği etkilerini öngörmede göz önüne alınması gerektiğini belirtmişlerdir.

Asi havzası içerisinde bulunan Karasu-Torun Köprüsü istasyonunun aylık akım verileri kullanılarak akım kuraklık indisi (AKİ) değerlerinin Mann-Kendall ve Spearman'ın rho testlerinin yanı sıra, son yıllarda sıklıkla kullanılan Şen yöntemi ile analiz edilmiş. Aylık, 3, 6 ve 12 aylık dönemlerde elde edilen AKİ değerlerinin iç bağımlılık etkisi (seri korelasyon) belirlenerek ilgili dönemlerde belirlenen iç bağımlılık etki kaldırıldıktan sonra trend analizi ve trend eğimleri belirlenmiştir. Kullanılan üç farklı trend analizi yöntemi ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Çalışma Alanı

Türkiye'nin güneyinde yer alan ve sınır aşan sular kapsamına giren Asi Havzası 35.78-37.23 K 36.32-37.12 D koordinatları arasında bulunmakta ve drenaj alanı 7800 km^2'dir (Şekil 1). Asi havzası Toplam su potansiyelinin 2.64 milyar m^3 /yıl olarak belirlenen Asi havzası, su potansiyelinin 0.27 milyar m^3 /yıl kadarının Lübnan'dan; 1.09 milyar m^3 /yıl kadarının Suriye'den; 0.18 milyar m^3 /yıl Afrin'den, Suriye'den geçen sular dâhil olmak üzere 1.18 milyar m^3 /yıl kadarı Türkiye'den sağlamaktadır (Baran ve ark. 2006). Asi havzası içerisinde bulunan Karasu-Torun Köprüsü Akım Gözlem İstasyonunun AGİ No 1905, Enlem (K) 36.5033, Boylam (D) 36.4111, Drenaj Alanı 1768 km^2 , Yıllık Ortalama Akım 10.8 m^3/s'dir. Karasu- Torun Köprüsü istasyonuna ait 1955-2006 yılları arasındaki akım değerleri hidrolojik kuraklığın trendinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

Şekil 1 – Çalışma alanı

3. Yöntem

Hidrolojik büyüklükler (yağış, akış) zaman içinde rasgele değişen karakterde olduğundan sürekli bir azalma veya artma eğiliminin araştırılması özel yöntemler kullanmayı gerektirir. (Helsel ve Hirsch, 1992).

Klasik parametrik testlerdeki normalite, doğrusallık ve bağımsızlık gibi temel varsayımlar genellikle tipik yüzey suyu kalitesi verilerinde sağlanmamaktadır. Bu nedenle parametrik olmayan testlerin kullanılması parametrik testlere oranla daha uygundur. Parametrik olmayan trend testlerinin uygulanabilmesi için zaman serisinin iç bağımlılığının yani seri korelasyonun olmaması gerekmektedir. Von Storch ve Navarra (1995), trend varlığını belirlemek için kullanılacak testi uygulanmadan önce iç bağımlılığın zaman serisinden kaldırılması için "pre-whiten" yöntemini önermektedir.

İç bağımlılığı kaldırmak için x_1, x_2,……,x_n örnek datası için aşağıdaki adımlar uygulanır (Mohsin ve Gough, 2009; Gocic ve Trajkovic, 2013),

1. Salas (1980) önerilen, Lag-1 yani zaman serisinin bir gecikmeli korelasyon katsayısı (r_1) aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$r_1 = \frac{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n-1}\left(x_i - E(x_i)\right)\left(x_{i+1} - E(x_i)\right)}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - E(x_i)\right)^2} \quad (1)$$

$$E(x_i) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \quad (2)$$

Burada $E(x_i)$ zaman serisindeki n sayıdaki gözlenmiş verinin ortalamasıdır.

2. İç bağımlılığın belirlenmesi için r_1 değerinin aşağıdaki aralıkta olup olmadığına bakılır.

$$\frac{-1-1.645\sqrt{n-2}}{n-1} \le r_1 \le \frac{-1+1.645\sqrt{n-2}}{n-1} \quad (3)$$

r_1 değerinin denklem 3'teki aralıkta olması durumunda zaman serisinde iç bağımlılık olmadığı, aralığın dışında olması durumunda ise iç bağımlılık olduğu sonucuna varılır. İç bağımlılık olmaması durumunda zaman serisinde herhangi bir değişiklik yapılmadan test yapılır. Ancak iç bağımlılık olması durumunda ($x_2 - r_1x_1$, $x_3 - r_1x_2$,……,$x_n - r_1x_n - 1$) işlemi uygulanarak "pre-white" zaman serisi elde edilerek trend analizi işlemi yapılır ((Partal ve Kahya, 2006; Gocic ve Trajkovic, 2013).

3.1. Mann-Kendall Testi

Mann-Kendall testi (Mann, 1945; Kendall, 1948) hidro-meteorolojik verilerde trend varlığının belirlenmesinde literatürde en fazla kullanılan parametrik olmayan bir testtir. Bu test ile bir zaman serisinde trend olup olmadığı; "H_0: trend yok" (sıfır hipotezi) ile kontrol edilmektedir . Buna göre, test istatistiği S;

$$S = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} sign(x_j - x_i) \quad (4)$$

Şeklinde hesaplanır. Burada *n* veri sayısını, *x* ise *i* ve *j* ($j > i$) zamanlarındaki veriyi temsil etmektedir. İşaret fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$sign(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & x_j > x_i \\ 0 & x_j = x_i \\ -1 & x_j < x_i \end{cases} \quad (5)$$

Test istastistiği S'in varyansı denklem 6'daki gibi hesaplanır.

$$\mathrm{var}(S) = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^{m} t_i i(i-1)(2i+5) \right] / 18 \tag{6}$$

Burada, *m* veri setindeki tekrar gözlem sayıları, *ti* değeri *i* uzunluğundaki bir seride tekrarlanan gözlemleri göstermektedir. n>10 için Z test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\mathrm{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\mathrm{var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \tag{7}$$

İstatistiksel olarak anlamlı bir trendin belirlenmesi için Z değeri kullanılır. α anlamlılık düzeyinde $|Z| < Z_{\alpha/2}$ olması durumunda "H_0" hipotezi kabul edilir ve anlamlı bir trend olmadığı, $|Z| \geq Z_{\alpha/2}$ olması durumunda ise istatistiksel olarak anlamlı bir trend olduğu ve *S* değeri pozitif ise artan yönde, negatifse azalan yönde trend olduğu sonucuna varılmaktadır.

3.2. Spearman'ın Rho testi

İki gözlem serisi arasında korelâsyon olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan Spearman'ın Rho Testi, trend varlığının belirlenmesi amacıyla da kullanılır (Yue ve Wang, 2002). Sıra istatistiği olan R_{xi} verilerin küçükten büyüğe veya büyükten küçüğe doğru sıralanması ile belirlenir. Gözlem serisi $X=(x_1, x_2,\ldots, x_n)$ vektörü olmak üzere; iki yönlü test ile tanımlanan H_0 hipotezine göre x_i (i=1, 2, 3,…, n) değerleri eş olasılıklı dağılımlardır, H_1 hipotezine göre ise x_i (i=1, 2, 3,…, n) değerleri zamanla artar veya azalır. Spearman'ın Rho testi istatistiği r_s bağıntısı ile hesaplanır:

$$r_s = 1 - 6 \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} \left(R(x_i - i)^2 \right) \right]}{\left(n^3 - n \right)} \tag{8}$$

n>30 için r_s dağılımı normale yaklaşacağından normal dağılım tabloları kullanılır (Yue ve Wang, 2002). Bunun için r_s' nin test istatistiği olarak tanımlanan *Z* aşağıdaki gibi hesaplanır:

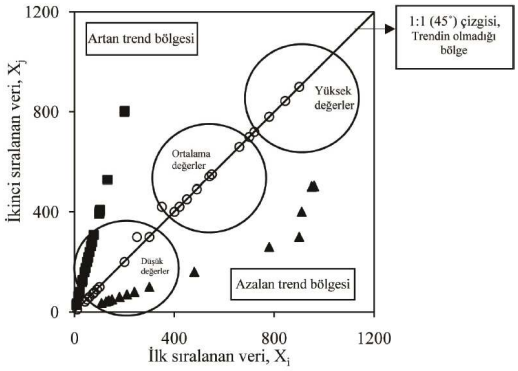
$$Z = r_s\sqrt{n-1} \tag{9}$$

$|Z|$değeri, α anlamlılık seviyesinde standart normal dağılım tablolarından tespit edilen $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyük ise, H_0 hipotezi reddedilerek, istatistiksel olarak anlamlı bir trend varlığının olduğu, r_s değeri pozitif ise artan yönde, negatifse azalan yönde eğilim olduğu sonucuna varılmaktadır

3.2.3. Şen'in (2012) Trend analizi yöntemi

Şen (2012) tarafından önerilen bu yöntemde, ölçümü alınan hidrolojik değişkenin veri serisi, zamansal olarak ölçüm başlangıç tarihinden son ölçüm tarihine doğru sıralanır. Daha sonra, oluşan seri ilk tarihten itibaren iki eşit parçaya bölünür ve ayrı ayrı kendi içinde küçükten büyüğe doğru sıralanır Daha sonra, Kartezyen koordinat sistemine göre, oluşan iki veri sütununun ilki (X_i) X-eksenine, diğeri (X_j) ise Y-eksenine yerleştirilir (**Şekil 2 –**).

Oluşan iki boyutlu grafik üzerinde veri noktaları 1:1 (45˚) çizgisinin üzerine toplanmış ise bir trend yoktur, çizginin altıda ise azalan, üstünde olması durumunda ise artan bir trend vardır şeklinde yorumlanmaktadır.



Şekil 2 – Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumu

3.2.4. Sen'in trend eğim metodu

Sen (1968) tarafından geliştirilen parametrik olmayan bir testtir. Eğer doğrusal bir trend mevcut ise gerçek eğim (birim zamandaki değişim) için veri hatalarından veya ekstrem değerlerden etkilenmeyen, eksik değerlerin bulunduğu kayıtlara uygulanabilen parametrik olmayan bir yöntem kullanılabilir (Yu ve ark., 1993). Burada veri sayısı *n* olmak üzere önce *j* ve *k* zamanlarındaki veriler x_j ve x_k ise ($j>k$);

$$N = n(n-1)/2 \tag{10}$$

adet olmak üzere Q_i parametresi;

$$Q_i = (x_j - x_k)/(j-k) \quad (i = 1,...,N) \tag{11}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntı yardımı ile tüm Q_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır. Sen yöntemine göre, hesaplanan N adet Q_i değerlerinin medyanı söz konusu doğrusal gidişin eğimini verir. N sayısının tek olması durumunda denklem 12, çift olması durumunda ise denklem 13 kullanılarak ilgili gözlemlerin birim zamandaki değişimi bulunur.

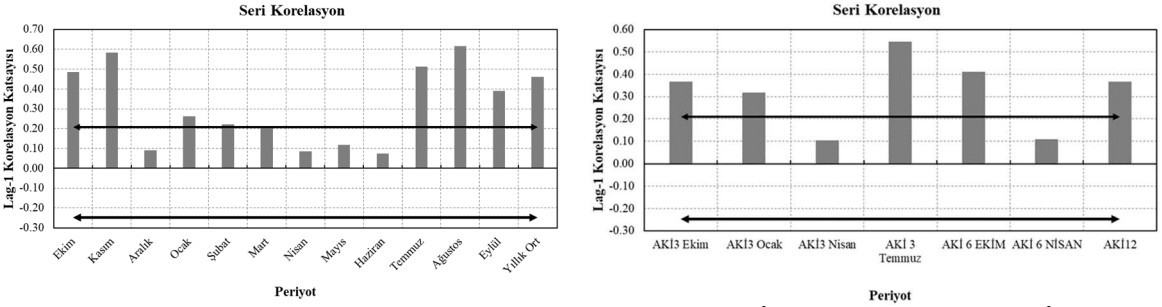
$$Q_{medyan} = Q_{(N+1)/2} \tag{12}$$

$$Q_{medyan} = \frac{\left[Q_{(N)/2} + Q_{(N+2)/2}\right]}{2} \tag{13}$$

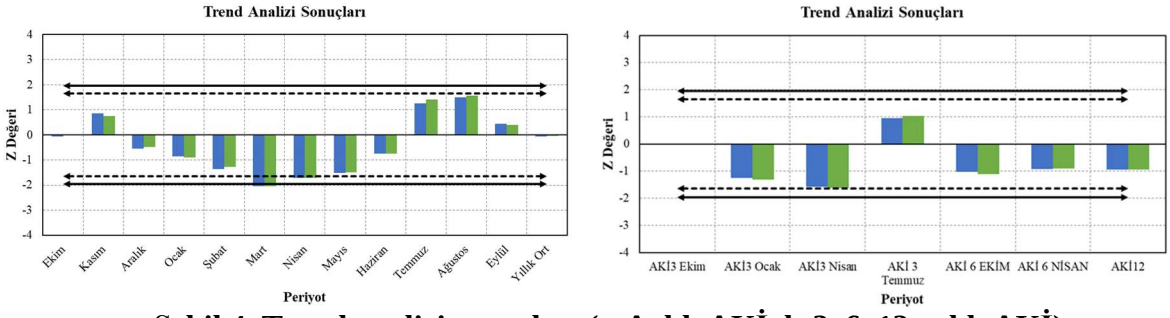
Hesaplanan Q_{medyan} değerinin pozitif olması artan yönde, negatif olması ise azalan yönde bir trendin olduğunu gösterir.

4. Bulgular ve Tartışmalar

Şekil 3'te Salas (1980)'e göre Gümüş (2017) tarafından hesaplanan akım kuraklık indis değerlerinin seri korelasyon değerleri verilmiştir. Buna göre, değerlendirilen aylık dönemlerde aralık, nisan, mayıs ve haziran ayları dışında kalan tüm aylarda, 3,6 ve 12 aylık dönemler için AKİ3 ve AKİ6 nisan dönemleri dışında kalan dönemlerde seri korelasyon belirlenmiştir. Seri korelasyon belirlenen ay ve dönemlerde iç bağımlılık etkisi yukarıda belirtilen yöntem uygulanarak giderilmiştir ve iç bağımlılık etkisi giderilmiş AKİ değerleri için parametrik olmayan testler ile trend analizi yapılmıştır. Aylık, 3, 6, 12 aylık dönemler için elde edilen AKİ değerlerinin %95 güven aralığında Menn Kendall trend analizi sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Aylık AKİ değerlerinin trend analizi sonuçları incelendiğinde anlamlı trendin sadece mart ayında azalan yönde olduğu söylenebilir. Ayrıca, aylık AKİ değerlerinin trend sonuçlarından her ne kadar anlamlı trend varlığından söz etmek mümkün olmasa da genel olarak (7 ay) AKİ değerlerin azalma trendinde olduğu anlaşılmaktadır. 3, 6 ve 12 aylık dönemlere ait AKİ değerlerinin trend analizi sonuçlarında herhangi bir anlamlı trend varlığına rastlanmadığı şekillerden açıkça görülmektedir.

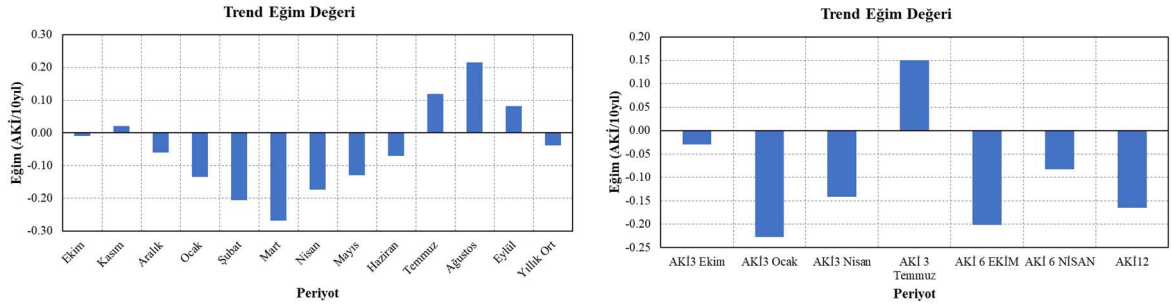


Şekil 3. Seri korelasyon değerleri (a-Aylık AKİ, b-3, 6, 12 aylık AKİ)



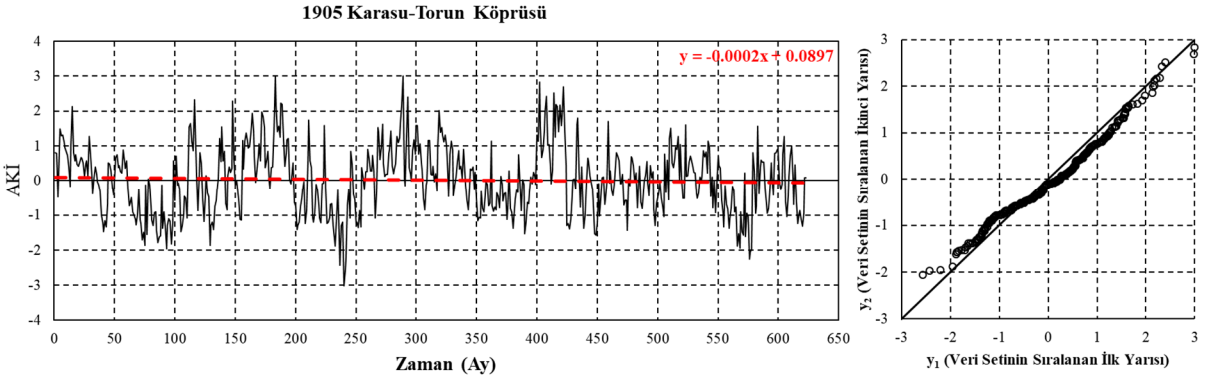
Şekil 4. Trend analizi sonuçları (a-Aylık AKİ, b-3, 6, 12 aylık AKİ)

Şekil 5'te aylık, 3, 6, 12 aylık AKİ değerlerinin trend eğim değerleri verilmiştir. Aylık AKİ değerlerinde azalan yönde maksimum trend eğimi (-0.27) mart ayında, artan yönde maksimum trend eğiminin (+0.22) ise ağustos ayında elde edildiği belirlenmiştir. 3 aylık AKİ değerlerinin trend eğimi değerlerinden AKİ3 temmuz dönemi dışında kalan 3 aylık dönemlerde azalan yönde eğimin olduğu, bunun yanı sıra azalan yönde en büyük trend eğimimin AKİ3 ocak ayında -0.23 olduğu belirlenmiştir. 6 ve 12 aylık AKİ değerlerinin trend eğimlerinin azalan yönde olduğu şekillerden açıkça görülmektedir.



Şekil 5 –Trend eğim değerleri (a) Aylık, (b) 3, 6, 12 aylık

AKİ değerlerinin sınıflandırılması Tablo 1'de verilmiştir. Bu tabloya göre AKİ değerinin 0'dan küçük olması kurak, büyük olması ise nemli olarak değerlendirilmektedir. Aylık AKİ değerlerinin Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumu Şekil 6'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde düşük AKİ değerlerinde artan, orta ve yüksek AKİ değerlerinde ise azalan trend varlığı görülmektedir. Buna göre, aşırı kurak (AKİ<-2) değerlerinde, çok ve orta kurak (-1<AKİ<-2) olarak değerlendirilen indis değerlerinde bir artma görülmektedir. Bu aşırı, çok ve orta kuraklık indis değerlerinin artması bu aralıktaki ay sayısının daha az olduğu anlamına gelmektedir. Bunun yanında, 0<AKİ<2 aralığındaki nemli AKİ değerlerinde azalma olduğu da görülmektedir.

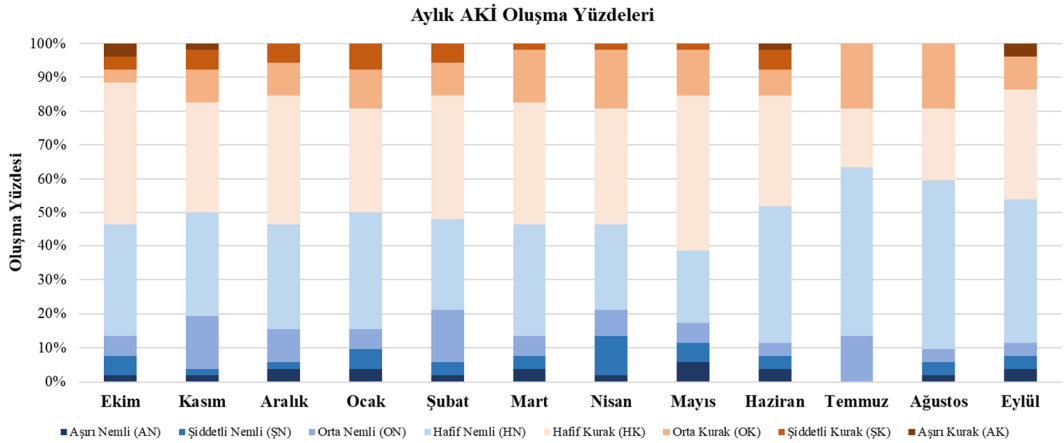


Şekil 6- AKİ değerlerinin zaman ile değişimi Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumu

Tablo 1- AKİ değerlerinin sınıflandırması (Hong ve ark., 2014)

AKİ Değeri	Sınıflandırma
AKİ≤-2	Aşırı Kurak (AK)
-2<AKİ≤-1.5	Şiddetli Kurak (ŞK)
-1.5<AKİ≤-1	Orta Kurak (OK)
-1<AKİ≤0	Hafif Kurak (HK)
0<AKİ≤1	Hafif Nemli (HN)
1<AKİ≤1.5	Orta Nemli (ON)
1.5<AKİ≤2	Şiddetli Nemli (ŞN)
AKİ>2	Aşırı Nemli (AN)

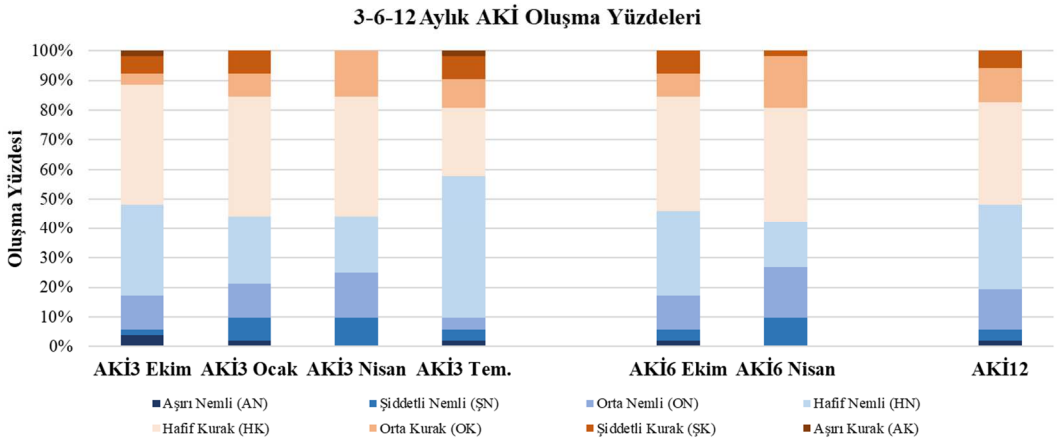
Aylık AKİ değerlerinin kuraklık sınıflandırılmasına göre oluşum yüzdeleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekilden, ekim, kasım, haziran ve eylül aylarında elde edilen aylık AKİ değerlerinde aşırı kurak dönemin ve temmuz ayı hariç diğer aylarda aşırı yağışlı dönemin yaşandığı açıkça görülmektedir. Ayrıca, aylık AKİ değerlerinin oluşum yüzdelerinden ele alınan istasyonda genel olarak hafif kurak ve hafif nemli dönemin yoğun olarak oluştuğu ifade edilebilir.



Şekil 7- Aylık AKİ değerlerinin kuraklık sınıflandırılmasına göre oluşum yüzdeleri

3, 6 ve 12 aylık dönemler için elde edilen AKİ değerlerinin kuraklık sınıflandırılmasına göre oluşum yüzdeleri Şekil 8'de verilmiştir. AKİ3 Ekim ve AKİ3 Temmuz değerlerinden bu

dönemlerde aşırı kuraklığın yaşandığı görülmektedir. Ayrıca, AKİ6 Nisan dönemine ait AKİ değerlerinin oluşum yüzdelerinden bu dönemde aşırı nemli dönemin yaşanmadığı söylenebilir. Şekil 8 genel olarak değerlendirildiğinde aşırı kurak ve aşırı nemli dönemlerin oluşum yüzdelerinin az veya hiç olmaması bu istasyonun akım değerlerinin yüksek değişim aralığına sahip olmadığını yani ortalama akım değerlerine yakın değerlere sahip olduğunu göstermektedir.

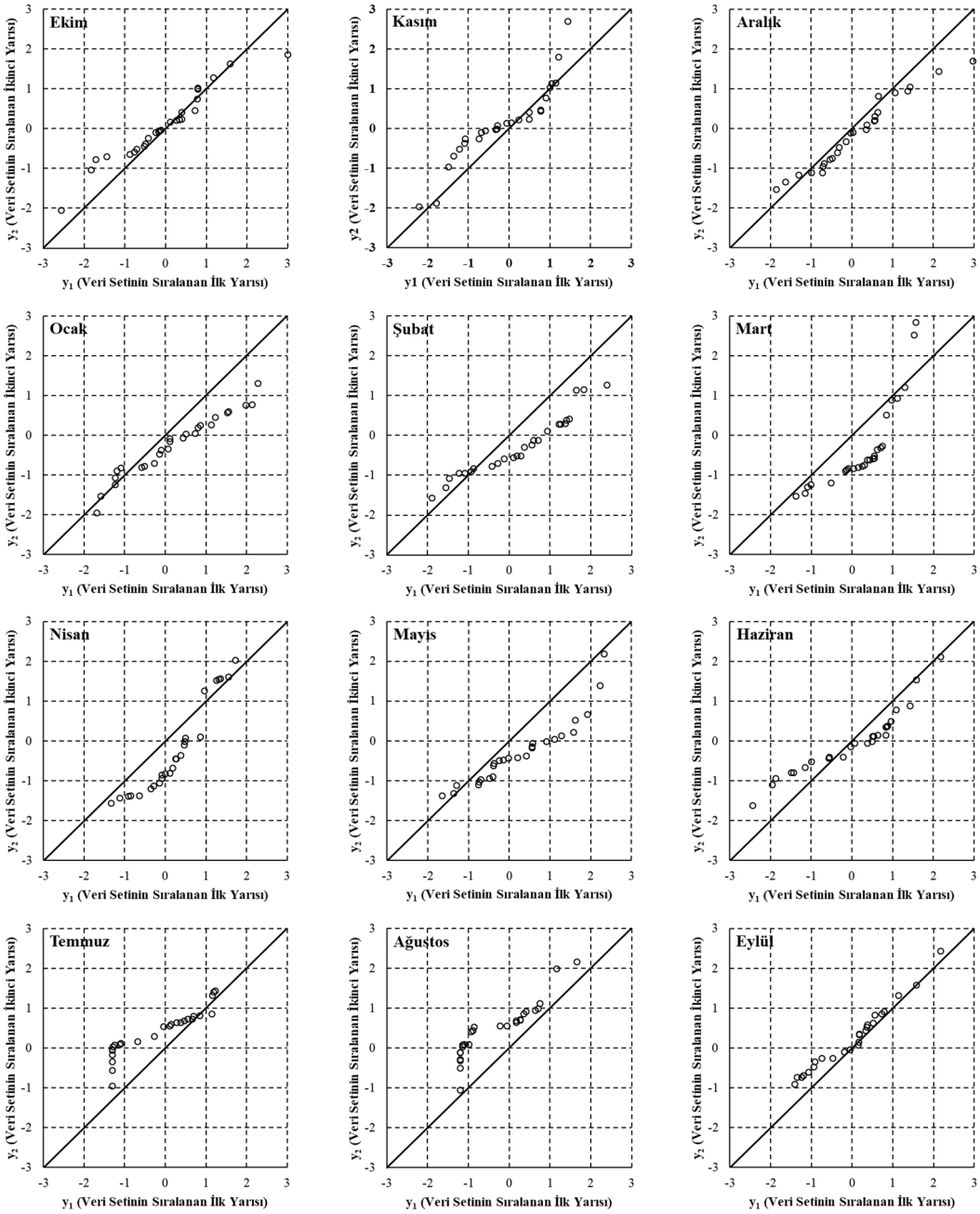


Şekil 8- 3, 6 ve 12 aylık AKİ değerlerinin kuraklık sınıflandırılmasına göre oluşum yüzdeleri

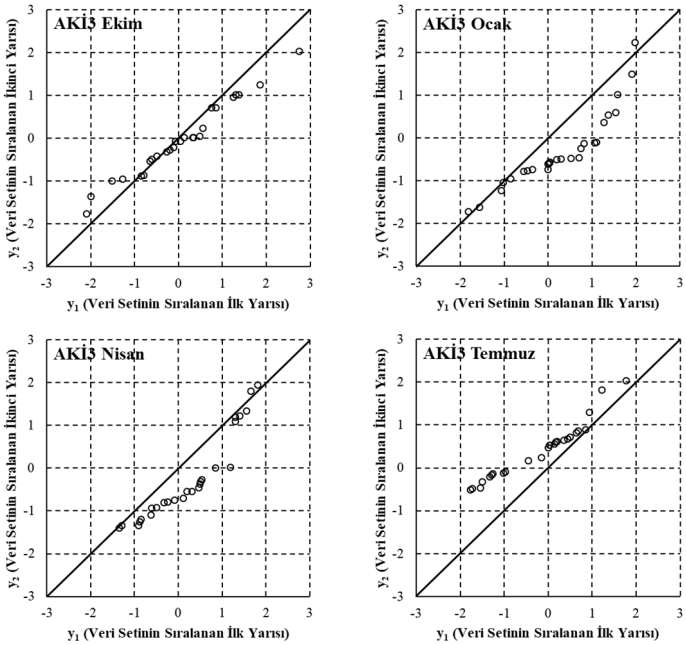
Aylık AKİ değerlerinin Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumu Şekil 9'da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, ekim, kasım, haziran ve eylül aylarında düşük ve ortalama AKİ değerlerinde (-3<AKİ<0) artan trend, nisan, mart ayında ise düşük AKİ değerlerinde azalan yönde trend olduğu anlaşılmaktadır. Temmuz ve ağustos aylarında elde edilen düşük, ortalama ve yüksek AKİ değerlerinde genel olarak artan bir trend varlığına rastlanmaktadır.

Şekil 10'da 3 aylık AKİ değerlerinin Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumları verilmiştir. AKİ3 nisan ve AKİ3 ocak değerlerinde genel olarak azalma trendinin varlığı görülmektedir. AKİ3 temmuz değerlerinde ise artan bir trend varlığından söz etmek mümkündür. AKİ3 ekim değerlerinde ise genel olarak anlamlı bir trend varlığından söz etmek değildir.

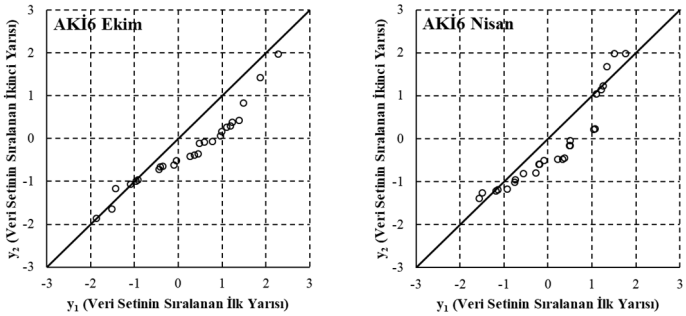
Şekil 11ve 12'de sırasıyla 6 ve 12 aylık AKİ değerlerinin Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumları sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde AKİ6 ekim, AKİ6 nisan ve AKİ12 değerlerinde genel olarak azalan trend varlığı görülmektedir. AKİ değerlerinin azalmasından kuraklık değerlerinin arttığı sonucuna ulaşıldığından, akım değerlerinin genel olarak azalması belirli zaman sonrasında ele alınan bu istasyonda akımın sona ereceği ifade edileceği diğer bir ifade ile su kaynaklarının giderek azaldığını belirtmektedir.



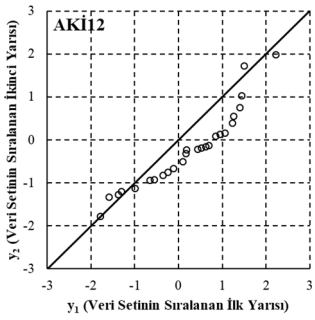
Şekil 9- Aylık AKİ değerlerinin Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumu



Şekil 10- 3 aylık AKİ değerlerinin Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumu



Şekil 11- 6 Aylık AKİ değerlerinin Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumu



Şekil 12- 12 Aylık AKİ değerlerinin Şen (2012)'ye göre trend meydana gelme durumu

5. Sonuçlar

Asi havzası içerisinde yer alan Karasu- Torun Köprüsü akım gözlem istasyonuna ait 1954-2004 yılı akım verileri kullanılarak elde edilen aylık, 3, 6 ve 12 aylık dönemlere ait akım kuraklık indisi değerlerinin trend analizi, parametrik olan Şen (2012) ve parametrik

olmayan Mann-Kendall ve Spearman'nın Rho yöntemler ile yapılmıştır. Parametrik olmayan yöntemler için akım kuraklık indisi değerlerinin seri korelasyon analizi yapılarak iç bağımlılıkları bulunan değerlerin iç bağımlılıkları giderilmiş ve bağımlılığı giderilmiş AKİ değerlerinin trend analizleri yapılmıştır. Aylık AKİ değerlerinin trend analizi sonuçlarından anlamlı trendin sadece mart ayında azalan yönde olduğu görülmüştür. AKİ6 ekim, AKİ6 nisan ve AKİ12 değerlerinde genel olarak azalan trend varlığı görülmektedir. Sonuç olarak, ele alınan istasyona ait akım verileri kullanılarak elde edilen akım kuraklık indisi değerlerinin trend analizinden, AKİ değerlerinin trendinin genel olarak azaldığı, yani hidrolojik kuraklığın artığı belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeler (HÜBAP) Birimi tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı HÜBAP birimine teşekkür ederiz.

References

1. Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2009). Assessment of hydrological drought revisited. Water Resources Management, 23(5), 881-897.
2. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993, January). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183). Boston, MA: American Meteorological Society.
3. Rimkus, E., Stonevičius, E., Korneev, V., Kažys, J., Valiuškevičius, G., & Pakhomau, A. (2013). Dynamics of meteorological and hydrological droughts in the Neman river basin. Environmental research letters, 8(4), 045014.
4. Liu, L., Hong, Y., Bednarczyk, C. N., Yong, B., Shafer, M. A., Riley, R., & Hocker, J. E. (2012). Hydro-climatological drought analyses and projections using meteorological and hydrological drought indices: a case study in Blue River Basin, Oklahoma. Water resources management, 26(10), 2761-2779.
5. Tabari, H., Nikbakht, J., & Talaee, P. H. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). Water resources management, 27(1), 137-151.
6. Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., & Xiong, L. (2015). Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze River basin. Stochastic environmental research and risk assessment, 29(4), 1235-1247.
7. Gumus, V., & Algin, H. M. (2017). Meteorological and hydrological drought analysis of the Seyhan−Ceyhan River Basins, Turkey. Meteorological Applications, 24(1), 62-73.
8. Madadgar, S., & Moradkhani, H. (2011). Drought analysis under climate change using copula. Journal of hydrologic engineering, 18(7), 746-759.
9. Kisi, O., & Ay, M. (2014). Comparison of Mann–Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. Journal of Hydrology, 513, 362-375.
10. Şen, Z. (2012). Innovative trend analysis methodology. Journal of Hydrologic Engineering, 17(9), 1042-1046.
11. Güçlü, Y. S., Şişman, E., & Yeleğen, M. Ö. (2018). Climate change and frequency–intensity–duration (FID) curves for Florya station, Istanbul. Journal of Flood Risk Management, 11, S403-S418.
12. Dabanlı, İ., & Şen, Z. (2018). Classical and innovative-Şen trend assessment under climate change perspective. International Journal of Global Warming, 15(1), 19-37.
13. Ceribasi, G. (2018). Analysis of meteorological and hydrological data of İznik lake basin by using innovative Şen method. Journal of Environmental Protection and Ecology, 19(1), 15-24.
14. Ejder, T., Kale, S., Acar, S., Hisar, O., & Mutlu, F. (2016). Effects of climate change on annual streamflow of Kocabaş Stream (Çanakkale, Turkey). Journal of Scientific Research and Reports, 11(4), 1-11.

15. Baran, T., Öziş, Ü. & Özdemir, Y.(2006). Sınır Aşan Asi Havzası Su Potansiyeli Ve Yararlanılması. In TMMOB Su Politikaları Kongresi. 2006.
16. Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (1992). Statistical methods in water resources (Vol. 49). Elsevier.
17. Von Storch, H. (1995). Spatial patterns: EOFs and CCA. Analysis of Climate Variability, H. von Storch and A. Navarra, Eds.
18. Mohsin, T., & Gough, W. A. (2010). Trend analysis of long-term temperature time series in the Greater Toronto Area (GTA). Theoretical and Applied Climatology, 101(3-4), 311-327.
19. Gocic, M., & Trajkovic, S. (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. Global and Planetary Change, 100, 172-182.
20. Salas, J. D. (1980). Applied modeling of hydrologic time series. Water Resources Publication.
21. Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological processes, 20(9), 2011-2026.
22. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 245-259.
23. Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods.
24. Yue, S., & Wang, C. Y. (2002). Applicability of pre-whitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. Water resources research, 38(6), 4-1.
25. Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American statistical association, 63(324), 1379-1389.
26. Gümüş, V. (2017). Akım kuraklık indeksi ile asi havzasının hidrolojik kuraklık analizi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(1), 65-73.
27. Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., & Xiong, L. (2015). Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze River basin. Stochastic environmental research and risk assessment, 29(4), 1235-1247.

Dalga Enerjisinden Elektrik Üretimi İçin Küçük Ölçekli bir Doğrusal Jeneratör Benzetimi
(Sunu)

Serdal ARSLAN[1]

[1]Birecik Meslek Yüksekokulu, Harran Universitesi, 63400,Birecik, Turkey

*Sorumlu yazar: e-mail: serdalarslan@harran.edu.tr

ÖZET

Günümüzde artan enerji ihtiyacı mevcut fosil yakıtlı enerji kaynakları ile karşılanamamaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji teknolojileri uygulamaları artmaktadır. Dalga enerjisi potansiyeli, uygulanabilirliği, bakımından ilgi çekmekte ve yeni araştırmalar hızla artmaktadır. Bu çalışma, dalga enerjisi uygulamaları için ön araştırma niteliğinde olması bakımından yerel alan yazına katkı sağlamasının yanı sıra Türkiye'deki dalga enerjisi verileri dikkate alınarak küçük güçlü bir doğrusal jeneratör tasarımı içermektedir. Kıyı uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmış olan jeneratörün hareketli kısmı, dışa monteli daimi mıknatıs ile dışarıdan hareket eden tüp şeklindedir. Jeneratörün boyutlandırılması için genel boyutlandırma eşitlikleri kullanılmıştır. Elde edilen boyutlandırma verileri Ansys-Maxwell yazılımında çizilerek jeneratörün nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen büyüklükleri değerlendirebilmek amacıyla dalga hızı ve periyodu (dalga hızı 0,5 m/s ve periyodu 4s) dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Böylece jeneratörün çıkış gücü ve verimi incelenmiştir. Elde edilen veriler kıyı uygulamaları için tatmin edicidir. İmalat için genel bilgi verilmiştir. Stator için silisli saçlar kesilmiştir ve doğrusal hareketli için mıknatıslar temin edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda jeneratörün prototip imalatı bitirilerek uygulama çalışması gerçekleştirilecektir.

Anahtar kelimeler: dalga enerjisi, doğrusal jeneratör, tüpsel jeneratör, kıyı uygulamaları, Ansys Maxwell

Simulation of a Small-Scale Linear Generator for Generating Electricity from Wave Energy

ABSTRACT

Today, increasing energy needs cannot be met with the existing fossil fuel energy sources. Therefore, renewable energy technologies are increasing. Wave energy potential, applicability, and interest in new research is increasing rapidly. This study, in addition to contributing to the local area literature in terms of being preliminary research for wave energy applications, includes a small powerful linear generator design taking into account the wave energy data in Turkey. Mover part of the generator which designed to be used in coastal applications, is in shape of tubular, externally moving with surface mounted permanent magnet. The resulting dimensioning data were drawn in Ansys-Maxwell software and numerical analysis of the generator was performed. In order to evaluate the obtained magnitudes, analyzes were made by taking into account the wave velocity and period (wave

velocity 0.5 m / s and period 4s). Thus, the output power and efficiency of the generator are examined. The data obtained are satisfactory for coastal applications. General information was given for manufacturing. Silicone lamination sheets for generator stator were cut and magnets were provided for the linear mover. In the following studies, prototype manufacturing of the generator will be completed and application work will be carried out.

Keyword(s): wave energy, linear generator, tubular generator, coastal applications, Ansys Maxwell

1. Giriş

Günümüzde nüfus artışı ve endüstriyel gelişmeler enerjiye olan ihtiyacımızı arttırmaktadır. Ayrıca fosil kaynaklı yakıtlar hızla azalmaktadır. Bu nedenle yeni enerji kaynaklarının aranması ve mevcut kaynakların kullanım verimliliğinin arttırılması elzemdir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi önemlidir. Bilindiği gibi dünyanın büyük bir bölümünün deniz ve okyanuslarla kaplı olmasından dolayı Âdemoğlu; 200 yılı aşkın süredir dalga enerjisinin kullanımı üzerine çalışmaktadır. Dünyanın ilk dalga enerjisi üzerine patent 1799 yılında Girard tarafından alınmıştır [1]. Dalga enerjisinin çeşitli, kesintisiz, güvenilir, temiz ve ucuz olarak temin edilebilmesi üzerine yapılan çalışmalar; kıyı şeridi olan ülkeler (İngiltere, Portekiz, Norveç, Danimarka vb.), dalga enerjisi dönüştürme teknolojileri üzerine çalışmaktadır [19]. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üreten tesislerin toplam kurulu gücü 2007 yılında 13,6 GW iken 2017 yılında 38,9 GW olduğu görülmektedir [18]. Güneş, biokütle, jeotermal, hidrolik ve rüzgar kaynaklı tesisler yer almasına karşın maalesef dalga enerjisi yer almamaktadır. Dalga enerjisinden enerji üretim fikri yaklaşık 100 yılı aşmasına karşın halen dünyada sayılı uygulamaların yer alması teknolojik olgunluğa ulaştığı ve kurulum maliyetlerinin azaldığı düşünülebilir. Ülkemizde 1911 yılında Şehbal dergisinde yayınlanan çalışma dalga enerjisinden elektrik üreten iki düzeneği açıklamaktadır [2]. Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrili olmasının yanı sıra dalga yüksekliği 0,5 m - 3 m aralığında değişmesi santrali kurulmasına imkan tanımaktadır [2-5]. Dalga enerjisi üretimi ilk olarak TEMSAN ve BOREN işbirliği ile Sakarya'nın Karasu ilçesinde kıyıdan 100 metre açıkta 5 kWh'lik enerji kapasiteli bir santral kurulmuştur [3-4]. Cokan [5]; bir dalga enerjisi santralini hayata geçirmeyi çalışmıştır. Küçük [6]; kayış-kasnak sistemi ana mekanik güç ve hareket aktarma elemanı olarak kullanarak lineer hareketin döner harekete dönüştüren bir sitem tasarımı ve uygulamasını gerçekleştirmiştir. Arslan [4]; ülkemizdeki deniz dalga potansiyeline, mevcut dalga enerjisi sistemlerini incelemiştir. Ayrıca Arşimet dalga salınım sistemleri için kullanılabilecek jeneratör topolojileri hakkında geniş bilgi vermiştir. NATO

TU WAVE projesi sonucunda oluşturulan Türk Kıyı Rüzgârları ve Derin Dalga Atlasında belirtilen yüksekliği (H) ve dalga periyodu (T) değerleri ülkemizin dalga potansiyelini göstermektedir [7]. 3 m ve 8 s değerlikli dalga için şamandıra maksimum hızı 1,2 m/s olarak alınır [17]. Rüzgâr; deniz veya okyanus dalgalarını meydana getiren temel etkendir. Rüzgâra bağlı parametrelerin değişmesi dalga büyüklüklerini etkilemektedir. Örneğin rüzgâr hızı arttıkça dalga yüksekliği artarken frekansı azalmaktadır [17]. Dalga genliği ve periyodu arttıkça metre başına dalga gücü artmaktadır[19]. Ayrıca yüksek güç yoğunluğundan dolayı düşük maliyetli diğer yenilebilir enerji kaynaklarından biridir [16]. Türkiye kıyılarının %20'sinden sağlanabilecek dalga enerjisi ile ülkemizin enerji ihtiyacı %13'ünü karşılayabileceği tahmin edilmektedir [8-9]. Ayrıca dalga enerjisi potansiyeli incelendiğinde; Doğu Karadeniz, Güney - Güney batı Ege ve Batı Akdeniz kıyılarında dalga enerjisi üzerine çalışma başlatmak için uygun yerlerdir [4]. Ancak dalga enerjisi uygulamalarında karşılaşılan bazı zorluklar vardır. Bunlar;

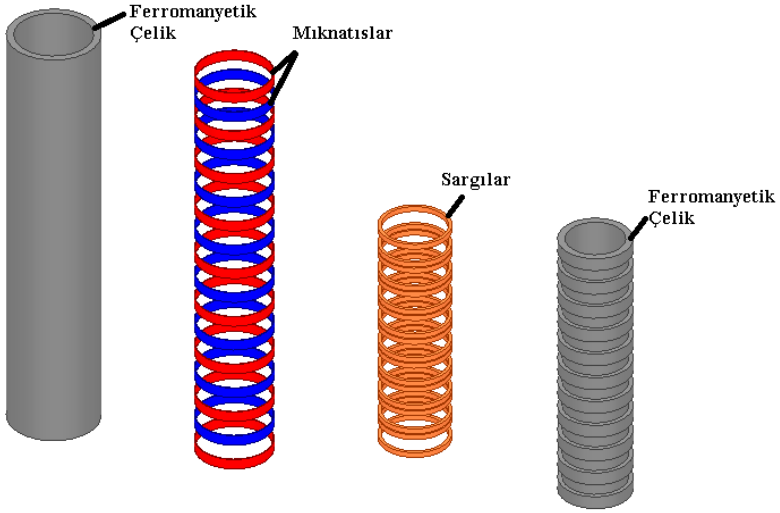
- Dalga genliği ve frekansı sürekli değiştiğinden dönüştürücünün kontrol edilme gerekliliği
- Kasırga veya fırtına gibi durumlarda dalga dönüştürücüsü büyük yüklere maruz kalabilir [19]
- Düşük dalga frekanslarında (≤ 0.1Hz) elektrik enerjisi üretebilmek mümkün olmayabilir [19]

Kıyı, kıyıya yakın, kıyıdan uzak olarak dalga enerjisi sistemleri değerlendirilmekte ve bu sistemler şebekeden bağımsız (offgrid) veya şebekeye bağlı (ongrid) olarak tasarlanmaktadır [1]. Bilindiği gibi ülkemizdeki bölgelere göre dalga verileri farklılık göstermekte ve bölgelerin coğrafi koşulları (turizm, deniz trafiği, vb.) mevsimsel olarak değişmektedir. Kıyı uygulamaları için büyük güçlü doğrusal jeneratörler yaygın olarak tercih edilmemesine karşın bu çalışmada kıyı şeridinin gece aydınlatılması amacıyla bu çalışma önerilmiştir.

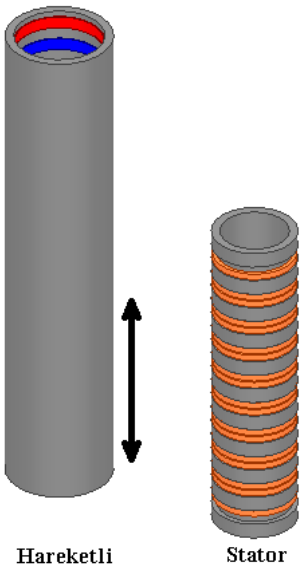
2. Doğrusal Jeneratör Modeli

Temelde dalga enerjisinden elektrik üreten jeneratörler ikiye ayrılmaktadır. Bunlar, dairesel hareketli jeneratörler ve doğrusal hareketli jeneratörlerdir. Dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretmeye yönelik kullanılan dairesel hareketli jeneratörler ekstra dişli ve karmaşık yapı gerektirmesine karşın doğrusal hareketli jeneratör dalganın hareketi ile doğrudan elektrik enerjisi üretebilmektedir. Bu bakımdan dairesel hareketlilere nazaran daha çekici hale

gelmiştir [10]. Dalga enerjisi için kullanılacak doğrusal jeneratör sınıflandırmaları kaynak 4'te açıklanmıştır. Verimlilik ve güç yoğunlukları bakımından kalıcı mıknatıslı jeneratörler yaygın olarak tercih edilmektedir. Bir fazlı ve çok fazlı olarak tasarlanmasının [14] yanı sıra geleneksel döner makinaların yapısal özellikleri doğrusal makinelere uyarlanabilmektedir. Literatür çalışmalarında; 16 KW dört yanlı dalga enerjisi jeneratörü tasarımı gerçekleştirerek tutma kuvveti azaltmaya yönelik dikdörtgen ve yamuk şekillerindeki mıknatıs tasarımları gerçekleştirmişlerdir [11]. Karadeniz için 1 m uzunluk ve 1 m/s kadar birkaç KWs enerji üretilebilecek şekilde tüp tipi yapıda eksenel akılı gömülü mıknatıslı doğrusal jeneratör analizi [12] 2,2 m/s hız ve 7 m uzunluk için büyük güçlü tüp tipi çift yanlı doğrusal jeneratör tasarımı gerçekleştirilmiştir [13]. Rhinefrank ve ark. [1] Oluksuz tip iki fazlı 50 W gücünde tüp tipi doğrusal jeneratör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında dalga enerjisi benzetimi uygulaması için krank biyel mekanizması kullanılarak uygulama yapılmasının yanı sıra dalga test çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Yassı tip doğrusal makineler; tasarım kolaylığı açısından dairesel hareketli makinelerden kolayca dönüştürülebilmektedir. 100 KW gücünde yassı tip sekizgen yapılı doğrusal hareketli jeneratör çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada tek yanlı yapı yerine tüp tipi konfigürasyona benzetilen dörtgen, altıgen veya sekizgen tipli yanlı makinelerin oluşturulmasıyla stator-hareketli arasındaki ve kenarlardaki elektromanyetik kuvveti önlenebileceği ifade edilmiştir [15]. Bir fazlı demir çekirdekli ve hava nüveli tüp tipi gömülü mıknatıslı doğrusal jeneratörler karşılaştırılmıştır. Demir nüveli makinde sargıda indüklenen gerilim yaklaşık 3 katı büyüklüktedir [16]. Şekil 1a'da dıştan hareketli tüp tipi doğrusal jeneratörün açılmış hali verilmiştir. Burada hareketli kısım ferromanyetik çelik ve mıknatıslardan oluşmaktadır (Şekil 1b). Stator ise sargı ve ferromanyetik malzemeden oluşmaktadır (Şekil 1b).



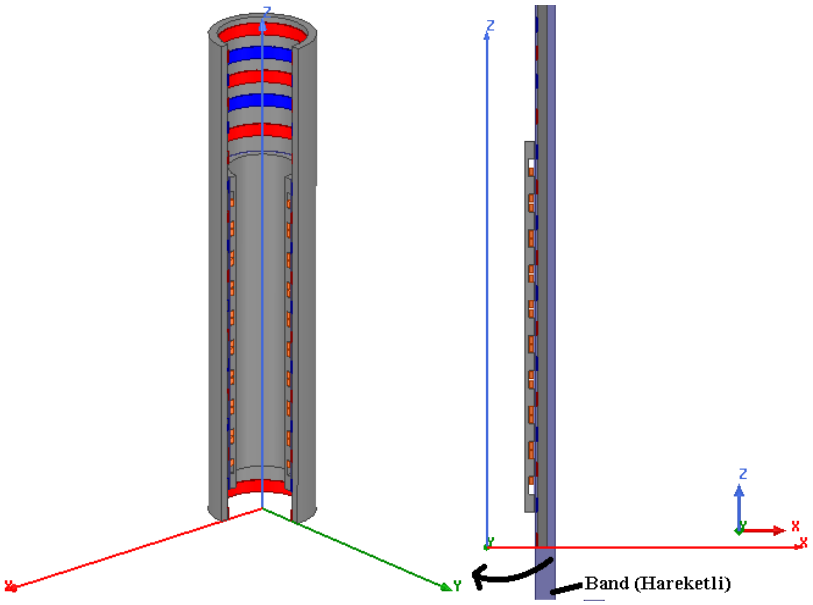
(a)



(b)

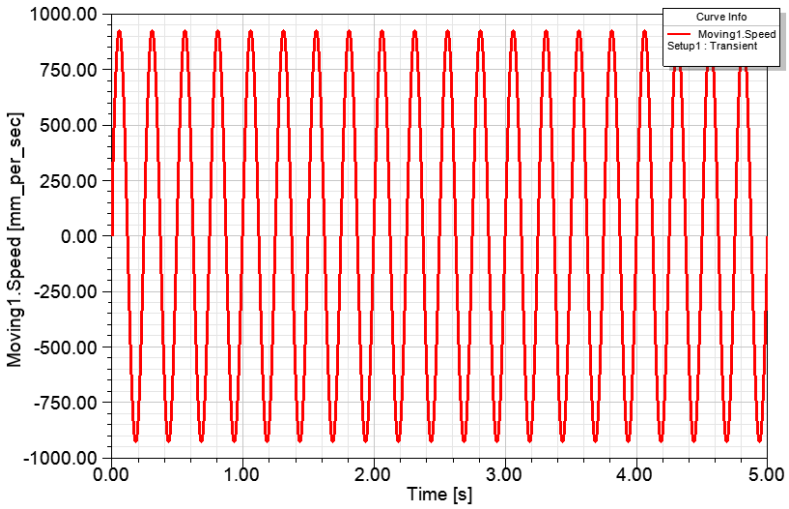
Şekil 1.Dıştan hareketli tüp tipi doğrusal jeneratör görünüşü; a)Parçaları açılmış biçimde, b) Hareketli ve durağan (stator) olarak iki parça biçimde

Şekil 2'de görüldüğü üzere jeneratör modelinin iki boyutlu ve üç boyutlu görünüşü verilmiştir.



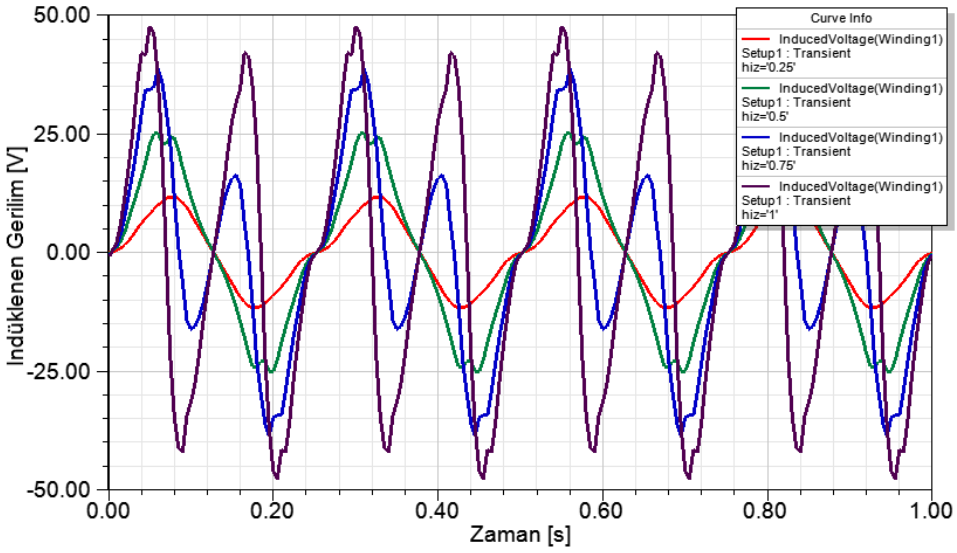
Şekil 2.Dıştan hareketli tüp tipi doğrusal jeneratörün üç boyutlu ve iki boyutlu *rz* düzlemindeki görünüşü

Dalga hızı sinüzoidal fonksiyon olarak ifade edilir. Zamana bağlı olarak hareketli hız değişimi Şekil 3 ile verilmiştir.



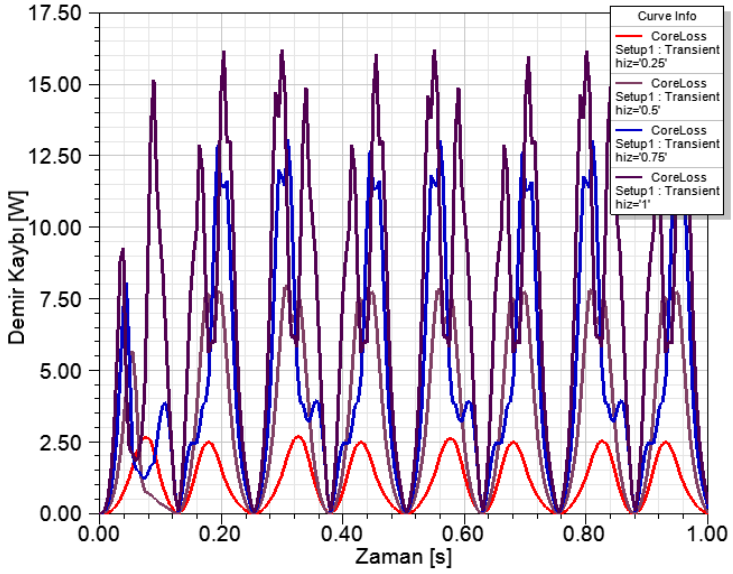
Şekil 3.Hareketli hız değişimi

Bilindiği gibi dalga hızı ve periyodu gün içinde değişmektedir. Bu nedenle tasarlanan jeneratörün hareketli hızı değişimine göre bir faz sargısında indüklenen gerilim değişimi Şekil 4 ile verilmiştir. Ayrıca hız değişimi ile jeneratörün gerilim sabiti elde edilebilir.



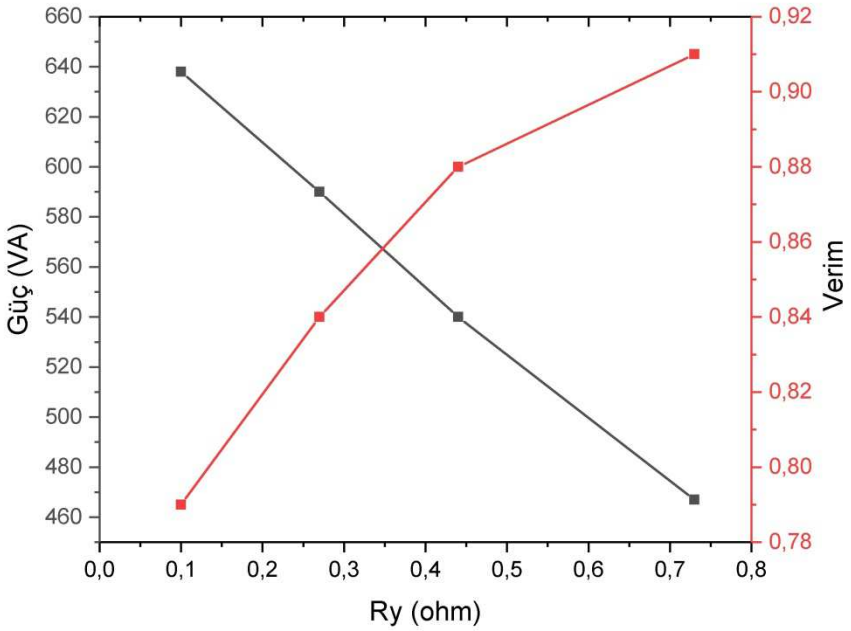
Şekil 4.Hareketli hız değişimine göre sargılarda indüklenen gerilim değişimi

Şekil 4'te grafikten elde edilen gerilim sabiti değeri 27,33 Vs/m olarak bulunmuştur. Hareketli hızının değişmesi bakır kaybı ve demir kaybını değiştirmektedir. Şekil 5'te hareketli hızına bağlı olarak demir kaybı verilmiştir. Burada statordaki kayıp verisi olarak verilmiştir. Hareketli çelik malzemesinde meydana gelen kayıplar hesaplatılmamıştır.



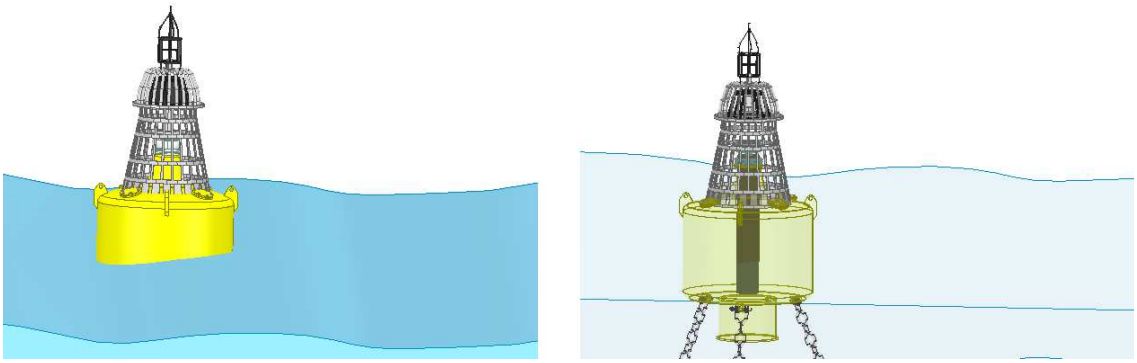
Şekil 5.Hareketli hız değişimine göre sargılarda indüklenen gerilim değişimi

Hareketli demir kaybı ihmal edilerek, elde edilen çıkış gücü ve verim eğrisi Şekil 6 ile verilmiştir.



Şekil 6. Çıkış gücü ve verim değişimi

(a)



(b)

Şekil 7. a) İmalat için kesilen saclar, b) Dalga enerjisi dönüştürücüsü

Jeneratörün stator kısmında kullanılacak M43 sac lazer kesim yöntemi ile elde edilmiştir. Hareketli kısımda ise 1010 çeliği kullanılacaktır. Hareketli kısımda bulunan mıknatıslar halka mıknatıstır. Ebat ve imalat güçlüğünden dolayı parça parça N35 2.2 mm kalınlığındaki mıknatıslar alınmıştır.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada ülkemizin dalga enerjisi verilerine uygun olabilecek tüp tipi doğrusal jeneratör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımın gerçekleştirilmesinde kullanılan analitik eşitlikler bu çalışmada değinilmeyip, elde edilen boyutlandırma verileri Ansys- Maxwell programında çizilerek, jeneratörün nümerik analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 9/10 yapıdaki tüp tipi dıştan hareketli doğrusal jeneratör dalga enerjisi dönüştürücüsünde kullanılabileceği görülmüştür. İlerleyen çalışmalarda sitemin uygulaması gerçekleştirilecektir.

Teşekkür

Yazar; 18060 nolu proje desteğinden dolayı Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü'ne teşekkür etmektedir.

Kaynaklar

1-Rhinefrank, K., Agamloh, E. B., Von Jouanne, A., Wallace, A. K., Prudell, J., Kimble, K., & Schacher, A. (2006). Novel Ocean Energy Permanent Magnet Linear Generator Buoy. Renewable Energy, 31(9), 1279-1298.
2- Bayındır, A., & Bayındır, C. Dalgalardan Enerji Üretme Teknolojisinin Yirminci Yüzyıl Başında Türkiye'deki Yansımaları Üzerine Bir Çeviri. Osmanlı Bilimi Araştırmaları, 16(2), 67-70.
3- Gelen A., Y.T., Dağıtılmış Enerji Sistemlerine (DES) Genel Bakış ve Türkiyedeki Potansiyel Durumu, EMO BİLİM 55-66
4-Arslan S., (2016) "Dalga Enerjisinden Elektrik Üreten Sistemlere Genel Bakış Ve Arşimet Dalga Salınımı Sistemlerinde Kullanılan Jeneratör Topolojilerinin İncelenmesi" International conference on natural science and engineering,, Kilis
5- Çokan M., (2011) Dalga Enerjisi (Dalga Enerjisi Santralları). Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 11. Enerji Kongresi.
6- Küçük O. A.(2014), "Dalga Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üreten Yeni Bir Sistem Tasarımı Ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
7- Sağlam, M., Uyar, T. S., & Göztepe, İ. (2005). Dalga Enerjisi Ve Türkiye'nin Dalga Enerjisi Teknik Potansiyeli. Elektrik Mühendisleri Odası.
8- Uygur, İ., Demirci, R., Saruhan, H., Özkan, A., & Belenli, İ. Batı Karadeniz Bölgesindeki Dalga Enerjisi Potansiyelinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1), 7-13.
9- Savrul, B. K., & Doğru, B. (2013). Tr 22 Düzey 2 Bölgesinin 2012 Yılı Teşvik Sistemi Çerçevesinde Değerlendirilmesi. Çankırı Karatekin Üniversitesi İibf Dergisi, 3(1), 1-20.
10- Huang, L., Yu, H., Hu, M., Zhao, J., & Cheng, Z. (2011). A Novel Flux-Switching Permanent-Magnet Linear Generator For Wave Energy Extraction Application. IEEE Transactions On Magnetics, 47(5), 1034-1037.
11- Kimoulakis, N. M., Kladas, A. G., & Tegopoulos, J. A. (2009). Cogging Force Minimization İn A Coupled Permanent Magnet Linear Generator For Sea Wave Energy Extraction Applications. IEEE Transactions On Magnetics, 45(3), 1246-1249.
12- Szabo, L., Oprea, C., Viorel, I. A., & Biró, K. Á. (2007, May). Novel Permanent Magnet Tubular Linear Generator For Wave Energy Converters. In 2007 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (Vol. 2, Pp. 983-987). IEEE.
13- Joseph, D. M., & Cronje, W. A. (2007, July). Design And Analysis Of A Double-Sided Tubular Linear Synchronous Generator With Particular Application To Wave-Energy Conversion. In 2007 IEEE Power Engineering Society Conference And Exposition İn Africa-Powerafrica (Pp. 1-8). IEEE.
14- Gargov, N. P., & Zobaa, A. F. (2012). Multi-Phase Air-Cored Tubular Permanent Magnet Linear Generator For Wave Energy Converters. IET Renewable Power Generation, 6(3), 171-176.

15-Ivanova, I., Ågren, O., Bernhoff, H., & Leijon, M. (2003, September). Simulation Of A 100 Kw Permanent Magnet Octagonal Linear Generator For Ocean Wave Conversion. In Fifth European Wave Energy Conference, Cork, Ireland (Pp. 17-19).
16- Szabo, L., & Oprea, C. (2007, May). Wave Energy Plants For The Black Sea Possible Energy Converter Structures. In 2007 International Conference On Clean Electrical Power (Pp. 306-311). IEEE.
17-Ummaneni, R. B., Brennvall, J. E., & Nilssen, R. (2008, October). Convert Low Frequency Energy From Wave Power Plant To High Frequency Energy İn Linear Electrical Generator With Gas Springs. In 2008 Joint International Conference On Power System Technology And IEEE Power India Conference (Pp. 1-5). IEEE.
18.http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.yegm.gov.tr%2FYenilenebilir.Aspx&date=2019-05-20
19- Özger, M. (2011). Dalga Enerjisi Tahmini Ve Stokastik Modelleme (Doctoral Dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Günlük Buharlaşma Miktarının Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Bölgesel Olarak Modellenmesi

Kübra Özdülkar[1], Fatih Üneş[1], Mustafa Demirci[1], Yunus Ziya Kaya[2]

[1,] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
[2]Department of Civil Engineering, Osmaniye Korkut Ata University, Turkey
Emails: kozdulkar.mfbe18@iste.edu.tr, faith.unes@iste.edu.tr, mustafa.demirci@iste.edu.tr

Abstract

Buharlaşma miktarı, hidrolojik ve meteorolojik çalışmalarda önemli bir parametredir. Buharlaşmanın doğru bir şekilde tahmin edilmesi, su yapılarının planlanmasında ve işletilmesinde çok önemlidir. Bu çalışmada günlük buharlaşma miktarının tahmini için Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü (USGS)'den elde edilen 2008-2012 yılları arasındaki buharlaşma verileri kullanılmıştır. Günlük buharlaşma tahmini Mamdani ve Sugeno bulanık mantık yöntemler kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmış ve ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma alanı olarak Lewisville Gölü yakınında (Texas, ABD) belirtilen bir istasyon seçilmiştir. Günlük ortalama buharlaşma tahmini için ortalama günlük hava sıcaklığı (T), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) parametreleri kullanılmıştır. Bulanık Mantık modelleri arasında karşılaştırma yapılmış ve sonucunda Sugeno yönteminin performansının daha iyi olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler : Evaporasyon, Bulanık Mantık, Sugeno, Mamdani, Modelleme

1.GİRİŞ:

Su kaybının buharlaşma yoluyla tahmin edilmesi, su kaynaklarının izlenmesi, araştırılması ve yönetimi için çok önemlidir. Su kaynaklarının kıt olduğu birçok alanda, bu kaybının tahmini, sulama uygulamalarının planlanması ve yönetiminde zorunlu hale gelmektedir. Buharlaşma ayrıca hidrolojik döngünün daha az anlaşılan bileşenlerinden biridir (Brutsaert, 1982; Jackson, 1985). Mühendisler ve araştırmacılar uzun yıllar boyunca, özel tavaya uygulanan bir katsayı ile çarpılarak, rezervuarlardaki buharlaşma kaybının bir tahmini olarak buharlaşma tavalarındaki kaybı kullandılar. En yaygın kullanılan tava, 4 ft çapında ve 10 inç derinliğinde olan ve bir kereste ızgarasına monte edilmiş olan ABD Hava Bürosu A Sınıfı tavadır. Tava buharlaştırması, bir evaporasyon endeksi olarak ve göl ve rezervuar buharlaşmasını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Jensen, 1974; Frevert ve diğerleri, 1983; Irmak ve diğerleri, 2002). Planlanan veya mevcut bir rezervuar ve sulama bulunan her noktaya buharlaştırma tavalarının yerleştirilmesi pratik değildir. Ayrıca, doğru enstrümanların oluşturulamadığı veya bakımının yapılamadığı erişilemez alanlara sahip olma olasılığı düşüktür. Tava bulunmayan yerlerde buharlaşma miktarını tahmin etmenin pratik bir yolu, hidrologlar, tarım uzmanları ve meteorologlar için büyük önem taşır. Bazı araştırmacılar buharlaşma değerlerini iklim değişkenlerinden tahmin etmeye çalışmışlardır (Stephens ve Stewart, 1963; Linarce, 1967; Burman, 1976; Reis ve Dias, 1998; Coulomb ve diğerleri, 2001; Gavin ve Agnew, 2004) ve bu yöntemlerin çoğu, kolayca bulunamayan veriler gerektirir. Bununla birlikte, buharlaşma süreci, birçok tahmin prosedürünün gösterdiği gibi, doğada oldukça doğrusal değildir. Birçok araştırmacı, hidrolojik modelleme çalışmalarında doğru buharlaşma tahminlerine ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır (Sudheer ve ark. 2002). Geçtiğimiz yıllarda, araştırmacılar buharlaşma gibi hidrolojik olayları öngörmede yapay zeka yöntemlerin yaygın olarak kullanmışlardır. (Aytek ve diğerleri, 2008; Fenga ve diğerleri, 2016; Partal 2016, Kaya ve ark. 2016, Tasar ve ark. 2018).

Bu çalışmada günlük ortalama buharlaşma tahmini için ortalama günlük hava sıcaklığı (T), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) kullanılmıştır. Bulanık Mantık denetleyicileri olan Mamdani ve Sugeno çıkarım yöntemlerinin performans değerlendirilmesi yapılmıştır.

2.MATERYAL

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, şekil 1 de verilen ABD'nin Teksas eyaletindeki Denton İlçesine bağlı Lewisville gölü civarında bir istasyona ait veriler kullanılmıştır. Bu bölgede sıcak ve ılıman bir iklim hakimdir. 33°07'22" enlemi ve 96°59'22" boylamı üzerinde yer alan bu istasyona ait 2008-2012 yıllarının 4 yıllık meteorolojik verileri kullanılmıştır.

Şekil1: Çalışılan istasyonun konumu(www.usgs.gov)

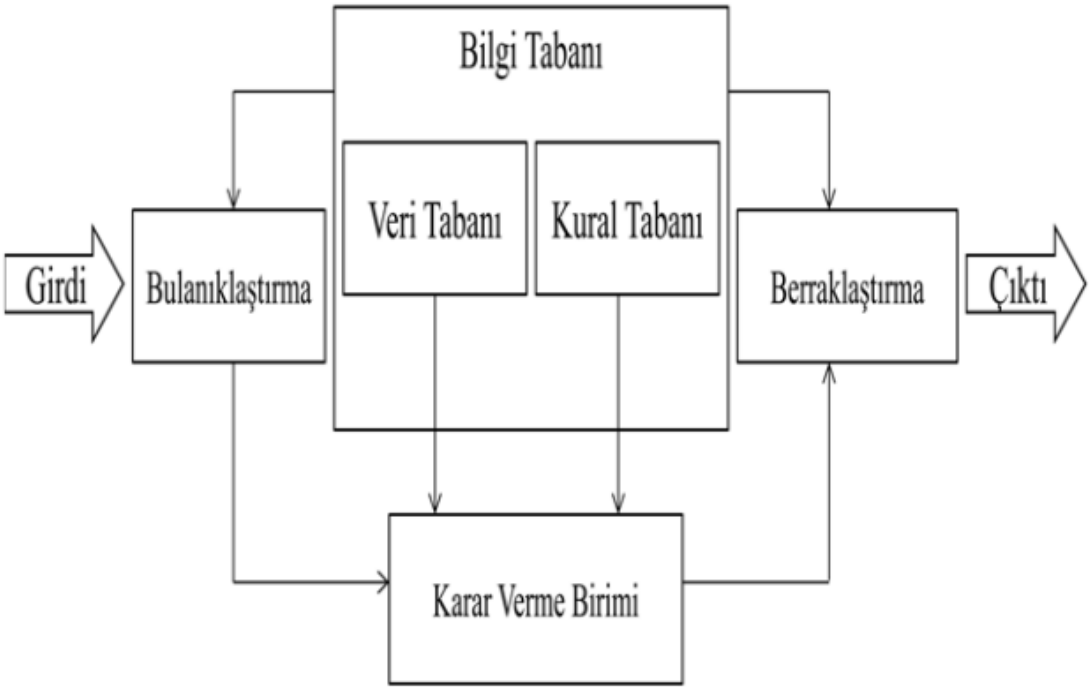
3.METOD

3.1.Bulanık Mantık

Bulanık mantık kavramının temelinde kesin sınırlar yerine kümelere dereceli aidiyetler ilkesi vardır. Bulanık mantık ise; 0 ile 1, doğru ile yanlış, vb. karşıt ifadeler arasında bir geçiş durumu önermektedir. Bu durum bazı olayların çok değerli mantık ile ele alınmasını ilke kılmaktadır. 1965 yılında Zadeh ise çok değerli mantık değer kümesini [0,1] aralığında tanımlamış ve bu teorinin adını Bulanık Mantık Teorisi olarak isimlendirmiştir.

Bulanık kümelerde bir elemanın kümeye aitliği üyelik dereceleri ile ifade edilir. Bir bulanık küme içerisinde bir elemanın kümeye aitlik derecesi, her elaman için [0,1] aralığına tekabül eden üyelik fonksiyonu ile ifade edilir. Bu haliyle bulanık kümelerin, sınırları belirsiz kümeler olduğu tanımlaması yapılabilir (Lee, 2005)

Bulanık mantık modellemesinde bulanıklaştırma, kural tabanlarının oluşturulması, değerlendirilmesi ve toplanması, berraklaştırma işlemleri birbirini takip eder. Jang (1993), bulanık sistem sürecini Şekil 2'deki gibi modellemiştir.



Şekil 2: Bulanık Çıkarım Sistemi **(**Jang (1993).

Girdi, sisteme verilecek olan girdiler hakkındaki bilgileri içerir. Bu bilgiler sayısal veya sözel olabilir. Bulanıklaştırıma, sayısal girdi verilerini sözel olarak tanımlanmış bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atayan birimdir. Bulanık Kural Tabanı, veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER–İSE türünde yazılabilen kuralların içeren birimdir. Karar verme birimi, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar. Berraklaştırma, bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür. Çıktı birimi, bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir. (Unsal ve Alışkan (2016))

Bulanık kural tabanlı bir sistemde, Mamdani ve Sugeno gibi farklı analiz yöntemleri uygulanabilir. Mamdani metodu uzman bilgisini yakalamak için yaygın olarak kabul görmektedir. Uzmanlığı daha sezgisel, daha insani bir şekilde tanımlamamıza olanak tanır ve önemli bir hesaplama yükü gerektirir. Öte yandan, Sugeno yöntemi hesaplama açısından verimlidir ve optimizasyon ve adaptif tekniklerle iyi çalışır, bu da kontrol problemlerinde, özellikle dinamik doğrusal olmayan sistemler için çok çekicidir. Bu uyarlama teknikleri, üyelik fonksiyonlarını kişiselleştirmek için kullanılabilir, böylece bulanık sistem verileri en iyi şekilde modelleyebilir. Mamdani tipi bulanık mantık ve Sugeno tipi bulanık mantık arasındaki en temel fark, net çıktıların bulanık girdilerden elde edilme şeklidir. Mamdani tipi bulanık çıktının sınırsızlaştırma tekniğini kullanırken, Sugeno tipi net çıktıyı hesaplamak için ağırlıklı ortalama kullanır. Kuralların sonuçları bulanık olmadığı için Mamdani çıktısının ifade gücü ve yorumlanabilirliği Sugeno tipinde kaybedilmiştir (Hamam ve Georganas (2008)). Ancak, Sugeno, ağırlıklı ortalamanın zaman harcayan buz çözme işlemini yerine

koymasından daha iyi işlem süresine sahiptir. Kural tabanının yorumlanabilir ve sezgisel doğası nedeniyle, Mamdani tipi, özellikle karar destek uygulaması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer farklılıklar, Mamdaninin üyelik üyeliği işlevlerine sahipken Sugeno tipinin üyelik üyeliği işlevine sahip olmamasıdır. Mamdani, sistem tasarımında Sugenoya kıyasla daha az esnektir, çünkü ikincisi, çıktıları optimize etmek için ANFIS aracıyla entegre edilebilir.

4.MODEL SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, Sugeno-Bulanık Mantık (S-BM) ve Mamdani-Bulanik Mantık (M-BM) yöntemleri kullanılarak günlük buharlaşma miktarı tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçların performansları karşılaştırılmıştır. Çalışılan istasyondan 2008-2012 yıllarına ait ait 4 yıllık toplamda 1650 tane günlük meteorolojik veri kullanılmıştır. Çalışmada, tüm verilerin %75'i eğitim; %25'si test için ayrılmıştır. Eğitim için 1240 günlük veri, test için 410 günlük ölçüm verisi kullanılmıştır.

Kullanılan veriler Amerikan Jeolojik Araştırma (USGS) kurumundan alınmıştır.

Sugeno-Bulanık Mantık (S-BM) ve Mamdani-Bulanik Mantık (M-BM) model uygulamalarında USGS den elde edilen günlük hava sıcaklığı (HS), rüzgâr hızı (RH), güneşlenme miktarı (GM) ve bağıl nem (BN) kullanılarak buharlaşma değeri tahmin edilmiştir

Tüm modellerde 1240 günlük veriler eğitilmiş ve test aşamasında 410 günlük verilere uygulanmıştır. Elde edilen test sonuçları buharlaşma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalara göre sonuçlar Tablo 1.'de verilmiştir.

Buharlaşma değerini tahmin etmek için kullanılan modellerin başarısını belirlemek amacıyla denklem (1) ve (2)'de sırasıyla verilen ortalama karesel hata (MSE), ortalama mutlak hata (MAE) , ortalama hata karelerinin kökü (RMSE) ve korelasyon katsayısı (R) kullanılmıştır. Burada N veri sayılarını ve Yi buharlaşma miktarı Olmak üzere;

$$\underline{\mathbf{MSE}}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Yi_{\text{ölçüm}}-Yi_{tahmin})^2 \qquad \mathbf{(1)}$$

$$\underline{\mathbf{MAE}}==\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|Yi_{\text{ölçüm}}-Yi_{tahmin}\right| \qquad \mathbf{(2)}$$

Bu çalışmada performans değerlendirmesi için, global istatistiki yöntemlerden olan korelasyon katsayısı **(R)** kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan BM modellerine ait istatistiksel MSE, MAE,RMSE ve R değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. BM modellerinin performans karşılaştırılması

Model	MAE	MSE	RMSE	R
S-BM	0,004	0,00002	0,005	0.99
M-BM	0,033	0,002	0.041	0.90

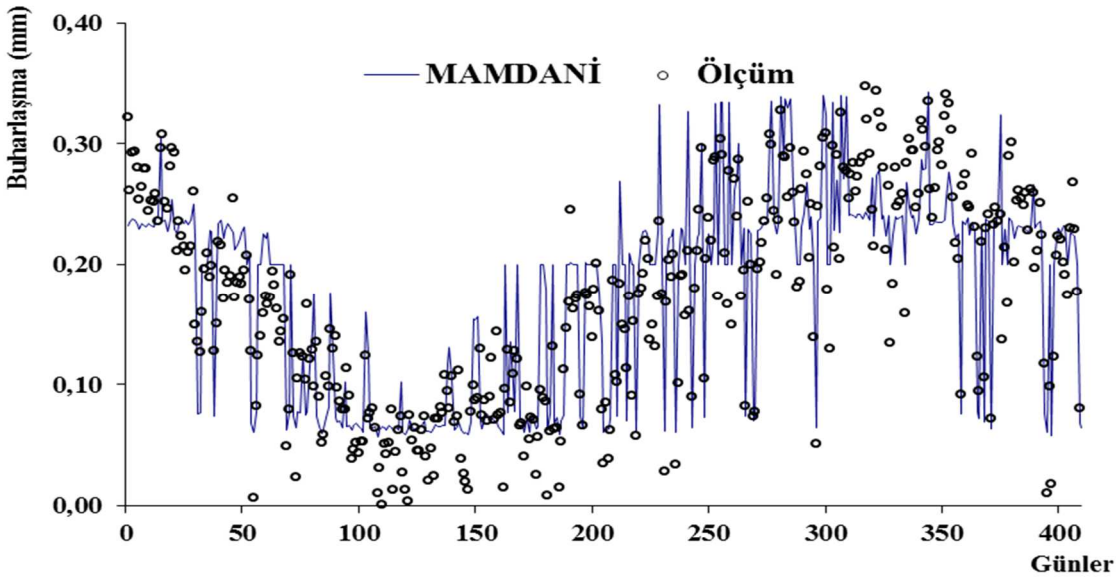
MSE: Ortalama karesel hata, MAE: Mutlak ortalama hata, RMSE: Kare ortalamalarının karekökü R: Korelasyon katsayısı

Çizelge 1 incelendiğinde Sugeno-Bulanık Mantık modelinin, Mamdani-Bulanik Mantık modeline göre daha iyi sonuç verdiğini yüksek korelasyon katsayısından(0.99) ve en düşük MAE (0,004) ve MSE (0,00002) hata miktarlarından görülmektedir.

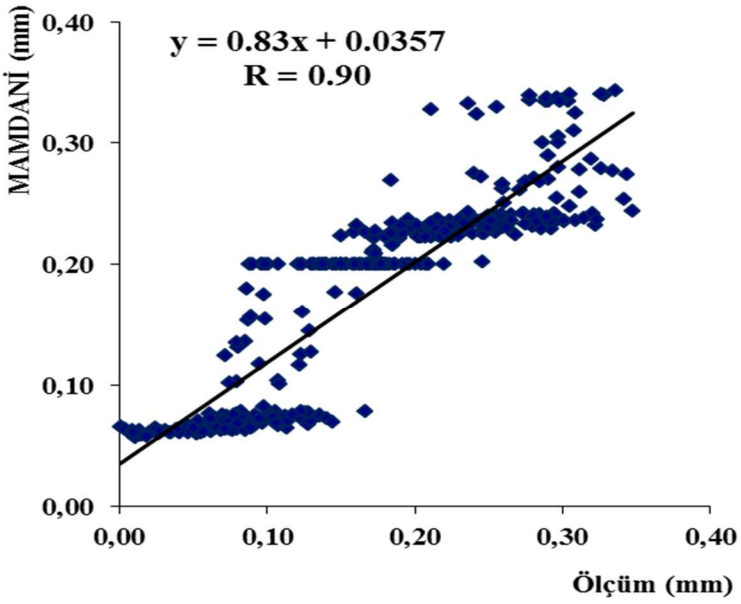
4.1. Mamdani-Bulanik Mantik (M-BM) Sonuçları

Bu çalışmada Mamdani-Bulanik Mantik (M-BM) model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen ortalama günlük hava sıcaklığı (T), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) parametreleri günlük ortalama buharlaşma tahmini için kullanılmıştır.

M-BM model dağılım ve saçılım grafikleri sırası ile Şekil 3. ve 4.'de gösterilmiştir. Şekil 3. ve 4.'den de görüldüğü gibi, M-BM modeli test verileri için uygulandığında model sonuçlarınım gerçek değerlere yakın olduğu görülmektedir ve korelasyon katsayısının 0.90 olduğu görülmektedir. Çizelge1.'de görüldüğü gibi M-BM yöntemi S-BM yöntemine göre daha yüksek hata ve düşük korelasyon (R) elde edilmiştir.



Şekil 3. Günlük ortalama buharlaşma tahmini verileri için Ölçüm ve M-BM dağılım grafiği

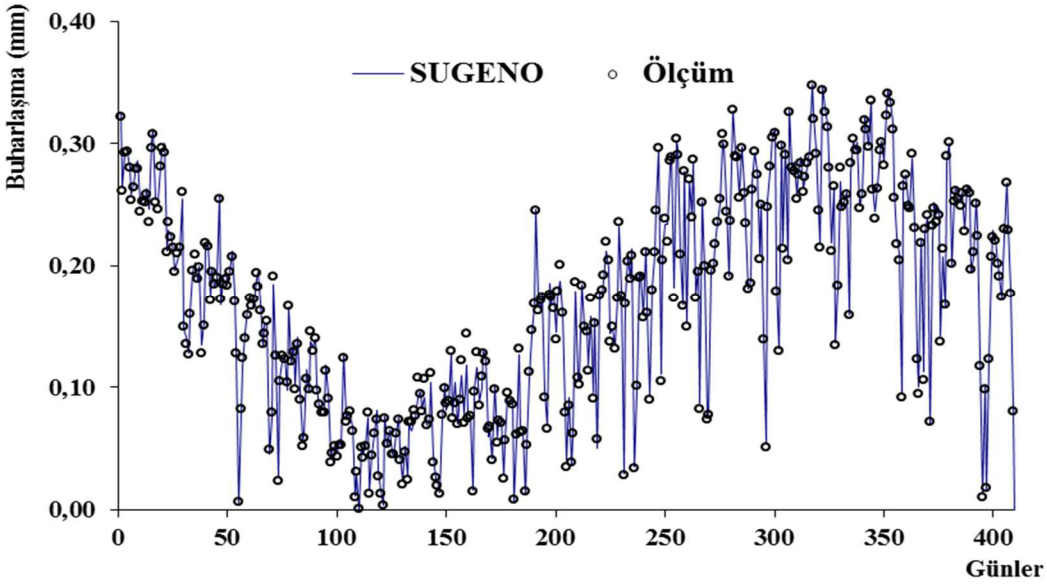


Şekil 4. Günlük ortalama buharlaşma tahmini verileri için Ölçüm ve M-BM saçılım grafiği

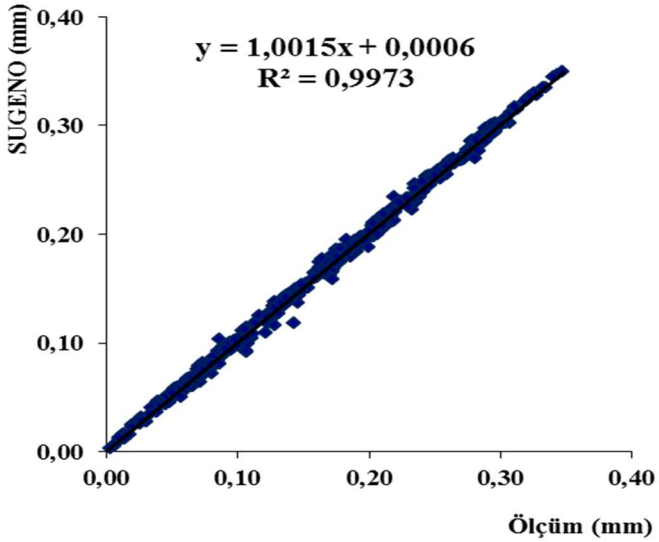
4.2. Sugeno-Bulanik Mantik (S-BM) Sonuçları

Bu çalışmada Sugeno-Bulanik Mantik (M-BM) model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen ortalama günlük hava sıcaklığı (T), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) parametreleri günlük ortalama buharlaşma tahmini için kullanılmıştır.

S-BM yöntemi test verileri için saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile Şekil 5. ve 6.'da gösterilmiştir. Şekil 5. ve 6.'dan da görüldüğü gibi, model sonuçları gerçek değerlere yakındır ve 0.99' luk bir korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 1.'de görüldüğü gibi S-BM yöntemi M-BM yöntemine göre daha düşük hata ve yüksek korelasyon (R) elde edilmiştir



Şekil 5. Günlük ortalama buharlaşma tahmini verileri için Ölçüm ve S-BM dağılım grafiği



Şekil 6. Günlük ortalama buharlaşma tahmini verileri için Ölçüm ve s-BM saçılım grafiği

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ABD'nin Teksas eyaletindeki Denton İlçesine bağlı Lewisville gölü civarında bir istasyonun 2008-2012 yılları arasındaki ortalama günlük hava sıcaklığı (T), rüzgar hızı (U), güneş ışınımı (SR) ve bağıl nem (RH) verileri kullanılarak günlük ortalama buharlaşma tahmin edilmiştir. Buharlaşma tahmini için M-BM ve S-BM modelleri kullanılmış ve modellerin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. . M-BM ve S-BM modellerinde toplam 1650 verinin 1240 verisi eğitim için 410 veriside test için uygulanmıştır. Model ile elde edilen sonuçlar ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır.

S-BM ve M-BM modellerinin performans değerlendirmesi için korelasyon katsayısı (R), (MSE) ve (MAE) hesaplanmıştır. Rezervuar tahmini için tüm modellerde düşük MSE, MAE değerleri ve yüksek korelasyon sağlanabilmiştir. Çalışmada S-BM ve M-BM modellerinin bölgesel bazda günlük bunarlaşma modellerinde kullanılabileceği görülmüştür. Ancak bu çalışma kapsamında yapılan hata hesaplamaları ve korelasyon değeri göz önüne alındığında S-BM yönteminin M-BM modelinden daha doğru tahmin sonuçları verdiği anlaşılmıştır.. Modellemenin farklı iklim şartlarına sahip bölgeler için yapılması, modelleme başarısının genelleştirilebilmesi açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Aytek, A., Guven, A., Yuce, M. I., & Aksoy, H. (2008). An explicit neural network formulation for evapotranspiration. *Hydrological Sciences Journal*, 53(4), 893-904.
2. Burman, R. D. (1976). Intercontinental comparison of evaporation estimates. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, *102*(1), 109-118.
3. Dos Reis, R. J., & Dias, N. L. (1998). Multi-season lake evaporation: energy-budget estimates and CRLE model assessment with limited meteorological observations. *Journal of Hydrology*, 208(3-4), 135-147.

4. Feng, Y., Cui, N., Zhao, L., Hu, X., & Gong, D. (2016). Comparison of ELM, GANN, WNN and empirical models for estimating reference evapotranspiration in humid region of Southwest China. *Journal of Hydrology*, 536, 376-383.
5. Frevert, D. K., Hill, R. W., & Braaten, B. C. (1983). Estimation of FAOevapotranspiration coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 109(2), 265-270.
6. Gavin, H., & Agnew, C. A. (2004). Modelling actual, reference and equilibrium evaporation from a temperate wet grassland. *Hydrological Processes*, 18(2), 229-246.
7. Hamam, A., & Georganas, N. D. (2008, October). A comparison of Mamdani and Sugeno fuzzy inference systems for evaluating the quality of experience of Hapto-Audio-Visual applications. In 2008 IEEE International Workshop on Haptic Audio visual Environments and Games (pp. 87-92). IEEE.
8. Irmak, S., Haman, D. Z., & Jones, J. W. (2002). Evaluation of class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(3), 153-159.
9. Jensen, M. E. (1974). Consumptive use of water and irrigation water requirements. ASCE.
10. Kaya, Y. Z., Mamak, M., & Unes, F. (2016). Evapotranspiration prediction using M5T data mining method. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 3(12).225-229.
11. Lin, P. Z., Hsu, C. F., & Lee, T. T. (2005, May). Type-2 fuzzy logic controller design for buck DC-DC converters. In *The 14th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2005. FUZZ'05.*(pp. 365-370). IEEE.
12. Partal, T. (2016). Comparison of wavelet based hybrid models for daily evapotranspiration estimation using meteorological data. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(5), 2050-2058.
13. Stephens, J. C., & Stewart, E. H. (1963). A comparison of procedures for computing evaporation and evapotranspiration. Publication, 62, 123-133.
14. Sudheer, K. P., Gosain, A. K., Mohana Rangan, D., & Saheb, S. M. (2002). Modelling evaporation using an artificial neural network algorithm. *Hydrological Processes*, 16(16), 3189-3202.
15. Taşar, B., Üneş, F., Demirci, M., & Kaya, Y. Z. (2018). Yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, *9*(1), 543-551.
16. Ünsal, S., & Alışkan, İ. Mamdani ve Takagi-Sugeno Çıkarım Yöntemlerine Sahip Bulanık Mantık Denetleyicilerin Özgün Yazılım ve Araç Kutusu Performans Analizi Performance Analysis of Fuzzy Logic Controllers Having Mamdani and Takagi-Sugeno Inference Methods By Using Unique Software and Toolbox.(2016)
17. www.usgs.gov
18. https://tr.climate-data.org/kuzey-amerika/amerika-birlesik-devletleri/teksas/denton-6176/
19. Vallet-Coulomb, C., Legesse, D., Gasse, F., Travi, Y., & Chernet, T. (2001). Lake evaporation estimates in tropical Africa (Lake Ziway, Ethiopia). Journal of hydrology, 245(1-4), 1-18.

Nehirlerdeki Akış Miktarının Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi

Büşra Batçık[1], Fatih Üneş[1], Mustafa Demirci[1], Yunus Ziya Kaya[2]

[1,] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
[2]Department of Civil Engineering, Osmaniye Korkut Ata University, Turkey
Emails: busra.batcik@gmail.com, faith.unes@iste.edu.tr, mustafa.demirci@iste.edu.tr
yunuszkaya@osmaniye.edu.tr

Özet

Nehirlerdeki akış tahmini, su kaynaklarının verimli kullanılması, su yapılarının inşasının planlaması ve afetlerin önlenmesinde çok önemlidir. Günümüzde akış tahmini için farklı yapay zeka teknikleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada Sugeno- Bulanık Mantık (S-BM) ve Mamdani- Bulank Mantık (M-BM) modeller kullanılarak nehirlerdeki akış tahmini yapılmıştır. Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇLR) yöntemi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma alanı olarak, ABD, Worcester Country, Stilwater nehri seçilmiş ve bu bölgeden elde edilen veriler kullanılmıştır. Bulanık mantık ve Çoklu Doğrusal Regresyon modellerinde girdi verilerini oluşturmak için günlük 731 yağış, akış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar nehir için ölçülen günlük kayıtlarla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Akış; Tahmin; Sugeno- Bulanık Mantık; Mamdani- Bulank Mantık Çoklu Doğrusal regresyon

Flow Modeling in River Using Fuzzy Logic

Abstract

Estimation of the flow in rivers is very important in the efficient use of water resources, planning of the construction of water structures and prevention of disasters. Today, different artificial intelligence techniques are used for flow estimation. In this study, flow estimation was done by using Sugeno- Fuzzy Logic (S-FL)) and Mamdani-Fuzzy Logic (M-FL) model. It was compared with Multiple Linear Regression (MLR) method. As a study area, US Worcester Country Stilwater river was selected and the data obtained from this region were used. In order to generate input data in fuzzy logic and Multiple Linear Regression models, daily precipitation, flow and temperature data were used. The results were compared with the measured daily records for the river..

Keywords: Flow, Prediction, Sugeno-Fuzzy Logic, Mamdani-Fuzzy Logic, Multiple Linear Regression

1.Giriş

Yağış ve akarsu arasındaki ilişki yüzey hidrolojisinde önemli bir konudur. Yağışın sağladığı doğru akım akışı hidrolojik döngüde önemli bir yer tutar. Taşkın riskinin önlenmesi ve taşkın değerlendirmesini öngörmek için yağıştan kaynaklanan akış miktarını tahmin etmek gereklidir. Yeni algoritmalar ve modeller, özellikle bilgisayar çözümlerine dayalı olanlar, araştırmacıların en karmaşık sistemleri farklı şekillerde çözmelerini sağlar. Yapay sinir ağı (YSA) ve bulanık mantık (FL) yöntemleri gibi fizik denklemlerine dayanmayan tahmin yöntemlerinin kullanımı, çeşitli mühendislik alanlarında yaygınlaşmaktadır. YSA, yağış akış

süreci de dahil olmak üzere hidrolojik sürecin modellenmesi için geniş çapta kabul edilmiştir (Hsu ve diğ. 1991). Fernando ve Jayawardena (1998), radyal temelli fonksiyon (RBF) ağları kullanarak akım akışı tahmininde çalıştı. Tokar ve Johnson (1999) havzada günlük yağış, buharlaşma, sıcaklık ve kar erimesinden günlük akım akışını tahmin etmek için YSA modeli geliştirmiştir. YSA ayrıca akış akış tahmininde de uygulanabilir (Shivakumar ve ark. 2002; Sinha Jitendra ve ark. 2013), rezervuar giriş akımı tahmini (Jain ve Srivastava 1999), tortu verim modellemesi (Raghuwanshi ve ark. 2006; Senthil Kumar ve ark. 2012). .

Senthil Kumar ve diğ. (2012) ve Raghuwanshi ve ark. (2006) doğu kıyısı nehri için haftalık ve aylık bazda askıya alma veriminin öngörülmesi için YSA modelini uygulamışlardır, ancak bu çalışmada, düşen Maharashtra'nın batı kıyı şeridi için günlük bazda akıntı akışı günlük olarak YSA ve bulanık mantık modelleri tarafından tahmin edilmiştir. Zadeh (1965), göreceli küme teorisini göreceli üyelik konseptiyle geliştirdi ve mühendislik alanında daha iyi bir pratik uygulamaya sahip olan bulanık optimum teoriyi önerdi. (Tayfur ve ark. 2003), Yeshewatesfa ve diğ. (2001), Altunkaynak (2010), Altunkaynak ve Başakın (2018) yağış akışı akış modellemesi için BM modelini uygulamıştır. Son on yıl, su kaynakları üzerinde bulanık mantık yaklaşımının uygulanmasına tanık olmuştur (Nayak ve ark. 2005). Nayak ve diğ. (2005), yağış akış modellemesi için bazı hidrolojik uygulamalarda kullanılan Mamdani yaklaşımını (Mamdani ve Assilian 1975) kullanmıştır. Gowda ve Moyya (2014), farklı üyelik fonksiyonları ve sonuçları uygulayarak Dakshina Kannada'da bulunan Nethravathi Nehri Havzası için akış akışını tahmin etmek için bulanık mantık modelini uygulamaktadır. Üçgen üyelik fonksiyonunu kullanan bulanık çıkarım sisteminin, geliştirilen diğer modellere göre iyi bir performans gösterdiğini bulmuşlardır. Bulanık mantık yaklaşımı ayrıca taşkın tahmini (Chang ve diğerleri 2005), yağış (Maskey ve diğerleri 2004), sediment taşınımı (Tayfur ve diğerleri 2003), rezervuar çalışması (Tilmant ve diğerleri 2002) ve yağmur suyu (Hong ve diğ. 2002) için de uygulanmıştır.

Bu çalışmada, ABD, Worcester Country, Stilwater nehri seçilmiş Sugeno- Bulanık Mantık (S-BM), Mamdani-Bulanık Mantık (M-BM) ve ÇLR modelleri kullanılarak akış tahmini yapılmıştır.

2.Materyal ve Yöntem

2.1 Çalışma alanı

Bu çalışmada, Sugeno- Bulanık Mantık (S-BM), Mamdani-Bulanık Mantık (M-BM) ve ÇLR (Çoklu Doğrusal Regresyon) yöntemleri kullanılarak nehirde akış miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

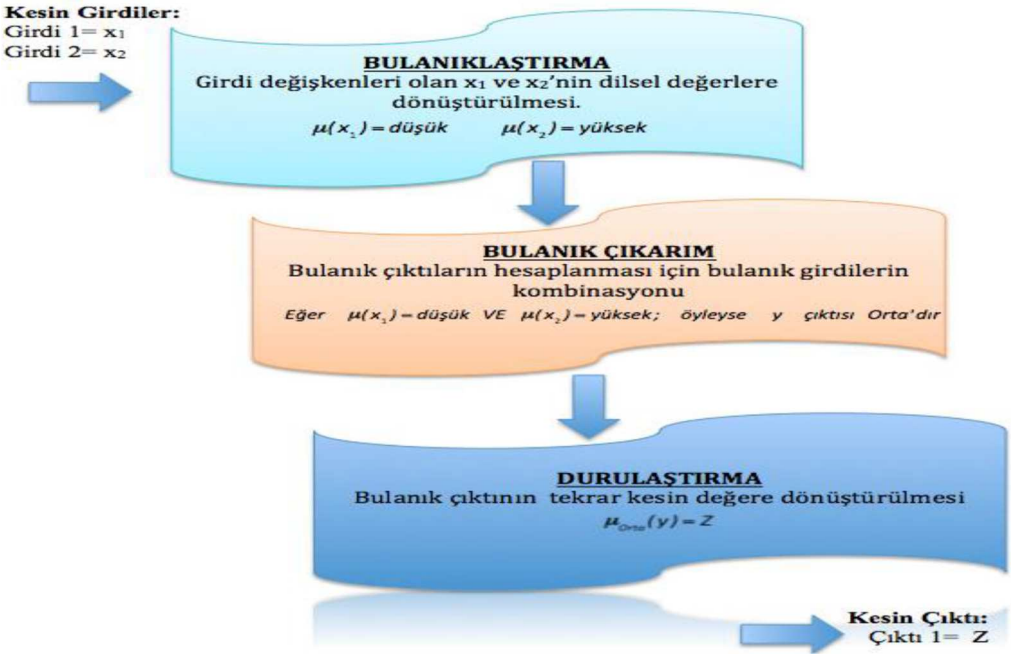
Çalışma alanı olarak, ABD Worcester Country, Stilwater nehri seçilmiştir. (Şekil 1). Burası sıcak ve ılıman bir iklime sahiptir ve en kurak aylarda bile yağış miktarı oldukça fazladır. 42°24'39"K enlemi ve 71°47'30"Doğu boylamı üzerinde yer alan, Massachusetts-Rhode Island Su Bilim Merkezi tarafından yönetilen bu istasyona ait 2014-2017 yıllarına ait 3 yıllık meteorolojik veriler kullanılmıştır.

Şekil1: Çalışılan istasyonun konumu(www.usgs.gov)

2.Yöntem

2.2.1 Bulanık Mantık

Bulanık mantık temelleri ilk defa Zadeh tarafından geliştirilmiş, klasik Aristo mantığındaki net geçişleri yumuşatmak için kullanılmıştır (Zadeh, 1965). Sayısal olarak tam bilinemeyen veya karışık denklemler bulunduran modellerin, bulanık mantık sayesinde sözel ifade edilerek problemlerin çözümleri kolaylaştırılmaya çalışılmıştır. Girdi veya girdi gruplarının bulanık mantık yöntemi kullanılarak bir çıktıyla bağdaştırılması bulanık çıkarım olarak isimlendirilir. Bulanık çıkarım içerisinde üyelik fonksiyonları, mantıksal işlemler ve Eğer-İse kurallarını bulundurur. Bulanık sistemler hidroloji, meteoroloji ve su kaynakları gibi alanlarda başarıyla uygulanmıştır. Bulanık çıkarım sisteminin genel yapısı Şekil 2' de gösterilmiştir (Zarte (2018)). Litaratürde iki tane bulanık çıkarım sistemi yer almaktadır. Bu çıkarımlar Mamdani ve Takagi-Sugeno'dur. Mamdani'nin bulanık çıkarım yöntemi, en çok kullanılan bulanık yöntemidir. Mamdani çıkarım sistemi, çıktı üyelik fonksiyonlarını bulanık kümeler olarak alır. Her çıktı için bir bulanık küme oluşur. Bulanıklaştırma, kesin sonuçlara ulaşmak için vazgeçilmezdir. Bu yaklaşım, çok veri olmadığı zaman ve sözel ifadeler için uygundur. Mandaniye karşın, Takagi-Sugeno yaklaşımında sadece sayısal veriler kullanılır ve sözel veri girişi yapılamaz. Bundan, Takagi-Sugeno yaklaşımı, veri tabanlı bir yöntemdir ve sayısal giriş-çıkış verileri sağlandığında daha güzel sonuçlar verir.



Şekil 2: Bulanık Çıkarım Sisteminin Genel Yapısı (Zarte (2018)).

Mamdani-BM, bulanık küme teorisiyle oluşturulmuş olan ilk kontrol sistemi olarak bilinmektedir. Mamdani (1975), profesyonel insan operatörlerinden bulduğu bir dizi dilsel kontrol kurallarını gözden geçirerek buhar motoru ve kazan kombinasyonunu kontrol edebilmeyi başarmıştır. Çalışmasında Zadeh'in 1973'teki karmaşık sistemler ve karar süreci için bulanık algoritmalar konulu çalışmasını esas almıştır. Çıkarım süreci Zadeh'in çalışmasından farklı olmakla birlikte, temel fikir aynıdır (Mathworks, 2014).

$$\mu_R(x,y) = min\left[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)\right] \quad (1)$$

Eşitlik, minimum korelâsyonu veya Mamdani önermesi olarak bilinmektedir. Önerme için bu eşitlik, R = A × B boyutlu bulanık A ve bulanık B kümelerinin bulanık Kartezyen kümesini ifade eder.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \geq 0.5 \text{ ve } \mu_{\tilde{B}}(y) \geq 0.5 \quad ; \quad (2)$$

için klasik mantık önerme yaklaşımının, Mamdani önermesine indirgenmiş halini ifade eder (Ross, 2010). Mamdani çıkarımında, "eğer-ise" kuralının sonucu bir bulanık kümeyle tanımlanır. Her bir kuralın bulanık çıktı kümesi, sistemde eşleşen bir sayı ile yeniden şekillendirilmektedir ve bu yeniden şekillendirme sonucunda elde edilen bulanık kümelerin tamamı toplanıp, sonrasında durulaştırılmak zorundadır (Wang, 2015). Mamdani-BM, sezgisel olan insan algısı ve mantığına yakınlık gibi avantajlara sahiptir (Mathworks, 2014).

2.2.2 ÇLR (Çoklu Lineer Regresyon)

Bağımlı bir değişkenin, etkilendiği bağımsız değişkenlerin hangisinden ne kadar fazla etkilendiğini ve değerini bulmak için kullanılan bir yöntemdir.
ÇLR çözümlemesinde, bağımlı değişken y, bağımsız değişkenler
$x_1, x_2, ..., x_p$ ile ifade edildiğinde aralarındaki bağıntı;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_j x_j + \cdots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad \textbf{(3)}$$

olarak yazılabilir.

Burada $\beta_0,\ \beta_1,\ \beta_2, \ldots, \beta_j, \ldots, \beta_p$ bilinmeyenlerine regresyon katsayısı denir. Herhangi bir β_j regresyon katsayısı, diğer değişkenler sabit tutulduğunda yani diğer değişkenlerin etkisi kalktığında x_j de görülen bir birimlik değişmeye karşılık y değişkenindeki beklenen değişiklik miktarını vermektedir. Başka bir ifadeyle; $\beta_0,\ \beta_1,\ \beta_2, \ldots, \beta_j, \ldots, \beta_p$ bağımsız değişkenlerin y'nin saptanmasına yaptıkları göreceli katkıya ilişkin ağırlıklardır. Bu nedenle, $\beta_j\ (j = 1, 2, \ldots, p)$ genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak adlandırılmaktadır. β_0'a ise kesim noktası veya sabit denir ve tüm x_j değişken değerleri sıfır olduğunda bağımlı değişkenin aldığı değeri gösterir. ε ise hata terimidir

3. Model Sonuçları ve Değerlendirme

Bu çalışmada Bulanık Mantık ve Çoklu Lineer Regresyon yöntemleri kullanılarak nehirde akış miktarının tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirleriyle istatistiksel bir yaklaşımla karşılaştırılmıştır. Çalışılan istasyonda 2014-2017 yıllarına ait 3 yıllık toplam 1095 tane veri kullanılmıştır. Çalışmada tüm verilerin %75'i eğitim %25'i testtir. Eğitim için 820 veri, test için 275 ölçüm verisi kullanılmıştır.

Kullanılan veriler Amerikan Jeolojik Araştırma (USGS) kurumundan alınmıştır.

Bulanık mantık ve ÇLR (Çoklu Lineer Regresyon) uygulamalarında USGS den elde edilen debi, yağış ve ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır.

Tüm modellerde 820 veri eğitilmiş ve test aşamasında 275 veri uygulanmıştır.

Bu karşılaştırma sonuçları Tablo1 de verilmiştir.

Nehirde akış değerini tahmin etmek için kullanılan modellerin başarısını belirlemek amacıyla(4) ve (5) de verilen OKH (karesel hata) OMH (ortalama mutlak hata) ve R (korelasyon katsayısı) kullanılmıştır. Burada N veri sayısını Yi akış miktarlarını göstermektedir.

$$\underline{\textbf{OKH}} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Yi_{\text{ölçüm}} - Yi_{tahmin})^2 \quad \textbf{(4)}$$

$$\underline{\textbf{OMH}} = = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left| Yi_{\text{ölçüm}} - Yi_{tahmin} \right| \quad \textbf{(5)}$$

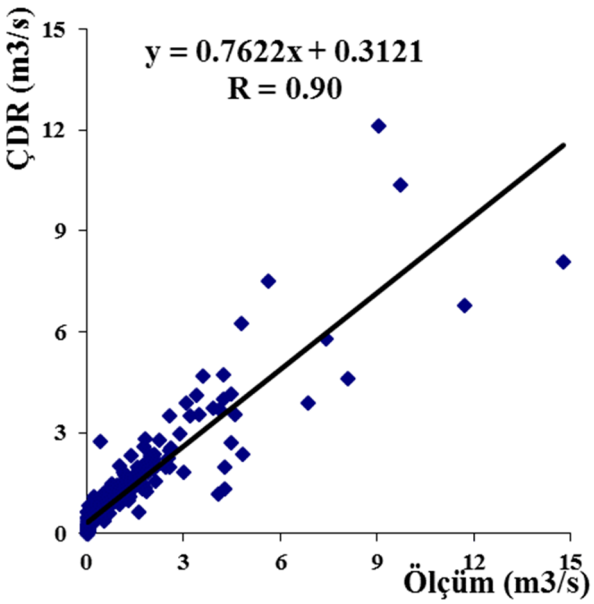
Tablo 1: İstasyonda kullanılan yönetimlerdeki test verileri için elde edilen OKH, OMH ve R parametreleri

	ÇLR	**S-BM**	**M-BM**
OKH (m^6/s^2)	0.62	0.61	**0.59**
OMH (m^3/s)	0.35	0.34	**0.33**
R	0.90	0.90	**0.92**

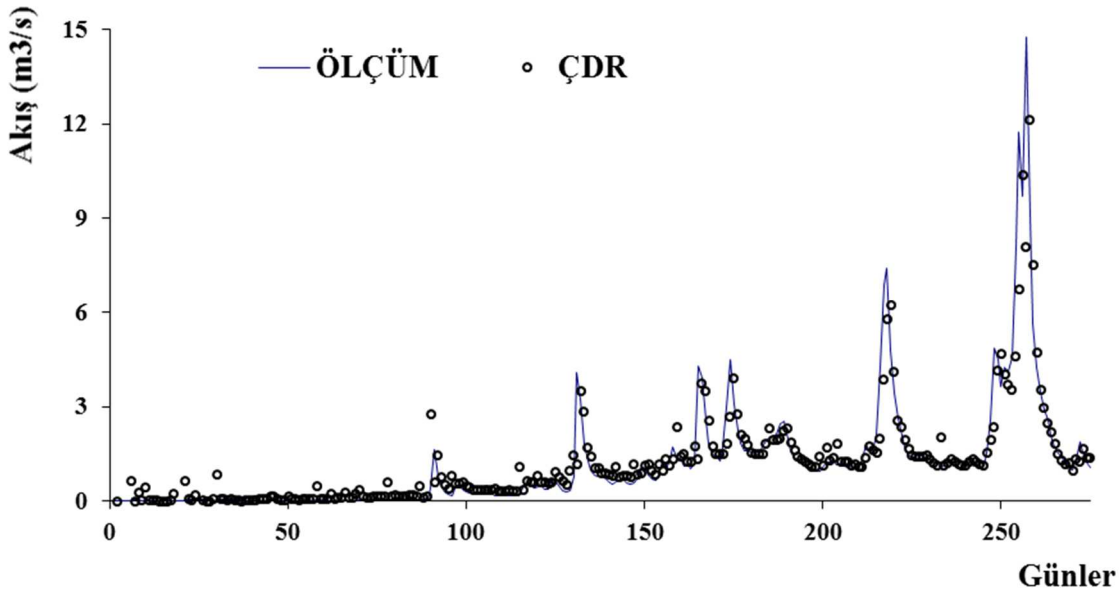
Tablo 1 incelendiğinde düşük hata değerlerine ve yüksek korelasyona sahip olan bulanık mantık modelinin ÇLR'ye göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir..

3. 1. Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Sonuçları

Bu çalışmada ÇLR model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen günlük akım debisi (Q), Sıcaklık (S), Yağış (Y) Nehirde Akış tahmininde kullanılmıştır.



Şekil 3. Nehirde Akış tahmini için test verileri için Ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği



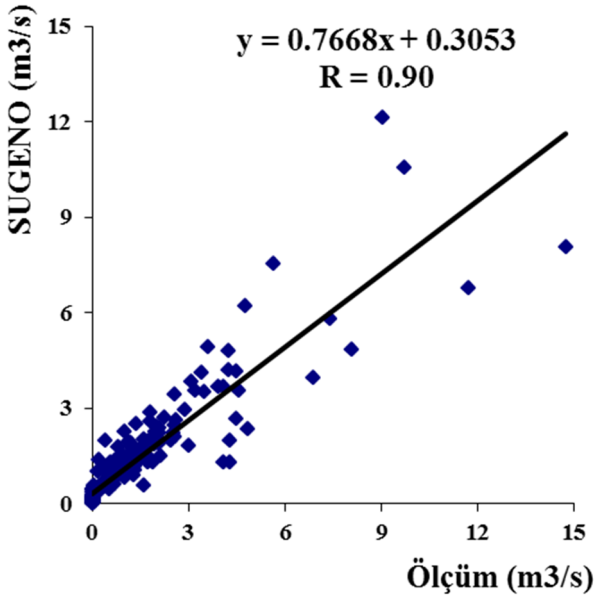
Şekil 4. Nehirde Akış tahmini için test verileri için Ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği

Buna göre, ÇLR yöntemi saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile Şekil 3. ve 4.'de gösterilmiştir. ÇLR için çizilen dağılım grafiği incelendiğinde tahmin değerleri dağılımının ölçüm değerleri ile büyük ölçüde uyumluluğu görülmektedir. Tahmin ve ölçüm değerleri arasındaki paralel ilişki saçılım grafiğinden elde edilen ve 0.90 değerine ulaşan korelasyon değeri ile de teyit edilmiştir.

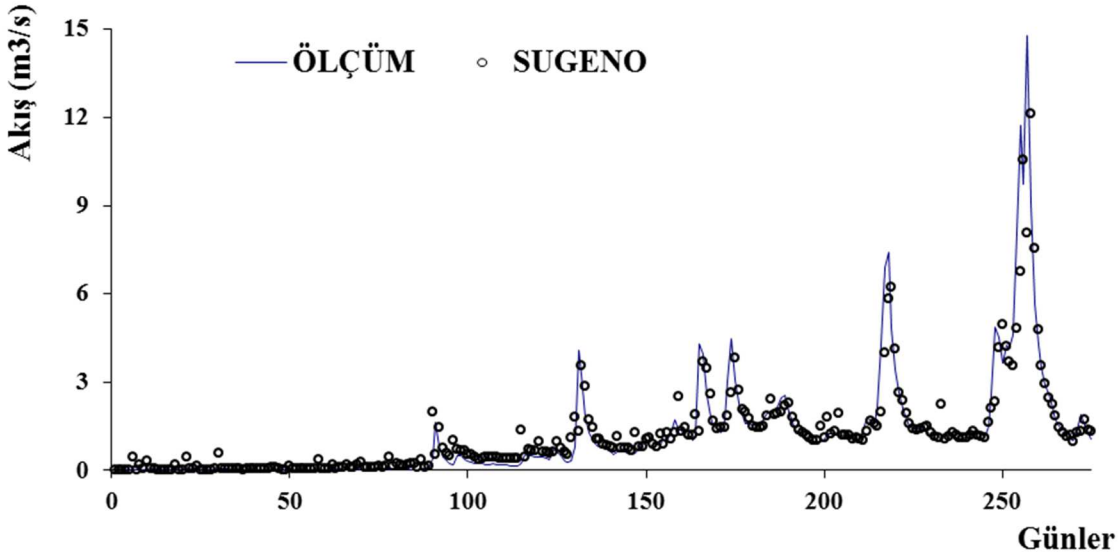
3.2. Sugeno-Bulanik Mantik (S-BM) Sonuçları

Bu çalışmada Sugeno-Bulanik Mantik (S-BM) model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen günlük akım debisi (Q), Sıcaklık (S), Yağış (Y) Nehirde akış tahmininde kullanılmıştır.

Bu çalışma için elde edilen S-BM yönteminde test verileri için saçılım ve dağılım grafikleri Şekil 5. ve 6.'de görülmektedir. S-BM yöntemi için çizilen dağılım grafiği incelendiğinde tahmin değerleri ölçüm değerleri arasında uyumluluk olduğu görülmektedir. S-BM modeli için korealasyon katsayısı 0.90 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Nehirde Akış tahmini için test verileri için Ölçüm ve S-BM saçılım grafiği

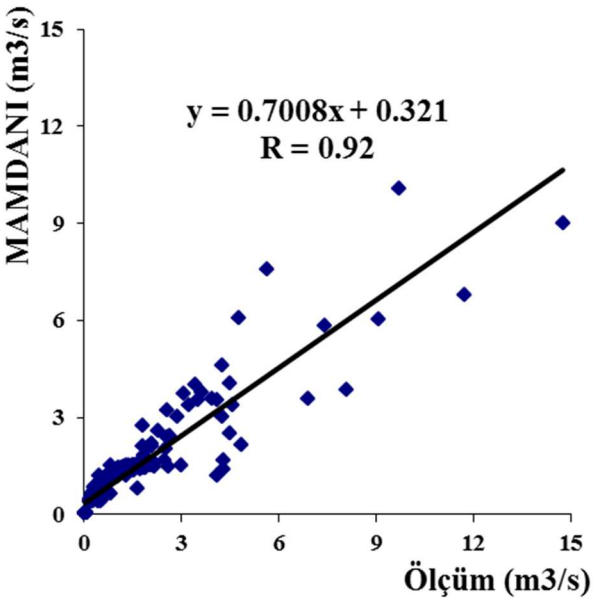


Şekil 6. Nehirde Akış tahmini için test verileri için Ölçüm ve S-BM dağılım grafiği

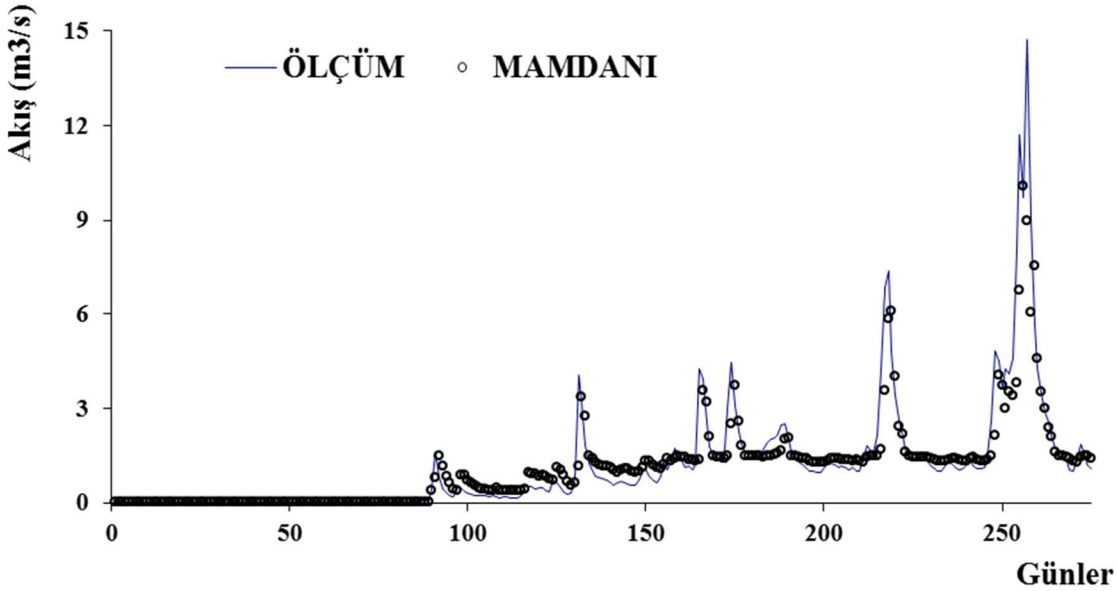
3.3. Mamdani-Bulanik Mantik (M-BM) Sonuçları

Bu çalışmada Mamdani-Bulanik Mantik (B-BM) model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen günlük akım debisi (Q), Sıcaklık (S), Yağış (Y) Nehirde akış tahmininde kullanılmıştır.

B-BM model dağılım ve saçılım grafikleri aşağıda verilmiştir. B-BM yöntemi saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile Şekil 7. ve 8.'de gösterilmiştir. Saçılım grafiğinde korelasyon katsayısı 0.92 olarak elde edilmiştir. Dağılım grafiği ölçüm değerleri ile M-BM modeli tahmin sonuçları arasındaki uyumu göstermektedir.



Şekil 7. Nehirde akış tahmini test verileri için Ölçüm ve M-BM saçılım grafiği



Şekil 8. Nehirde akış tahmini test verileri için Ölçüm ve M-BM dağılım grafiği

4.Sonuçlar

Bu çalışmada ABD'nin Sterling şehrinde Worcester ilçesinde bulunan bir istasyonda 2014-2017 yıllarına ait 3 yıllık toplamda 1095 veri kullanılarak ortalama sıcaklık, yağış ve debi değerleri hesaplanmıştır.

Bulanık Mantık model uygulamalarında sugeno ve mamdani ile USGS den elde edilen ve düzenlenen ortalama sıcaklık, yağış ve debi parametreleri kullanılarak tüm verilerin %75'i eğitim; %25'si test için ayrılarak debi değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte ortalama sıcaklık, yağış ve debi değerleri kullanılarak aynı istasyon için Çoklu Lineer Regresyon ile debi tahmin edilmiştir.

Çalışmada, Bulanık mantık yaklaşımı çoklu linear regresyon yöntemi ile debi tahmin yeteneği açısından karşılaştırılmıştır. OMH, OKH hata istatistikleri ve korelasyon değerleri temelli bu karşılaştırmaya göre M-BM yöntemi en doğru sonuçları veren yöntem olmuştur. En düşük doğruluk değerine sahip model ÇLR olurken, ÇLR sonuçlarının S-BM yöntemlerine çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Çalışmada kullanılan her üç metodunda tahmin sonuçları açısından kabul edilebilir düzeyde olduğu anlaşılmıştır. Bununla beraber kullanılan yöntemlerin farklı iklimsel ve hidrolojik yapıdaki nehirler için de benzer şekilde test edilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

6. Kaynaklar

1. Altunkaynak, A., & Başakın, E. E. (2018) Zaman Serileri Kullanılarak Nehir Akım Tahmini ve Farklı Yöntemlerle Karşılaştırılması. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(1), 92-101.
2. Altunkaynak, A. (2010). A predictive model for well loss using fuzzy logic approach. *Hydrological processes*, *24*(17), 2400-2404.
3. Chang, L. C., Chang, F. J., & Tsai, Y. H. (2005). Fuzzy exemplar-based inference system for flood forecasting. Water Resources Research, 41(2),1 -12.
4. Fernando, D. A. K., & Jayawardena, A. W. (1998). Runoff forecasting using RBF networks with OLS algorithm. Journal of hydrologic engineering, 3(3), 203-209.
5. Hong, Y. S., Rosen, M. R., & Reeves, R. R. (2002). Dynamic fuzzy modeling of storm water infiltration in urban fractured aquifers. Journal of Hydrologic Engineering, 7(5), 380-391.
6. Hundecha, Y., Bardossy, A., & Werner, H. W. (2001). Development of a fuzzy logic-based rainfall-runoff model. Hydrological Sciences Journal, 46(3), 363-376.
7. Hsu, K. L., Gupta, H. V., & Sorooshian, S. (1995). Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process. Water resources research, 31(10), 2517-2530.
8. Gowda, C. C., & Moyya, S. D. (2014). Runoff modelling using different membership functions in adaptive neuro fuzzy inference system. Int. J. Adv. Eng. Sci, 4(4), 48-51.
9. Jain, S. K., Das, A., & Srivastava, D. K. (1999). Application of ANN for reservoir inflow prediction and operation. Journal of water resources planning and management, 125(5), 263-271.
10. Jitendra, S., Sahu, R. K., Avinash, A., Pali, A. K., & Sinha, B. L. (2013). Rainfall-runoff modelling using Multi layer perceptron technique-a case study of the Upper

Kharun catchment in Chhattisgarh. *Journal of Agricultural Engineering* (New Delhi), 50(2), 43-51.

11. Korucu, A. T. (2007). Bulanık mantık problemleri için Türkçe görsel bir arayüz tasarımı (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

12. Mamdani, E. H. (1974, December). Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. In *Proceedings of the institution of electrical engineers* (Vol. 121, No. 12, pp. 1585-1588). IET.

13. Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Jjournal of Man-machine Studies, 7(1), 1-13.

14. Maskey, S., Guinot, V., & Price, R. K. (2004). Treatment of precipitation uncertainty in rainfall-runoff modelling: a fuzzy set approach. Advances in water resources, 27(9), 889-898.

15. Mathworks, I. (2014). MATLAB: R2014a. *Mathworks Inc, Natick.*

16. Nayak, P. C., Sudheer, K. P., & Ramasastri, K. S. (2005). Fuzzy computing based rainfall–runoff model for real time flood forecasting. Hydrological Processes: An International Journal, 19(4), 955-968.

17. Raghuwanshi, N. S., Singh, R., & Reddy, L. S. (2006). Runoff and sediment yield modeling using artificial neural networks: Upper Siwane River, India. *Journal of Hydrologic Engineering*, 11(1), 71-79.

18. Ross, T.J.(2010). Fuzzy Logic With Engineering Applications(Third Edition). John Wiley&Sons Ltd.

19. Senthil Kumar, A. R., Ojha, C. S. P., Goyal, M. K., Singh, R. D., & Swamee, P. K. (2011). Modeling of suspended sediment concentration at Kasol in India using ANN, fuzzy logic, and decision tree algorithms. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(3), 394-404.

20. Sivakumar, B., Jayawardena, A. W., & Fernando, T. M. K. G. (2002). River flow forecasting: use of phase-space reconstruction and artificial neural networks approaches. *Journal of hydrology*, 265(1-4), 225-245.

21. Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy Iden ti fi ca tion of Sys tems and Its Ap pli ca tions to Mod el ling and Con trol, Pro ceed ings. IEEE Trans ac tion on Sys tems, Man and Cy ber net ics, SMC-15, 1, 116-132.

22. Tayfur, G., Moramarco, T., & Singh, V. P. (2007). Predicting and forecasting flow discharge at sites receiving significant lateral inflow. *Hydrological Processes: An International Journal*, 21(14), 1848-1859.

23. Tilmant, A., Vanclooster, M., Duckstein, L., & Persoons, E. (2002). Comparison of fuzzy and nonfuzzy optimal reservoir operating policies. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128(6), 390-398.

24. Tokar, A. S., & Johnson, P. A. (1999). Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(3), 232-239.

25. USGS.gov | Science for a changing world [WWW Document], n.d. URL https://www.usgs.gov/

26. Wang, C.(2015). A Study Of Membership Functions On Mamdani-Type Fuzzy Inference System For Industrial Decision-Making.(Yayınlanmış Doktora Tezi). Theses And Dissertations. Lehigh University.(Paper:1665)

27. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets, Information and control 8, 338-353. MathSciNet zbMATH.

28. Zarte, M., Pechmann, A., & Nunes, I. L. (2018). Sustainable Evaluation of Production Programs Using a Fuzzy Inference Model–A Concept. Procedia CIRP, 73, 241-246.

MAMDANİ-BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE BARAJ HAZNE HACMİ TAHMİNİ

Fatih UNES[1], Mohammad Bilal JALALİ[2], Bestami TASAR[3]

[1,2,3] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
Emails: fatih.unes@iste.edu.tr, mjalali.mfbe18@iste.edu.tr , bestami.tasar@iste.edu.tr

Özet

Baraj hazne hacminin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, su temini ve hazne işletme çalışmalarının yapılması açısından önemlidir. Bu çalışmada, baraj hazne hacmi tahmininde bulanık mantık ve mamdani yöntemi kullanılmıştır. Uygulama alanı olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde, Massachusetts Eyaletindeki Cambridge Barajı seçilmiştir. Bu Çalışmada 2016-2019 yılları arasındaki günlük ortalama debi(Q), sıcaklık(T) ve yağış(P) verileri model girdi parametreleri olarak seçilerek hazne hacmi tahmin edilmiştir. Elde edilen model sonuçları hazne ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hazne Hacmi, Bulanık Mantık Mamdani,

DAM RESERVOIR VOLUME ESTIMATION WITH MAMDANI-FUZZY LOGIC METHOD

Abstract

Accurate estimation of the dam reservoir volume is important for accumulating water and creating reservoirs. In this study, the dam reservoir volume was investigated by fuzzy logic mamdani method. As an area of application, the United States has been implemented for the center of Massachusetts State Bostom. The parameters of this study were chosen as flow rate (Q), average temperature (T) and precipitation (P). The volume of the reservoir was estimated using the data from (2016-2019).

Keyword(s): Reservoir Volume, Fuzzy Logic Mamdani,

1.GİRİŞ

Rezervuardaki su hacminin kontrolü, suyun doğru zamanda toplanması ve dağıtılmasıyla sağlanır. Taşkın planlaması ve yönetimi, hidrolik yapıların tasarımı ve işletimi, baraj rezervuarlarında gezinti, belediyeler ve endüstriler için su temini, sulama ve drenaj gibi zamanında olmayan önlemler ve suya bağlı sorunlar nedeniyle can ve mal kaybı olabilir. Bu nedenle, uygun bir baraj rezervuarı yönetimi sadece tatlı su temini için değil, aynı zamanda olası zararları önlemek için de bir gerekliliktir. Baraj rezervuarını en etkili şekilde yönetmenin temel şartlarından biri rezervuar su hacmini belirlemek, bu hacimdeki yükselmeleri ve çıkışları tahmin etmektir. Rezervuar seviyesindeki değişikliklerde birçok doğrudan veya dolaylı etki bulunmaktadır. Bu etkiler atmosferik, doğal, sosyal ve çevresel koşulların etkisi olarak sıralanabilir. Listelenen etkilerin alt bölümleri mevsimsel iklim değişiklikleri ve küresel ısınma, su havzasının topografyası, tatlı su talebi, su dağılımı vb. Şeklindedir. Bu etkilerin her birinin rezervuar hacmi değişimleri üzerinde farklı etkileri vardır ve analizler için dikkate alınması gerekir.

Kara kutu modelleri olarak da adlandırılan Yapay Zeka yöntemleri, son yıllarda bu yöntemlerin doğrusal olmayan problemler üzerindeki tahmin yetenekleri nedeniyle hidrolik ve su yapı planlamasında sıklıkla kullanılmaktadır. (Demirci ve Baltacı 2013, Demirci ve diğerleri, 2015a, 2015b, 2019; Kaya ve diğerleri ve, 2018; Tasar ve diğerleri, 2017, 2018).

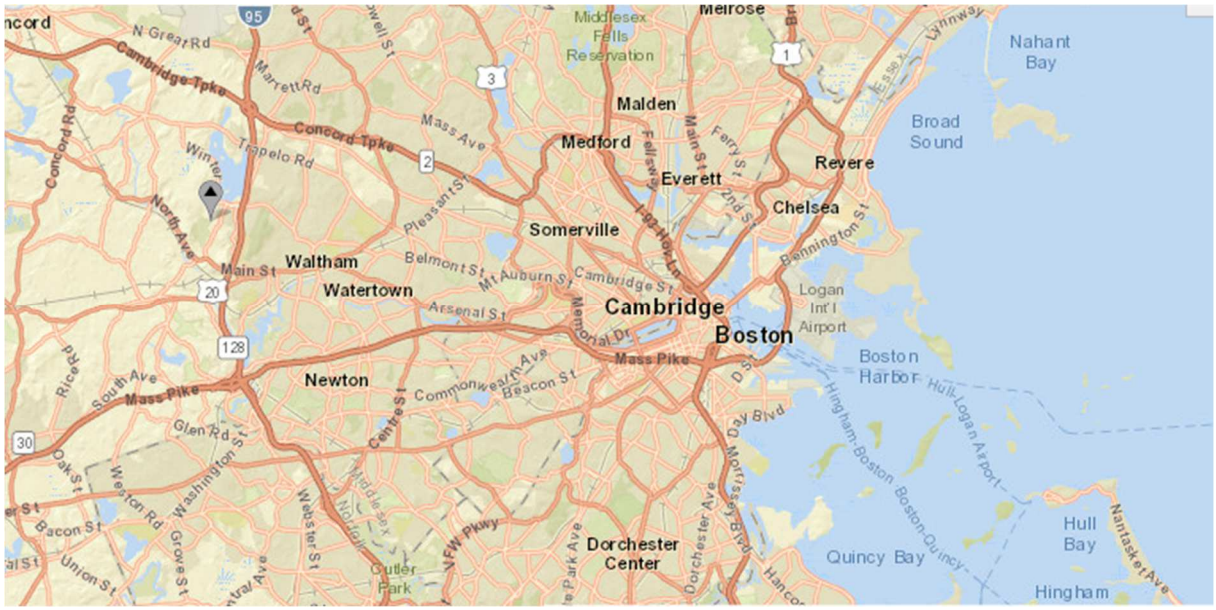
Bu çalışmanın amacı, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü (USGS)'den elde edilen 2016-2019 yılları arasındaki günlük ortalama debi (Q), sıcaklık (T) ve yağış (P) verileri model girdi parametreleri olarak seçilerek baraj hazne hacmi Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR), Sugeno-Bulanik Mantik ve Mamdani-Bulanik Mantik Yöntemleri ile tahmin edilmiştir. Unes (2010a) yapay sinir ağları ile baraj rezervuar seviyesini tahmin etmiştir. Unes (2010b) ayrıca yapay sinir ağını kullanarak baraj rezervuarında yoğunluk akımının derinlik değişimin modellemiştir. Chitsaz ve diğ. (2016) nehir akışını tahmin etmek için farklı teknikler kullanmış ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağı (GRNN), çok katmanlı algılayıcı (MLP), adaptif nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, MLP'nin ANFIS ve GRNN'den daha iyi performans gösterdiğini belirlemişlerdir. Demirci ve diğ. (2018) uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemini baraj rezervuar hacmi modellemesinde kullanmışlardır. Yin ve diğ. (2016), genel regresyon sinir ağı (GRNN), nehir akışını tahmin etmek için ileri beslemeli hata geri yayılımı (FFBP) gibi farklı GRNN modellerinin yeteneklerini karşılaştırmış, Çin'deki yarı kurak bölge için modeller oluşturulmuştur ve sonuçlar, birleşiklerin RGRNN modeli nehir akış tahmininde daha iyi performansa sahiptir. Goyal ve

diğ. (2013) rezervuar işletme kurallarının geliştirilmesi için YSA, bulanık mantık ve karar ağacı modellerini (M5T) uygulamıştır. Sattari ve arkadaşları (2013), günlük akış akışının potansiyelini araştırmak için Türkiye, Ankara, Sohi Nehri için M5T'yi kullanmışlar. Esmaeilzadeh ve diğ. (2017), Sattarkhan Rezervuar akım tahmininde YSA ve M5T model ağacını çalışmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü (USGS)'den elde edilen 2016-2019 yılları arasındaki günlük ortalama debi (Q), sıcaklık (T) ve yağış (P) verileri model girdi parametreleri olarak seçilerek baraj hazne hacmi Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR), Sugeno-Bulanik Mantik ve Mamdani-Bulanik Mantik Yöntemleri ile tahmin edilmiştir.

2. UYGULAMA ALANI

Uygulama alanı olarak, Amerika Birleşik Devletleri'nde, Massachusetts Eyaletindeki Cambridge Barajı seçilmiştir. Barajın enlem ve boylam dereceleri sırasıyla 42°23'53", 71°16'26" olarak Massachusetts Eyaletindeki Boston'da bulunmaktadır. Barajın drenaj alanı 17.76732Km^2 ' dir. Cambridge barajının genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Cambridge Barajının Genel Görünümü (USGS)

2. KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Yöntemi

Bu yöntem birden çok değişken arasındaki ilişkiyi analiz etmektedir. Tek bir değişken üzerine analiz yapılıyorsa tek değişkenli regresyon, birden çok değişken üzerine analiz yapılıyorsa çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılır. Bu yöntemde veri analizi ve istatistiklerde oldukça kullanılan bir analiz yöntemidir.Çoklu regresyon analizinde, bağımlı değişken y, bağımsız değişkenler x1, x2, ..., xp, aralarındaki ilişkiyi gösterir;

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_j x_j + \cdots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (1)$$

Burada, β0, β1, β2, βj, .., βp olarak regresyon katsayısı olarak yazılabilir. Herhangi bir βj regresyon katsayısı, y değişkeninde beklenen değişime karşı, diğer değişkenler sabit tutulduğunda (diğer değişkenlerin etkisi ortadan kalktığında), xj değişkenindeki bir birim değişikliğine neden olur. Diğer bir deyişle; Bağımsız değişkenlerin y tespitine nispi katkısı ağırlıklarıdır.

2.2. Bulanik Mantik

İlk olarak Zadeh (1965) tarafından temelleri atılan Bulanık mantık (BM), bulanık küme mantığına dayanmaktadır. BM sistemi, sinir ağı işlevsel kurallarından türetilmiş bir öğrenme algoritması ile çalışır. Bulanık çıkarım sisteminin parametreleri sinir ağı öğrenme algoritmalarıyla belirlenir. Bulanık bir kural tabanlı sistemde, Mamdani ve Sugeno gibi farklı analiz yöntemleri uygulanabilir. Mamdani tipi Bulanık mantık (M-BM), 1975 yılında Ebhasim Mamdani tarafından önerilmiştir. Çıktının hesaplanması için uygulanan adımlar genel olarak sıra ile verilmiştir. İlk olarak bulanık kuralların belirlenmesi gerekir. Daha sonra, giriş üyeliği işlevini kullanarak, giriş bulanıklaştırılır. Bulanıklaştırılmış girdileri bulanık kurallara göre birleştirerek kural gücünü belirlenir. Kural gücünü ve çıktı üyeliği işlevini birleştirerek kuralın sonucunu belirlenir. Çıkış doğru tahmin elde etmek için tüm sonuçları birleştirilir. Sonuçta, hedeflenen bir çıktı dağılımı elde edilir.

Sugeno tipi Bulanık mantık (S-BM) "Eğer-ise" kuralına göre çalışır ve BM yapısı Sugeno-Bulanık kurallarını kullanır. "Eğer-ise" kuralına göre, eğer x, A1 ise, y, B1'dir; burada A1 ve B1, bulanık kümeler tarafından tanımlanan dilsel değerlerdir. “If-Then” kuralları ve üyelik fonksiyonlarından oluşan mantıksal modeller içeren bulanık sistemler tanıtmak mümkündür. Daha fazla bilgi için, araştırmacılar Jang (1993)'a erişebilir .

3. YÖNTEM SONUÇLARI

3 yıllık veriler için oluşturulan modellemelerin sırasıyla çoklu lineer regresyon analizi (ÇLR) Sugeno-Bulanik Mantik (S-BM) ve Mamdani-Bulanik Mantik Yöntem (M-BM) sonuçları aşağıdaki gibidir. Her bir model için ortalama karesel hata (MSE), ortalama mutlak

hata (MAE) ve Ölçüm değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (R) hesaplanmıştır. MSE ve MAE aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$MSE = \frac{1}{N} * \left(\sum_{i=1}^{N} Yi_{gözlenen} - Yi_{tahmin}\right)^2 \quad (1)$$

ve

$$MAE = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} \left|Yi_{gözlenen} - Yi_{tahmin}\right| \quad (2)$$

Burada N veri sayılarını ve Y_i rezervuar hacmi (RH) verilerini göstermektedir.

Çalışmada kullanılan BM ve ÇLR modellerine ait istatistiksel MSE, MAE ve R değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Genel Değerlendirme

ÇLR S-BM ve M-BM modellerinin performans değerlendirmesi için korelasyon katsayısı (R), (MSE) ve (MAE) hesaplanmıştır. Sonuçlar, model tahmininin performansında ve gözlem verilerinin karşılaştırılması için kullanılmıştır

Çizelge 1. BM ve ÇLR modellerinin performans karşılaştırılması

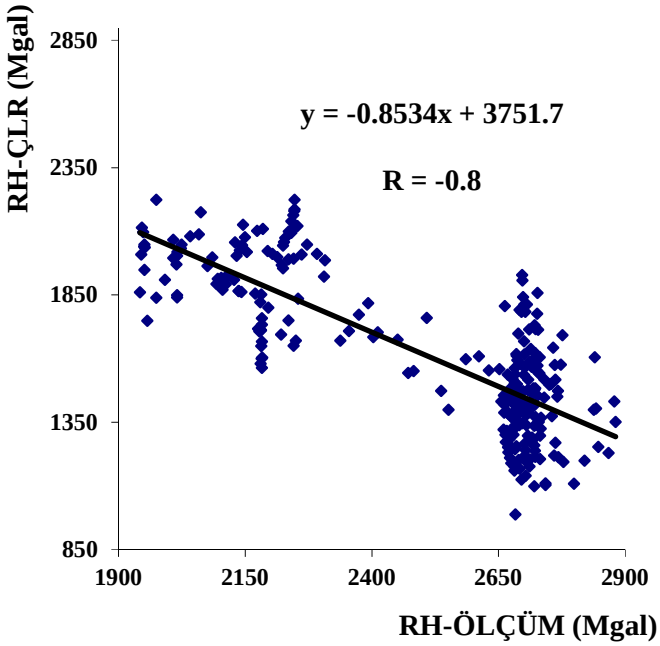
Model	MSE	MAE	R
ÇLR	1237271	1103	0.80
S-BM	535446	648	0.40
M-BM	398787	544	0.91

MSE: Ortalama karesel hata, MAE: Mutlak ortalama hata, R: Korelasyon katsayısı

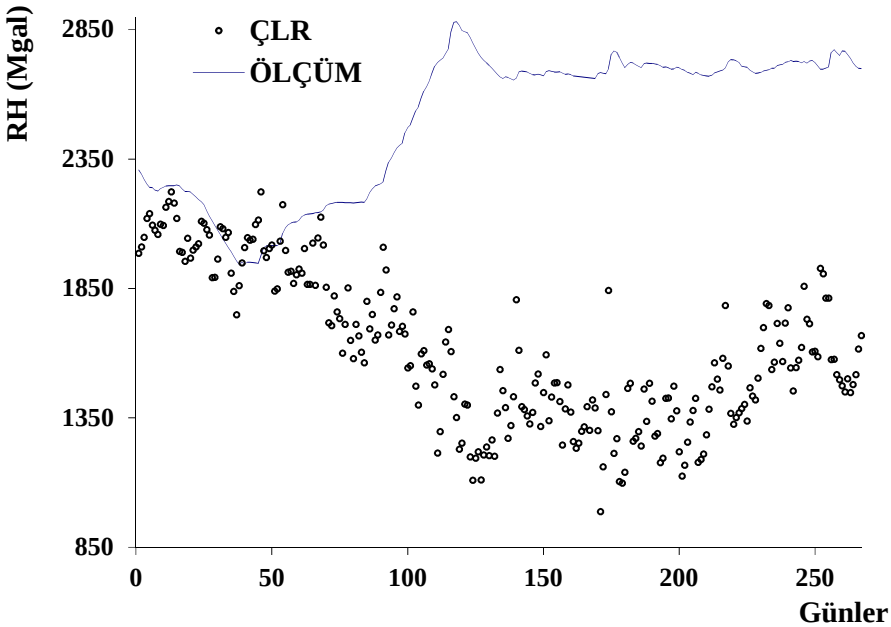
Bu çalışmada Cambridge barajının sıcaklık, yağış, debi miktarları kullanılarak baraj rezervuar hacmi (RH) tahmin edilmiştir. ÇLR ve BM modellerinde toplam 1083 verinin 816 verisi eğitim için 267 verisi de test için uygulanmıştır. Model ile elde edilen sonuçlar ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda Çizelge 1'de verilmiştir.

3. 1. Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Sonuçları

Bu çalışmada ÇLR model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen günlük akım debisi (Q), Sıcaklık (S), Yağış (Y) Baraj rezervuar hacmi tahmininde kullanılmıştır.
ÇLR model dağılım ve saçılım grafikleri aşağıda verilmiştir. Buna göre, ÇLR yöntemi saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile Şekil 2. ve 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Baraj rezervuar hacmi (RH) test verileri için Ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği



Şekil 3. Baraj rezervuar hacmi (RH) test verileri için Ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği

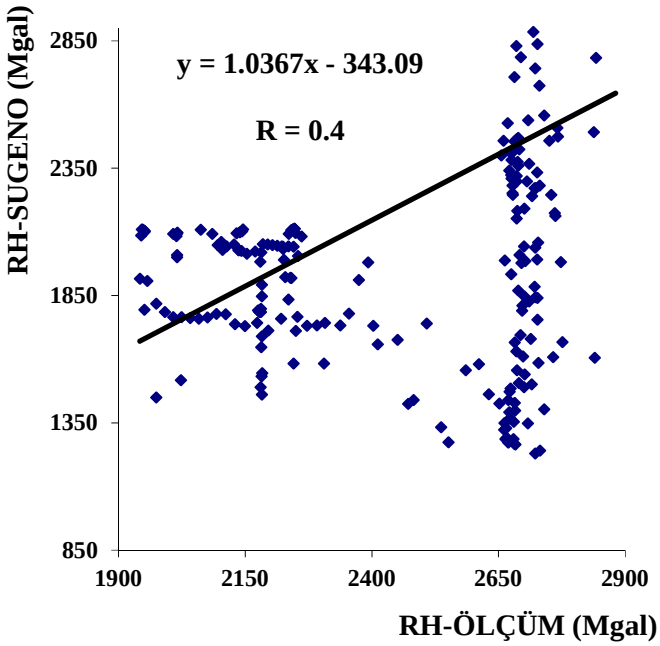
Bu çalışma için elde edilen ÇLR yönteminde test verileri için ayrı ayrı tahmin sonuçları ve ölçülmüş baraj rezervuar hacmi (RH) Şekil 2. ve 3.'de görülmektedir. Tablo 1.'den, Şekil 2.

ve 3.'den da görüldüğü gibi, ÇLR modeli test verileri için uygulandığında 0.80' lik bir determinasyona sahip olmakla beraber ve negatif korelasyona sahip olduğu görülmektedir.

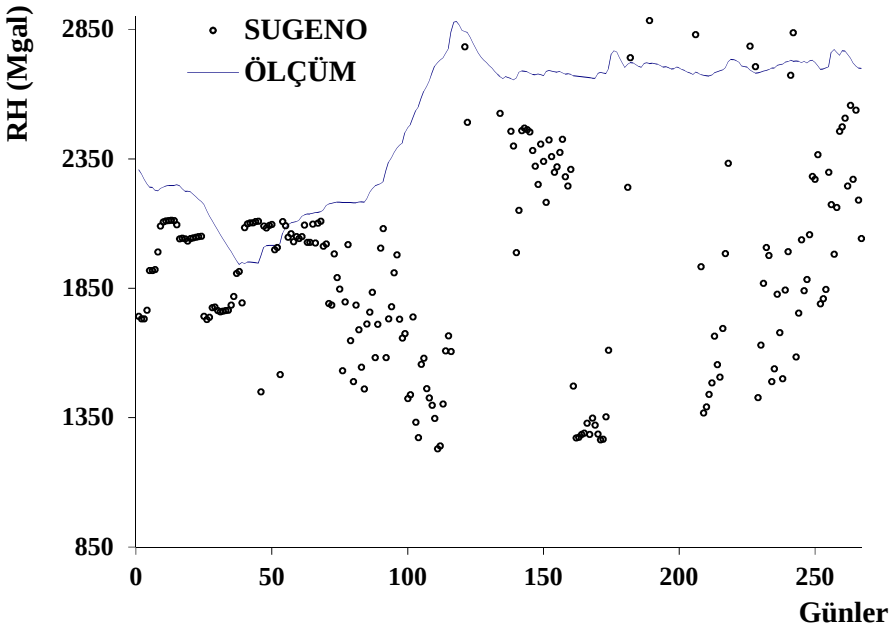
3.2. Sugeno-Bulanik Mantik (S-BM) Sonuçları

Bu çalışmada Sugeno-Bulanik Mantik (S-BM) model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen günlük akım debisi (Q), Sıcaklık (S), Yağış (Y) Baraj rezervuar hacmi tahmininde kullanılmıştır.

S-BM model dağılım ve saçılım grafikleri aşağıda verilmiştir. S-BM yöntemi saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile Şekil 4. ve 5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Baraj rezervuar hacmi (RH) test verileri için Ölçüm ve S-BM saçılım grafiği



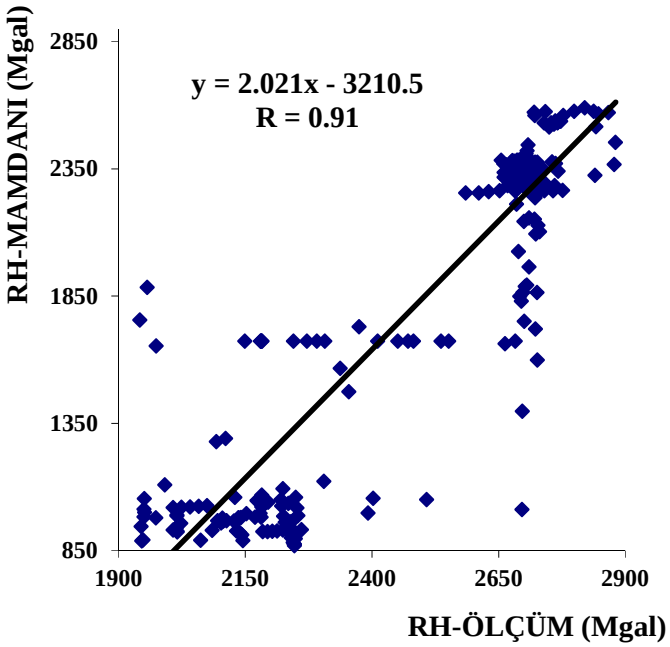
Şekil 5. Baraj rezervuar hacmi (RH) test verileri için Ölçüm ve S-BM dağılım grafiği

Bu çalışma için elde edilen S-BM yönteminde test verileri için ayrı ayrı tahmin sonuçları ve ölçülmüş baraj rezervuar hacmi (RH) Şekil 4. ve 5.'de görülmektedir. Tablo 1.'den, Şekil 4. ve 5.'den da görüldüğü gibi, S-BM modeli test verileri için uygulandığında 0.40' lük bir determinasyona sahip olmakla beraber ve pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Tablo 1.'de görüldüğü gibi S-BM yöntemi ÇLR yöntemine göre daha düşük korelasyonu(R) elde edilmiştir.

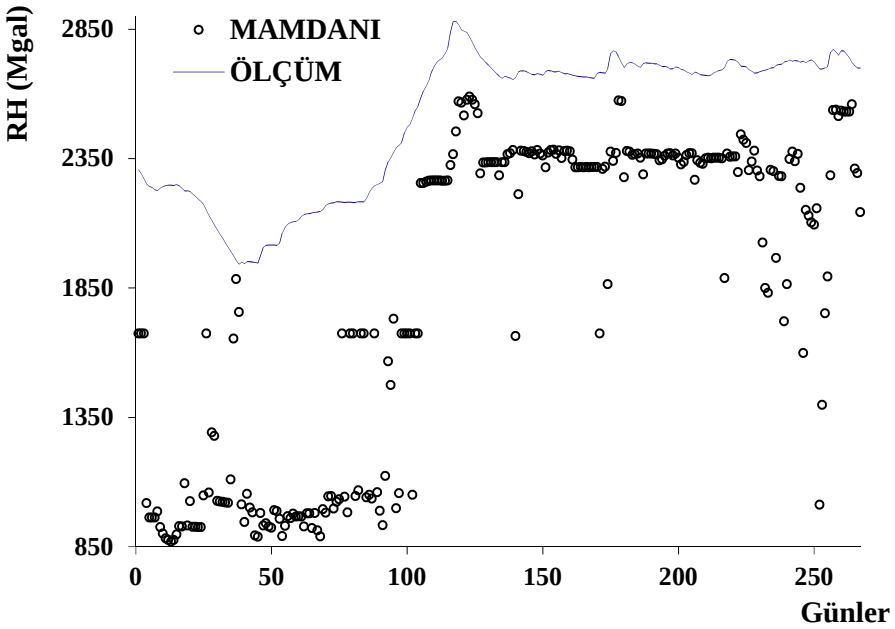
3.3. Mamdani-Bulanik Mantik (M-BM) Sonuçları

Bu çalışmada Mamdani-Bulanik Mantik (B-BM) model uygulamalarında USGS den elde edilen ve düzenlenen günlük akım debisi (Q), Sıcaklık (S), Yağış (Y) Baraj rezervuar hacmi tahmininde kullanılmıştır.

B-BM model dağılım ve saçılım grafikleri aşağıda verilmiştir. B-BM yöntemi saçılım ve dağılım grafikleri sırası ile Şekil 6. ve 7.'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Baraj rezervuar hacmi (RH) test verileri için Ölçüm ve M-BM saçılım grafiği



Şekil 7. Baraj rezervuar hacmi (RH) test verileri için Ölçüm ve M-BM dağılım grafiği

Bu çalışma için elde edilen M-BM yönteminde test verileri için ayrı ayrı tahmin sonuçları ve ölçülmüş baraj rezervuar hacmi (RH) Şekil 6. ve 7.'de görülmektedir. Tablo 1.'den, Şekil 6. ve 7.'den da görüldüğü gibi, M-BM modeli test verileri için uygulandığında 0.91' lik bir determinasyona sahip olmakla beraber ve pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Tablo 1.'de görüldüğü gibi M-BM yöntemi ÇLR ve S-BM yöntemine göre daha yüksek korelasyonu (R) elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu Çalışmada Cambridge Barajın 2016-2019 yılları arasındaki günlük debi(Q), sıcaklık(T) ve yağış(P) verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Rezervuar tahmini için M-BM, ÇLR ve S-BM modelleri kullanılmış ve modellerin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Rezervuar tahmini için MSE, MAE değerleri ve yüksek korelasyon sağlayabilmiştir. Bu çalışmada M-BM yöntemi ÇLR ve S-BM modelinden daha iyi sonuç vermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada USGS'den hidrolojik veriler elde edilmiştir. Yazarlar, hidrolojik verilerin ölçülmesi ve aktarılmasında rol alan USGS teknik ekibine teşekkür etmektedir.

KAYNAKLAR

Chitsaz N, Azarnivand A, Araghinejad S (2016): Pre-processing of data-driven river flow forecasting models by singular value decomposition (SVD) technique. – Hydrol Sci J 61(12): 2164–2178.

Demirci M., Baltaci A. (2013): Prediction of suspended sediment in river using fuzzy logic and multilinear regression approaches. –Neural Computing and Applications 23(1): 145-151.

Demirci M., Unes F., Saydemir S. (2015a): Suspended sediment estimation using an artificial intelligence approach. Sediment Matters, Springer: 83-95.

Demirci M., Unes F., Aköz M.S. (2015b): Prediction of cross-shore sandbar volumes using neural network approach. –Journal of Marine Science and Technology 20(1): 171-179.

Demirci, M., Unes, F., Kaya, Y. Z., Tasar, B., Varcin, H. (2018): Modeling of Dam Reservoir Volume Using Adaptive Neuro Fuzzy Method. – Aerul si Apa. Componente ale Mediului: 145-152.

Demirci M., Unes F., Körlü S. (2019): Monthly Groundwater Level Modeling of Reyhanli Region in Turkey using Artificial Intelligence Techniques. – Applied Ecology and Environmental Research 17(2):2651-2663.

Esmaeilzadeh, B., Sattari, M. T., & Samadianfard, S. (2017): Performance evaluation of ANNs and an M5 model tree in Sattarkhan Reservoir inflow prediction. – ISH Journal of Hydraulic Engineering 23(3): 283-292.

Goyal, M. K., Ojha, C. S. P., Singh, R. D., Swamee, P. K., & Nema, R. K. (2013): Application of ANN, fuzzy logic and decision tree algorithms for the development of reservoir operating rules. Water resources management 27(3): 911-925.

Jang, J.S.R., 1993. NF: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Trans Syst Manage Cybernet 23 (3), 665–85.

Kaya, Y. Z., Üneş, F., Demirci, M., Taşar, B., Varçin, H. (2018): Groundwater Level Prediction Using Artificial Neural Network and M5 Tree Models. Aerul si Apa. Componente ale Mediului: 195-201.

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International journal of man-machine studies, 7(1), 1-13.

Sattari, M. T., Pal, M., Apaydin, H., Ozturk, F. (2013): M5 model tree application in daily river flow forecasting in Sohu Stream, Turkey. Water Resources 40(3): 233-242.

Tasar B., Unes F., Demirci M., Kaya Y.Z. (2018): Yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak buharlaşma miktarı tahmini. – DÜMF Mühendislik Dergisi 9(1): 543-551.

Tasar B., Kaya Y. Z., Varçin H., Unes F., Demirci M. (2017): Forecasting of suspended sediment in rivers using artificial neural networks approach. – International Journal of Advanced Engineering Research and Science 4(12): 79-84.

Unes F. (2010a), Dam reservoir level modelıng by neural network approach: a case study. – Neural Network World 4(10): 461.

Unes F. (2010b): Prediction of density flow plunging depth in dam reservoirs: an artificial neural network approach. – Clean–Soil, Air, Water 38(3): 296-308.

USGS.gov | Science for a changing world [www document], n.d. URL https://www.usgs.gov/

Yin S, Tang D, Jin X, Chen W, Pu N (2016): A combined rotated general regression neural network method for river flow forecasting. – Hydrol Sci J 61(4): 669–682

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and control, 8(3), 338-353.

iSTE-CE'2019- International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering
13-15 June, 2019, Iskenderun, Hatay / TURKEY

METEROLOJİK ÖLÇÜM VERİLERİNİ KULLANARAK MAMDANİ-BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE RÜZGAR HIZININ TAHMİNİ

Fatih UNES[1], Didem KASAL[2], Bestami TASAR[3]

[1,2,3]Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey

Emails: fatih.unes@iste.edu.tr, didem.kasal@hotmail.com, bestami.tasar@iste.edu.tr

Özet

Yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinden maksimum seviyede yararlanabilmek, kontrolünü sağlamak ve izlemek için rüzgâr hızı tahmini önemlidir. Bu çalışmada, rüzgar hızını etkileyen faktörler bulanık mantık ile tahmin üzerine çalışılmıştır. Uygulama alanı olarak, Amerika Birleşik Devletine ait Nevada bölgesi kullanılmıştır. Ortalama buharlaşma (ET), hava sıcaklığı (T) gibi hidrolojik parametreleri içeren 2010-2012 yılları arasındaki 2 yıllık veriler rüzgâr hızını (RH) tahmin etmek için girdi verileri olarak kullanılmıştır. Sonuçların tahmin edilebilmesi için geçmiş yılların verilerinden yardım alınmıştır. Bulanık Mantık Mamdani (M-BM) ve Bulanık Mantık Sugeno (S-BM) metotları ile Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) yöntemi kullanılarak rüzgar tahmininde bulunuldu ve sonuçlar arazi gözlem dataları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tahmin, Rüzgar Hızı, Bulanık Mantık, Mamdani, Sugeno

ESTIMATION OF WIND SPEED BY USING METEOROLOGICAL MEASUREMENT DATA WITH MAMDANI-FUZZY LOGIC METHOD

Abstract

Wind speed estimation is important for maximum utilization, control and monitoring of wind energy, which is a renewable energy source. In this study, factors affecting wind speed were studied with fuzzy logic. Nevada State of the United States of America was used as an application area. The 2-years daily data, between the years 2010-2012, including the average air temperature (T), evapotranspiration (ET) were used as input data to estimate the wind speed (RH). In order to be able to estimate the results, the data of the previous years were obtained. Wind estimation was performed by using Fuzzy Logic Mamdani (M-BM) and fuzzy Logic Sugeno methods by Multiple Linear Regression (MLR) method and the results were compared with the field observation data.

Keyword(s): Estimation, Wind Speed, Fuzzy Logic, Mamdani, Sugeno

1.GİRİŞ

Rüzgar, atmosferin ısınması ve soğumasından kaynaklanan sıcaklık ve basınç farkından dolayı yer değiştiren havanın, dünya yüzeyine göre bağıl olarak yaptığı harekettir (Kurban ve ark., 2005). Açık denize kıyısı olan bölgeler rüzgar hızı açısından zengindir. Tükenmez bir güç olan rüzgar hızının verimli kullanılabilmesi için bir yerde toplanabilmesi gereklidir. Rüzgar hızı hammadde maliyeti olmaması sebebiyle avantajlı bir enerji kaynağıdır. Rüzgar hızının tahmini, toplam enerji kapasitesini hesaplamak ve yenilenebilir enerji kaynağı olan rüzgâr enerjisinden maksimum seviyede yararlanabilmek, kontrolünü sağlamak ve günlük değişimini izlemek için rüzgâr hızı tahmini önemlidir. Nüfusu artan ve küreselleşen Dünya'da doğaya hiçbir tehlikesi olmayan rüzgar enerjisi önem kazanmıştır. Rüzgar enerjisinin en verimli şekilde üretilebilmesi için rüzgar hızının bilinmesine ihtiyaç vardır.

Rüzgar hızı birçok farklı yöntemle tahmin edilmiş ve üzerinde çalışılan bir konudur. Yagci (2013), rüzgar hızı yükseltmelerinde kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırılması ve hata analizlerini araştırmıştır. Liu ve ark. (2012), rüzgar hızı tahmini için iki yeni ARIMA-YSA ve ARIMA-Kalman hibrit yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine çalışmışlardır. Salcedo-Sanz vd. (2011) evrimsel destek vektör regresyon algoritmalarına dayalı kısa vadeli rüzgar hızı tahmini yapmışlardır. Gulersoy T. ve S.Cetin N. (2010), Menemen Bölgesinde rüzgar türbinleri için Rayleigh ve Weibull dağılımlarını kullanmıştır. Lei ve ark (2009), rüzgar hızı ve üretilen gücün tahmini üzerine bir incelemede bulunmuşlardır. Barbunis ve ark (2007), mekansal korelasyon kullanarak rüzgar hızı tahmini için yerel olarak tekrarlayan sinir ağlarından yararlanmışlardır. Bilgili ve ark. (2007), yapay istasyon ağlarının referans istasyon verileri kullanılarak hedef istasyonun rüzgar hızı tahmini için uygulaması adlı çalışmayı yapmışlardır. Mohandes ve ark. (2004), ise rüzgar hızı tahmini için destek vektör makinelerinden yararlanmıştır. Damousis ve ark mekansal korelasyon kullanarak rüzgar parklarında rüzgar hızı tahmini ve güç üretimi için bulanık bir model üzerine çalışmışlardır.

Tahminler için son zamanlarda yapay zekaya dayalı yeni yöntemler geliştirilmiştir. Yapay zekanın iyi sonuçlar verdiğini gözlemleyen bilim insanları bunlarla ilgili çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bunlardan birisi de Fuzzy-Bulanık mantıktır. Bir çok alanda kullanılmıştır. Demirci ve ark. (2018) adaptif neuro fuzzy yöntemi kullanarak baraj hacminin modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Unes ve arkadaşları (2017) ise uyarlamalı nöro bulanık yaklaşımı kullanarak baraj rezervuarındaki değişim tahminini yapmışlardır.

Bu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'nin Nevada bölgesinde rüzgar hızı tahmini için Fuzzy-Bulanık Mantık modellemesi tanıtılmış ve performası ortaya koyulmuştur. Bulanık mantık metotlarından olan Mamdani ve Sugeno yöntemleri kullanılmıştır. Bu metotlara ek olarak Çoklu Lineer Regrasyon (ÇLR) ile hata oranları bulunmuştur. Ortalama buharlaşma (ET), hava sıcaklığı (T) gibi hidrolojik parametreleri içeren 2010-2012 yılları arasındaki 2 yıllık veriler rüzgâr hızını (RH) tahmin etmek için girdi verileri olarak kullanılmıştır. Bulanık

Mantık metotlarından Mamdani ve Sugeno ile ÇLR modeliyle tahmin edilmiştir ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

2. UYGULAMA ALANI

Uygulama alanı olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin Nevada eyaletindeki istasyon seçilmiştir. Nevada (NV), Amerika Birleşik Devletleri'nin güneybatısında yer alan bir eyalettir. Nevada eyaletinin enlem ve boylamı sırasıyla 39° 15' 1" N / 116° 45' 4" W. Çalışmada kullanılan Mead Boulder Göl Havzası ST İstasyonunun genel görünümü Şekil 1'de verilmiştir.

Şekil 1. Mead Boulder Göl Havzası ST İstasyonu

Bu çalışmada Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü elde edilen ortalama buharlaşma ve hava sıcaklığı verileri girdi olarak kullanılarak rüzgar hızı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

2. YÖNTEMLER

2.1. Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Yöntemi

Bir bağımlı değişkenin buna bağlı bağımsız değişkenler ile arasındaki ilişkiyi analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir. Tek değişkenli ve çok değişkenli olarak iki çeşidi vardır. Çoklu Lineer Regresyon birden fazla bağımsız değişkenin bir bağımlı değişken ile arasındaki

doğrusal bağıntı ile ilgilenir. İstatiksel olarak sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bağımsız değişkenlere X, bağımlı değişkene Y diyecek olursak aşağıdaki gösterilen şekilde formülize edilebilir.

$$y = A_0 + A_1 * X_1 + A_2 * X_2 .... + A_i * X_i + B \quad \textbf{(1)}$$

2.2. Sugeno-Bulanık Mantık Metodu

Sugeno Bulanık Mantık metodunda bulanık girdilerin oluşturulup alt üyelik fonksiyonlarının girilmesi Mamdani yöntemi ile aynıdır.Mamdaniden farklı olarak çıktı değerlerini kendisi atar."Eğer/ise kuralı ile çalışır ve bulanık mantığın temeli yöntemiyle çalışır. “If-Then” kuralları ve üyelik fonksiyonlarından oluşan mantıksal modeller içeren bulanık sistemler tanıtmak mümkündür.

2.3. Mamdani-Bulanık Mantık Metodu

Mamdanide elle eğitme işlemi yapıldığından oldukça gerçeğe yakın değerler bize sunmaktadır. Mamdani metodu yaygın olarak kabul görmektedir. Girdi ve çıktı değerleri ile alt üyelik fonksiyonları oluşturulur. If/and kullanılarak çıktı değerlerini ölçüm verilerine yakın olacak şekilde tahmin etmeye çalışırız. Yapılan elle eğitme teknikleri, üyelik fonksiyonlarını kişiselleştirir, böylece bulanık sistem verilerini en iyi şekilde modelleyebiliriz. Mamdani net çıktıların bulanık girdilerle elde edilme metodudur.

3. MODEL SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

2 yıllık veriler için oluşturulan modellemelerin sırasıyla Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) analizi Sugeno-Bulanık Mantık (S-BM) ve Mamdani-Bulanık Mantık Yöntem (M-BM) sonuçları aşağıdaki gibidir. Her bir model için ortalama karesel hata (MSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve Ölçüm değerleri arasındaki korelasyon katsayıları (R) hesaplanmıştır. MSE ve MAE aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$MSE = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} (RH_{gözlenen} - RH_{tah\min})^2 \qquad (1)$$

ve

$$MAE = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} \left| RH_{gözlenen} - RH_{tah\min} \right| \qquad (2)$$

Burada N veri sayılarını ve Y_i rüzgar hızı (RH) verilerini göstermektedir.

Bu çalışmada Mead Boulder Göl Havzası ST İstasyonu ortalama buharlaşma, hava sıcaklığı kullanılarak baraj rüzgar hızı tahmin edilmiştir. ÇLR ve BM modellerinde toplam 697 verinin 557 verisi eğitim için 140 verisi de test için uygulanmıştır. Model ile elde edilen sonuçlar ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. BM ve ÇLR modellerinin performans karşılaştırılması

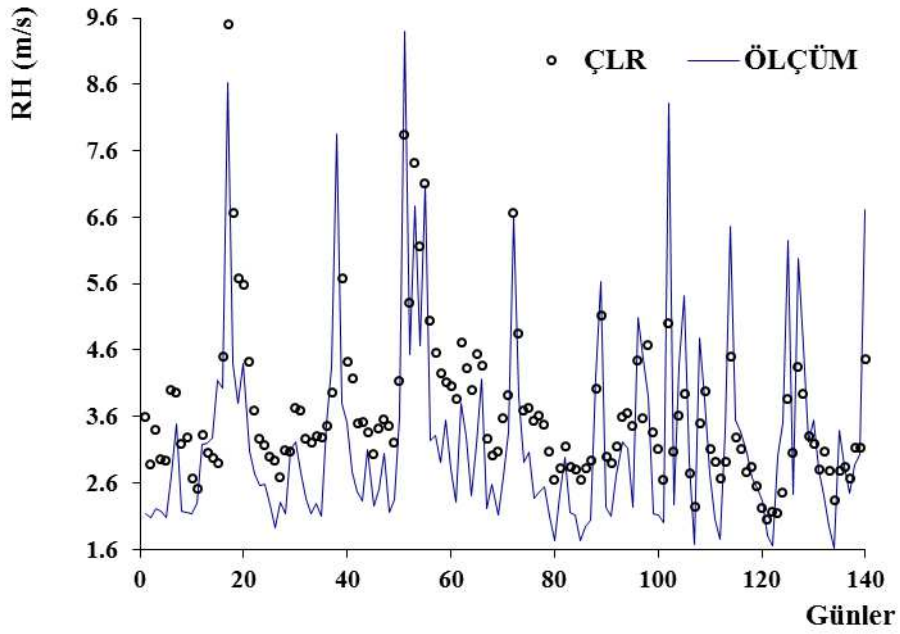
Model	MSE	MAE	R
ÇLR	0.975	0.825	0.80
S-BM	0.986	0.775	0.83
M-BM	1.803	1.170	0.84

MSE: Ortalama karesel hata, MAE: Mutlak ortalama hata, R: Korelasyon katsayısı

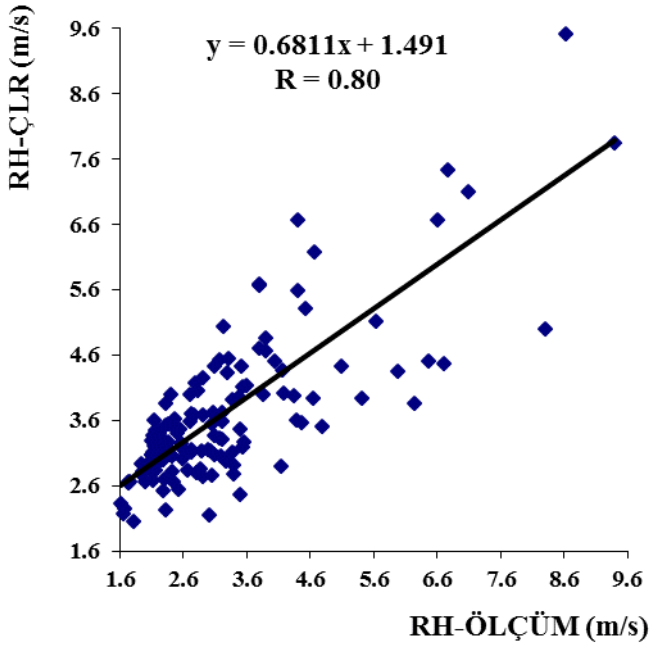
Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Sugeno Bulanık Mantık (S-BM) ve Mamdani Bulanık Mantık (M-BM) modellerinin performans değerlendirmesi için korelasyon katsayısı (R), ortalama karesel hata (MSE) ve mutlak ortalama hata (MAE) hesaplanmıştır. Sonuçlar, model tahmininin performansında ve gözlem verilerinin karşılaştırılması için kullanılmıştır.

3.1. Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Sonuçları

Bu çalışmada ÇLR model uygulamalarında USGS'den elde edilen ve düzenlenen Ortalama Buharlaşma (ET), Hava Sıcaklığı (T) Rüzgar Hızı (RH) tahmininde kullanılmıştır. ÇLR model dağılım ve saçılım grafikleri aşağıda verilmiştir. Buna göre, ÇLR yöntemi dağılım ve saçılım grafikleri sırası ile Şekil 2. ve 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.Rüzgar Hızı (RH) test verileri için Ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği

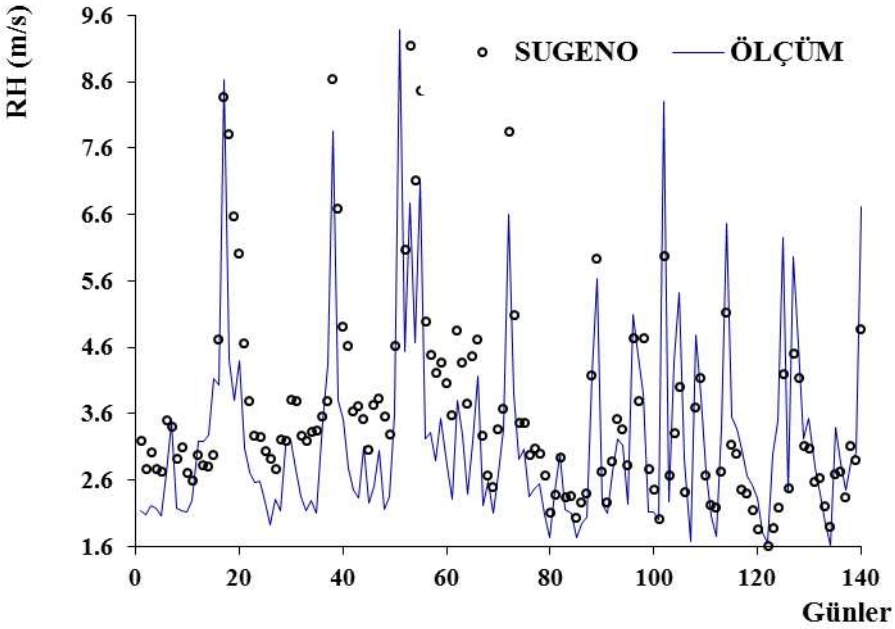


Şekil 3.Rüzgar Hızı (RH) test verileri için Ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği

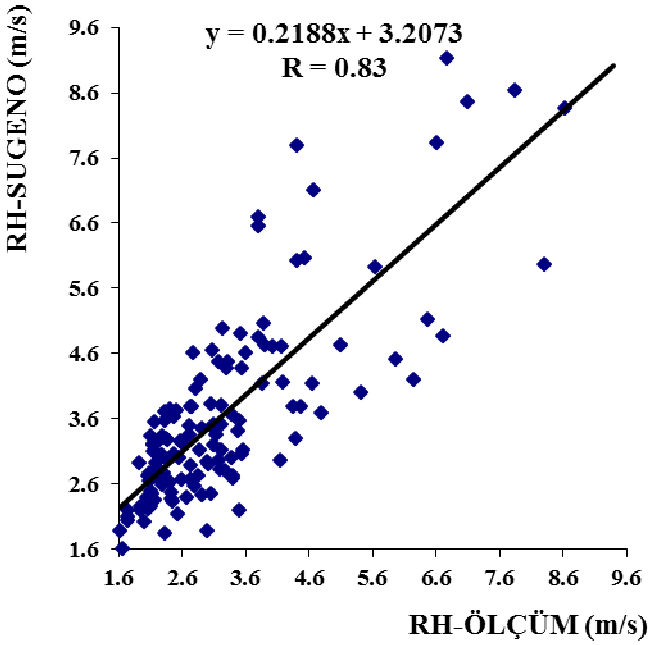
Bu çalışma için elde edilen ÇLR yönteminde test verileri için ayrı ayrı tahmin sonuçları ve ölçülmüş buharlaşma miktarları Şekil 2. ve 3.'de görülmektedir. Tablo 1.'den, Şekil 2. ve 3.'den da görüldüğü gibi, ÇLR modeli test verileri için uygulandığında 0.80' lük bir korelasyona sahip olduğu görülmektedir.

3.2. Sugeno-Bulanık Mantık (S-BM) Sonuçları

S-BM model uygulamalarında ÇLR modelinde olduğu gibi Ortalama Buharlaşma (ET), Hava Sıcaklığı (T) Rüzgar Hızı (RH) tahmininde kullanılmıştır. S-BM model dağılım ve saçılım grafikleri aşağıda verilmiştir. Buna göre, S-BM yöntemi dağılım ve saçılım grafikleri sırası ile Şekil 4. ve 5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Rüzgar Hızı (RH) test verileri için Ölçüm ve M-BM dağılım grafiği

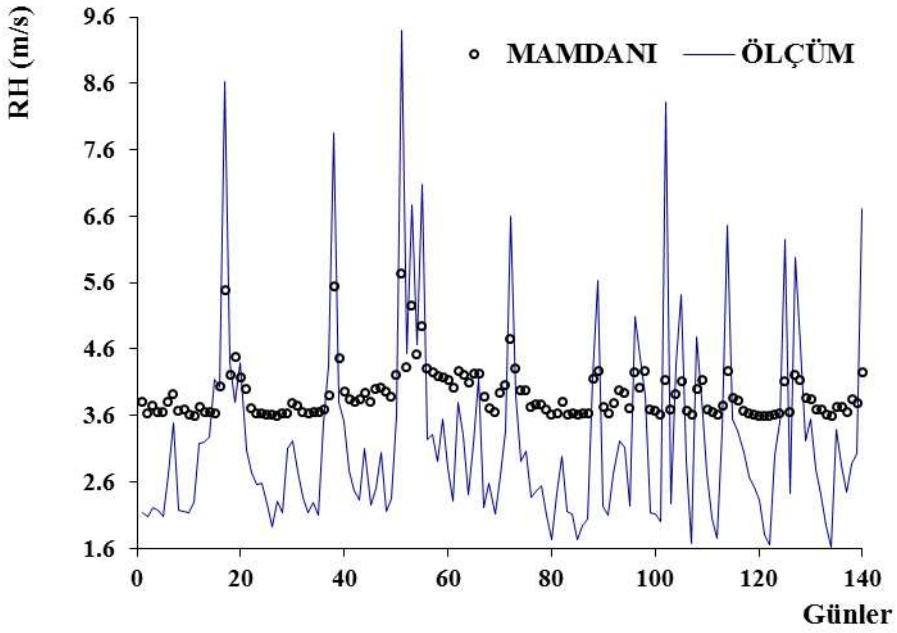


Şekil 5.Rüzgar Hızı (RH) test verileri için Ölçüm ve M-BM saçılım grafiği

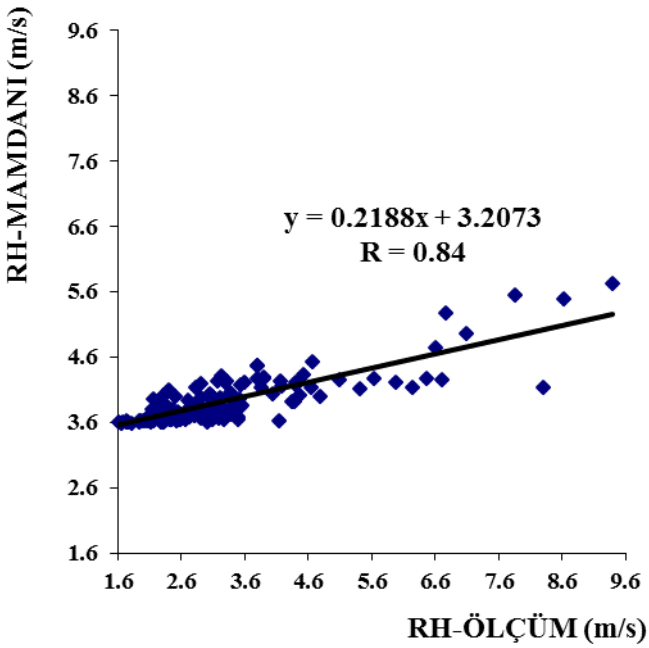
Bu çalışma için elde edilen S-BM yönteminde test verileri için ayrı ayrı tahmin sonuçları ve ölçülmüş Rüzgar Hızı (RH) Şekil 4. ve 5.'de görülmektedir. Tablo 1.'den, Şekil 4. ve 5.'den de görüldüğü gibi, S-BM modeli test verileri için uygulandığında 0.83'lük bir korelasyona sahip olmakla beraber ve pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Tablo 1.'de görüldüğü gibi S-BM yöntemi, ÇLR yöntemine göre daha yüksek korelasyon (R) vermiştir.

3.3. Mamdani-Bulanık Mantık Sonuçları

Bu çalışmada Mamdani-Bulanık Mantık (M-BM) model uygulamalarında USGS'den elde edilen ve düzenlenen ortalama buharlaşma (ET), hava sıcaklığı (T) Rüzgar hızı (W) tahmininde kullanılmıştır. Mamdani Bulanık Mantık (M-BM) model dağılım ve saçılım grafikleri aşağıda verilmiştir. M-BM yöntemi dağılım ve saçılım grafikleri sırası ile Şekil 6. ve 7.'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Rüzgar Hızı (RH) test verileri için Ölçüm ve M-BM dağılım grafiği



Şekil 7. Rüzgar Hızı (RH) test verileri için Ölçüm ve M-BM saçılım grafiği

Bu çalışma için elde edilen M-BM yönteminde test verileri için ayrı ayrı tahmin sonuçları ve ölçülmüş Rüzgar Hızı (RH) Şekil 6. ve 7.'de görülmektedir. Tablo 1.'den, Şekil 6. ve 7.'den de görüldüğü gibi, M-BM modeli test verileri için uygulandığında 0.84'lük bir korelasyona sahip olmakla beraber ve pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Tablo 1.'de görüldüğü gibi M-BM yöntemi, ÇLR yöntemine göre daha yüksek korelasyon (R) vermiştir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çoklu lineer regresyon (ÇLR), Bulanık Mantık Sugeno (S-BM) ve Bulanık Mantık Mamdani (M-BM) metotları kullanılarak rüzgar hızı tahmininde bulunmuştur Bulanık mantık modelleri, rüzgar hızı tahmini sırasındaki performansı araştırılmıştır. Ortalama buharlaşma (ET), hava sıcaklığı (T) gibi hidrolojik parametreleri içeren 2010-2012 yılları arasındaki 2 yıllık veriler rüzgâr hızını (RH) tahmin etmek için girdi verileri olarak kullanılmıştır. İstatistiksel performans değerlendirme ölçütü olarak korelasyon katsayısı (R), ortalama karesel hata (MSE), ortalama mutlak hata (MAE) kullanılmıştır. Bu çalışma neticesinde, rüzgar hızı tahmini için ÇLR ve BM modelleri iyi performans göstermişlerdir. Tablo ve şekillerden görüldüğü üzere S- BM ve M-BM yöntemleri, ÇLR yöntemine göre daha yüksek korelasyon (R) vermiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada USGS'den hidrolojik veriler elde edilmiştir.Yazarlar, hidrolojik verilerin ölçülmesi ve aktarılmasında rol alan USGS teknik ekibine teşekkür etmektedir.

KAYNAKLAR

1.Yağcı, E. (2013). Rüzgâr Hızı yükseltmelerinde kullanılan farklı yöntemlerin karşılaştırılması ve hata analizleri (Doctoral dissertation, Enerji Enstitüsü).

2.Gülersoy, T., & Çetin, N. S. (2010). Menemen bölgesinde rüzgar türbinleri için Rayleigh ve Weibull dağılımlarının kullanılması. Politeknik Dergisi, 13(3), 209-213.

3.Kurban, M., Kanta, Y. M., & Hocaoglu, F. O. (2007). Weibull Dağılımı Kullanılarak Rüzgar Hız ve Güç Yoğunluklarının İstatistiksel Analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(2), 205-218.

4.Mohandes, M. A., Halawani, T. O., Rehman, S., & Hussain, A. A. (2004). Support vector machines for wind speed prediction. Renewable Energy, 29(6), 939-947.

5.Mohandes, M. A., Rehman, S., & Halawani, T. O. (1998). A neural networks approach for wind speed prediction. Renewable Energy, 13(3), 345-354.

6.Bilgili, M., Sahin, B., & Yasar, A. (2007). Application of artificial neural networks for the wind speed prediction of target station using reference stations data. Renewable Energy, 32(14), 2350-2360.

7.Lei, M., Shiyan, L., Chuanwen, J., Hongling, L., & Yan, Z. (2009). A review on the forecasting of wind speed and generated power. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(4), 915-920.

8.Demirci, M., Unes, F., Kaya, Y. Z., Tasar, B., & Varcin, H. (2018). Modelıng of Dam Reservoır Volume Usıng Adaptıve Neuro Fuzzy Method. Aerul si Apa. Componente ale Mediului, 145-152.

9.Unes, F. (2017). Prediction of Dam Reservoir Volume Fluctuations Using Adaptive Neuro Fuzzy Approach. EJENS, 2(1), 144-148.

10.Liu, H., Tian, H. Q., & Li, Y. F. (2012). Comparison of two new ARIMA-ANN and ARIMA-Kalman hybrid methods for wind speed prediction. Applied Energy, 98, 415-424.

11.Barbounis, T. G., & Theocharis, J. B. (2007). Locally recurrent neural networks for wind speed prediction using spatial correlation. Information Sciences, 177(24), 5775-5797.

12.Salcedo-Sanz, S., Ortiz-Garcı, E. G., Pérez-Bellido, Á. M., Portilla-Figueras, A., & Prieto, L. (2011). Short term wind speed prediction based on evolutionary support vector regression algorithms. Expert Systems with Applications, 38(4), 4052-4057.

HATAY İLİ DÖRTYOL BÖLGESİ YER ALTI SU SEVİYESİNİN ANFIS MODELİ İLE TAHMİNİ (Oral)

FatihÜNEŞ[1], AydaGizem MARUF[2], Bestami TAŞAR[3]

[1,2,3]İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, HATAY

Emails: fatih.unes@iste.edu.tr, aydamaruf@gmail.com, bestami.tasar@iste.edu.tr

Özet

Yeraltı suyu seviyesinin doğru ve güvenilir bir şekilde tahmin edilmesi, su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetimi için önemlidir. Bu çalışmada, çoklu lineer regresyon (ÇLR) yöntemi ile adaptifnöro bulanık çıkarım sisteminin (ANFIS) modelleri, yeraltı suyu seviyesinin tahmini sırasındaki performansı araştırılmıştır. Uygulama alanı olarak, Hatay ili Dörtyol Bölgesine ait, DSİ 5512 nolu kuyusu için uygulanmıştır. Çalışmada Yağış (P), ortalama hava sıcaklığı (T),bağıl nem (RH), rüzgâr hızı (W) yeraltı suyu seviyesi (YASS) zaman serisi gibi hidrolojik parametreleri içeren 2000-2015 yılları arasındaki 147 aylık veri setleri, yeraltı suyu seviyesini tahmininde kullanılmıştır. İstatistiksel performans değerlendirme ölçütü olarak determinasyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (OKH), ortalama mutlak hata (OMH), kullanılmıştır. Bu çalışma neticesinde, YASS tahmini için ÇLR ve ANFIS modelleri iyi performans göstermişlerdir. Özellikle ANFIS modeli az da olsa ÇLR modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

AnahtarKelime(ler): Tahmin, Yeraltısuseviyesi, Dörtyol, ÇLR, ANFIS

1.GİRİŞ

Yeraltı suyu insanlık açısından hayati bir öneme sahip olmakla beraber dünya çapında önemli bir tatlı su kaynağıdır. Genellikle diğer içme suyu kaynaklarından daha kolay bulunur ve daha temiz bulunmaktadır. 2 milyardan fazla insan içme suyu kaynakları için yeraltı suyuna bağımlıdır. Bu nedenle, bir bölgedeki içme suyu tedarikini sağlamak için sürdürülebilir su kaynakları yönetimi önlemleri geliştirmek esastır. Yeraltı suyu seviyelerinin doğru ve güvenilir tahminleri, bir akiferin yeraltı suyu koşulları hakkında temel bilgiler sağladığı için belirleyici bir rol oynamaktadır. Yeraltı suyu değişkenlerinin modellenmesinde yaygın uygulama, belli bir alanı tanımlamak için fiziksel ilişkileri kullanan sayısal modellerin uygulanmasıdır. Bu tür modeller çok fazla veri gerektirir ve geliştirme, uygulama ve bakım zaman alıcı ve pahalıdır. Bununla birlikte, yapay zeka yöntemleri, son on yılda su kaynağı değişkenlerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan alternatif, veri güdümlü bir yaklaşımlardır. Yapay zeka yöntemlerinden olan ANFIS, ele alınan problem için oluşturulan yapıya göre olası tüm kuralları atayabilmektedir. ANFIS'in kural oluşturabilmesi veya kural oluşturulmasına olanak sağlaması uzman görüşlerinden faydalanması anlamına gelmektedir. Bu nedenle birçok tahmin probleminde yapay sinir ağlarına uzman görüşlerinden faydalanma imkânı tanıdığı için hata kriterine göre daha iyi sonuçlar elde edilmesini mümkün kılmaktadır.Bu yetenek ANFIS'leri, özellikle sonuç ilgili süreçlerin tam olarak anlaşılmasından daha önemliyse ya da sadece

çok az sistem bilgisi varsa, geleneksel yöntemlerle tanımlanması zor olan karmaşık senaryolar için değerli bir araç haline getirmektedir.

Esendal (2007) Eğirdir gölündeki mevsimlere göre su seviyesi değişimlerinin modellenmesi için bu çalışmada yazar bulanık mantık metodunu önermiştir. Yazar oluşturduğu bulanık mantık modeli ile yağış, akış, buharlaşma ve sulama suyu ihtiyacı değişkenlerinin fonksiyonu olarak Eğirdir gölündeki mevsimsel su seviyesi değişimini tahmin etmiştir. 1966-2000 yılları arasındaki verileri kullanmıştır. Sonuçların karşılaştırılmasında bulunan korelasyon katsayılarının genel olarak tatmin edici seviyede olduğunu belirtmiştir. Bulanık mantık ile güvenilir sonuçlara vardığını söylemiştir.

Vafakhah (2012), Gorgan Nehri'ndeki Hajighoshan ve Tamar'daki iki hidrometre istasyonunda ANN, BM ve ARMA'yı 1 gün, 2 gün ve 3 gün ileri akış akış tahminleriyle karşılaştırmıştır. Sonuçlar, YSA'ların ANFİS ve ARMA'dan 1 gün, 2 gün ve 3 gün önce akım akış tahminleri için üstün olduğunu göstermiştir.

Ö. Kişi,M.Shafei(2016), göl seviyesi öngörüsü için önemli bir etken olan göl seviyesindeki dalgalanmaların tahmini ve bu tahminin bütünleştiriciliği ile göl seviyesinin tahmini için çalışmışlardır. Bu çalışmada, ARMA, BM ve SVR metodları kullanılmıştır. Çalışma sonunda tüm modeller orijinal göl seviyesi zaman serileri elde etmek için toplanmıştır. Toplam sonuç modellerin tek başına verdiği sonuç ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, entegre modellerin tüm modellere nazaran daha hassas sonuç verdiğini ifade etmişlerdir.

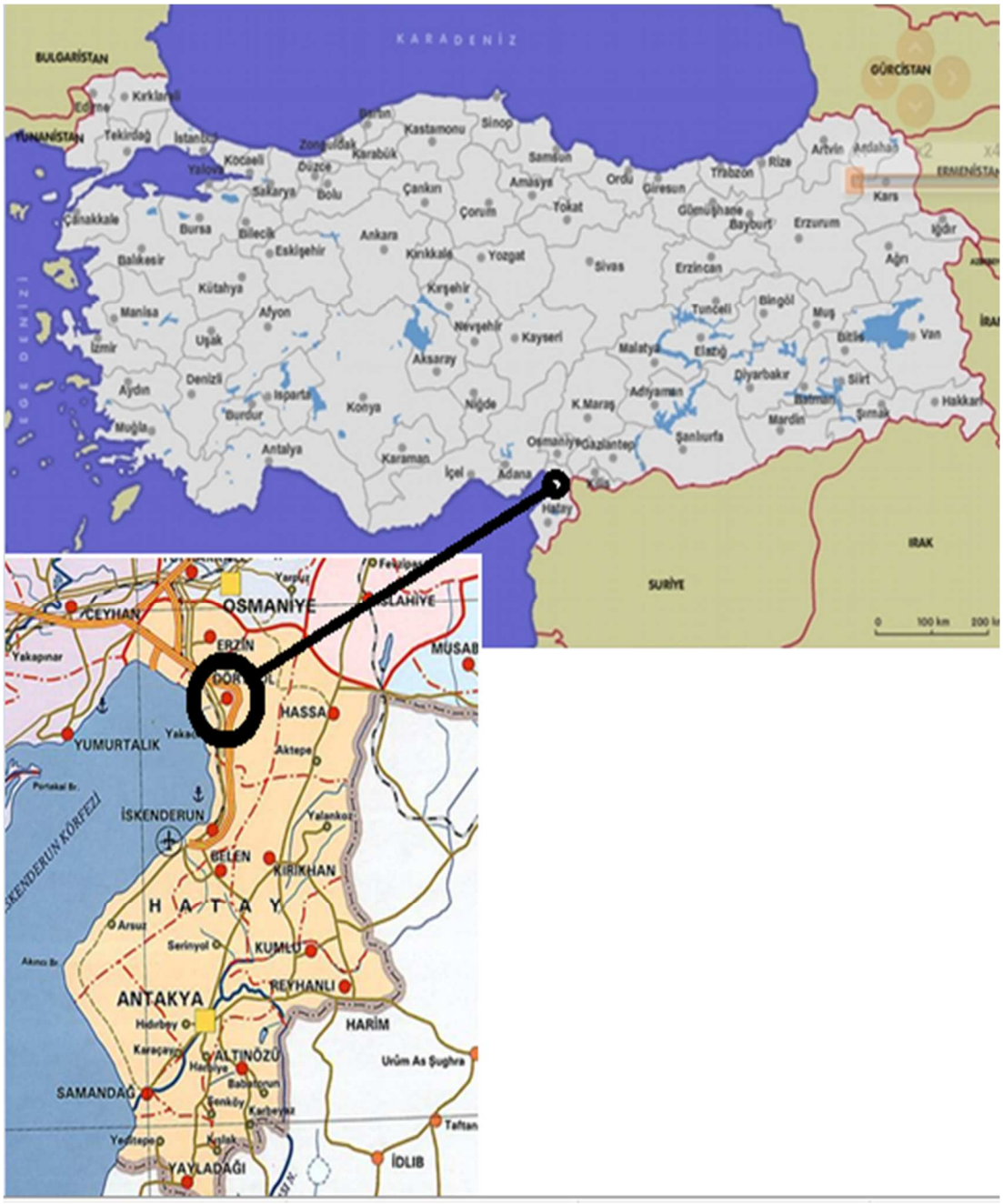
Unes F ve ark.(2017), Evapotranspirasyon(ET) tahmini yapılan bu çalışmada, evapotranspirasyonu etkileyen faktörler olarak Bağıl Nem (RH), Güneş Radyasyonu (SR), Hava Sıcaklığı (AT) ve Rüzgar Hızı (U) gibi etkileyen bazı meteorolojik parametreler incelenmiştir. Bu çalışmada yazarlar ET'nin öngörülmesi için Uyarlamalı Nöro Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) kullanmış ve sonuçlar Penman FAO 56 ampirik formülüyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalara göre, ANFIS modelinin günlük ET'nin tahmini için Penman FAO 56 ampirik formülünden daha iyi performansa sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS)modellerinin aylık yer altı su seviye (YASS) değişim tahmin performanslarını araştırmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada Hatay ili Dörtyol ilçesi yeraltı suyu seviyesi incelenmiştir.Devlet Su İşleriDSİ verilerinden alınan aylık yeraltı suyu seviyesi verileri ve Antakya Meteoroloji İstasyonu tarafından kaydedilen aylık toplam yağış (Y), aylık ortalama sıcaklık (S), aylık ortalama rüzgâr hızı (RH) ve aylık bağıl nem (BN) verileri yeraltı suyu seviyesini (YASS) belirlemek için kullanılmıştır.Şekil 1’de bu çalışmada seçilen rasat kuyusunun harita üzerindeki yeri gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan Dörtyol YASS istasyonu

2.2. Kullanılan Modeller

2.2.1 Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) Modeli

Bir ÇLR modeli, bir bağımlı değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Bağımlı değişken, bazen tahmin olarak adlandırılır ve bağımsız değişkenler yordayıcılar olarak adlandırılır. Bu modeller ile bir noktada sınırlı bir zaman periyodu ile ilişkili etkilerin eşitlik değeri ile yaklaştırabileceğini düşünülmektedir. ÇLR modelinin genel denklemi şu şekilde ifade edilir:

$$y=a+b_1x_1+b_2x_2+.....+(b_mx_m) \quad \textbf{(1)}$$

Bu denklemde y değeri, bağımsız parametreler ($X_{1=}$ X_1),($X_{2=}$ X_2)....., ($X_{m=}X_m$) değerlerini aldığında y parametresinin beklenen değerini ifade eder.

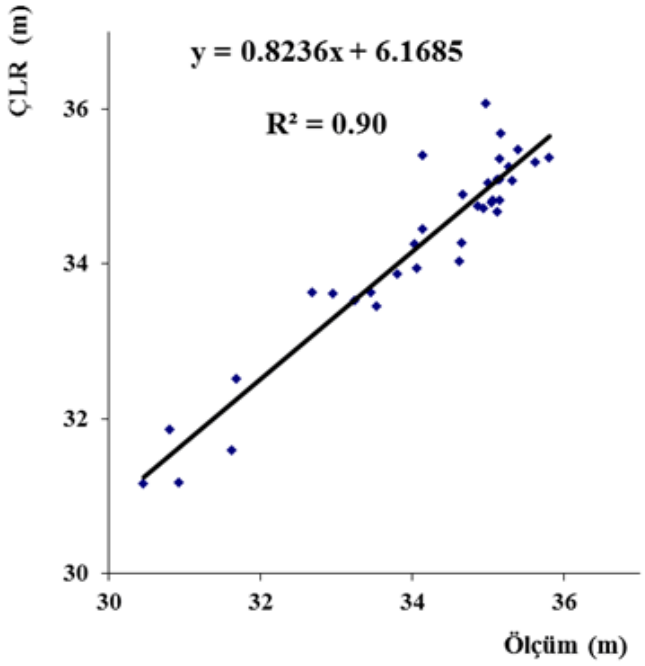
4. MODEL SONUÇLARI

Modeller, 151 adet veri kullanılarak oluşturulmuştur. Verilerin %70 ' i eğitim , %30' u test verisi olacak şekilde eğitilmiştir. Model sonuçları determinasyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.Ortalama karesel hata (OKH)) hata ortalama büyüklüğünü ölçer. OKH ve OMH hataların ihtimallerini teşhis etmek için kullanılır. OKH, OMH sıfırdan sonsuza kadar gidebilir. Düşük değerler daha kullanışlı olduğu anlamına gelir.

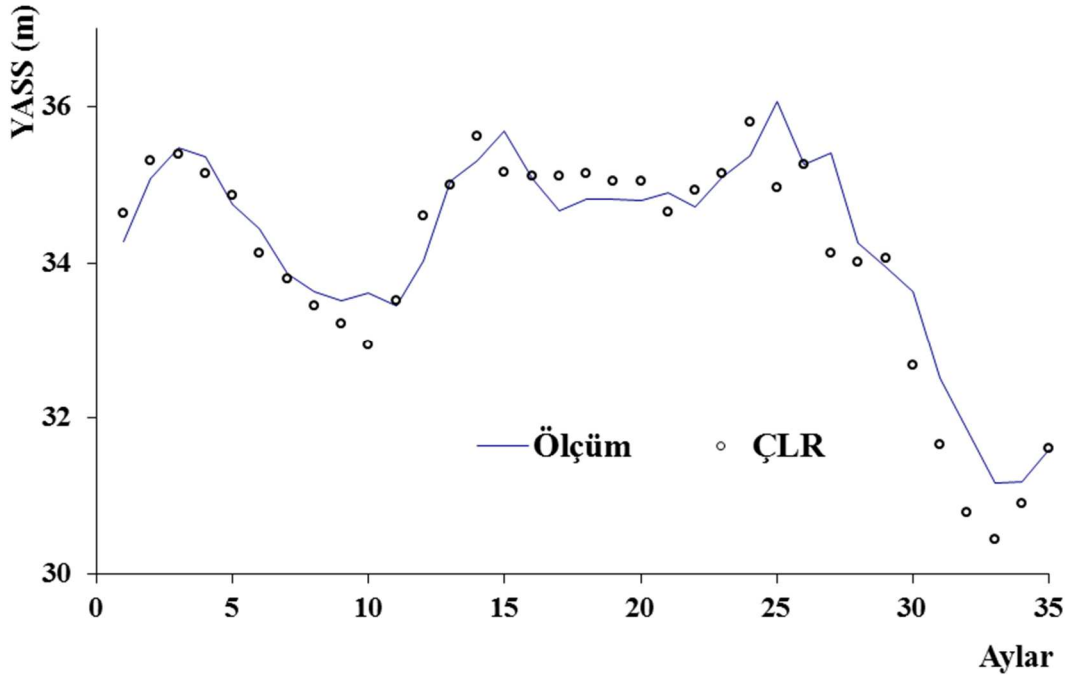
$$OMH = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left|YASS_{ölçüm} - YASS_{tah\,\min}\right| \quad \textbf{(4.2)}$$

$$OKH = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(YASS_{ölçüm} - YASS_{tah\,\min}\right)^2 \quad \textbf{(4.3)}$$

Burada, n veri sayılarını ve YASS aylık ortalama Yeraltı suyu seviyesi (m) miktarını ifade etmektedir. Test verilerinden elde edilen OKH, OMH ve $R^{2'}$nin sonuç parametreleri tablo halinde gösterilecektir. Sonuçlar, tahmin ve performans açısından karşılaştırmak için kullanılacaktır. Çalışmada Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve ANFIS modellerinin sonuçları incelenmiş ve ait sonuç aşağıda verilmiştir.

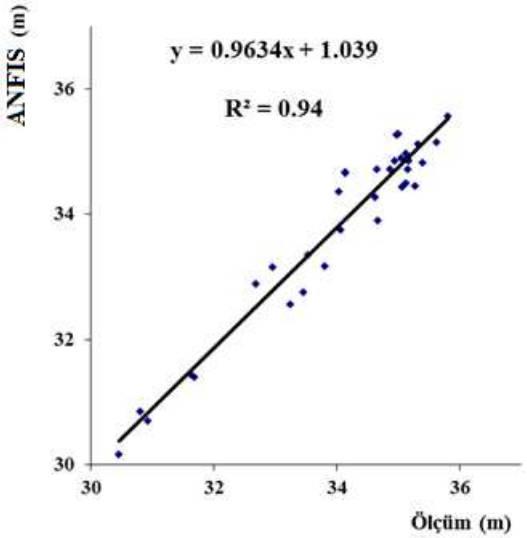


Şekil 3. Yeraltı su seviyesi test verileri için Ölçüm ve ÇLRsaçılım grafiği

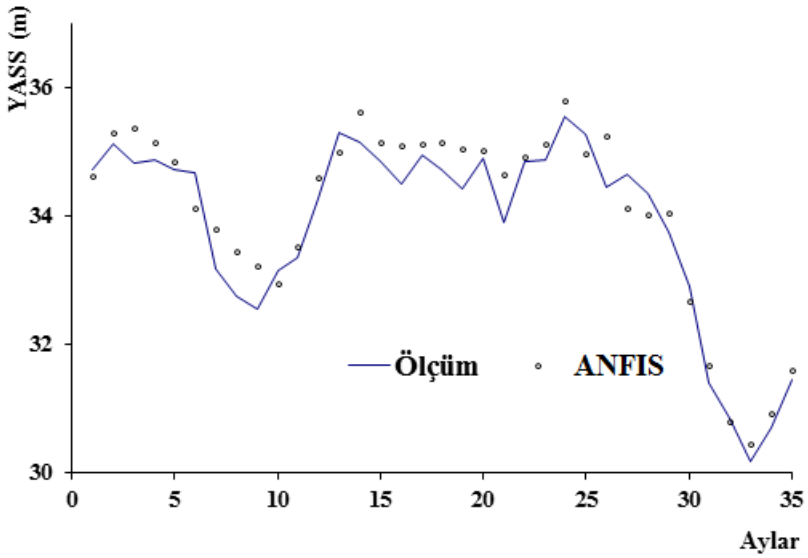


Şekil 4. Yeraltı su seviyesi test verileri için Ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği

ÇLR modelinde, verilerin test edilmesi için dağılım ve saçılım grafikleri, Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir. Test aşamasında, determinasyon katsayısı R^2 = 0.90 olarak elde edilmiştir. ÇLR modelinin iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Dağılım ve saçılım grafikleri incelendiğinde, tahmini değerler gerçek değerlere yakındır.



Şekil 5. Yeraltı su seviyesi test verileri için Ölçüm ve ANFISsaçılım grafiği.



Şekil 6. Yeraltı su seviyesi test verileri için Ölçüm ve ANFIS dağılım grafiği

ANFIS modelinde, verilerin test edilmesi için dağılım ve dağılım grafikleri, Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Test aşamasında, determinasyon katsayısı R^2 = 0.94 olarak elde edilmiştir. ÇLR modeli ile kıyaslandığında ANFIS modelinin az da olsa iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Dağılım ve saçılım grafikleri incelendiğinde, tahmini değerler gerçek değerlere yakındır. Modellere ait istatistiksel sonuçlar Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1.*YASS Tahmininde Kullanılan ÇLR ve ANFIS Model Sonuçlarının Karşılaştırılması*

MODELLER	**GİRDİ**	**OKH (m^2)**	**OMH (m)**	**R^2**
ÇLR	$Y_{(t)}$,$S_{(t)}$,$BN_{(t)}$,$RH_{(t)}$, $YASS_{(t+1)}$	0.25	0.37	0.90
ANFIS	$Y_{(t)}$,$S_{(t)}$,$BN_{(t)}$,$RH_{(t)}$, $YASS_{(t+1)}$	0.17	0.35	0.94

OKH: Ortalama karesel hata, **OMH:** Ortalama mutlak hata **R^2:**Determinasyon katsayısı.

Y(t): aylık toplam Yağış, **S(t):** aylık ortalama Sıcaklık, **BN(t):** aylık Bağıl Nem, **RH(t):** aylık ortalama Rüzgar Hızı, **YASS(t+1)** : aylık yeraltı suyu seviyesi

Tablo 1'e göre OKH, OMH ve $R^{2'}$ye göre, tüm modeller güzel sonuç vermiştir. Tüm modeller değerlendirildiğinde ise; ÇLR 2 (0.25 – 0.37-0.90) ve BM 2 (0.17 – 0.35 -0.94) modellerinin diğer modellerden iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Yine de ANFIS modeli düşük hata oranı yüksek korelasyon a sahip olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çoklu lineer regresyon (ÇLR) ve Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleri, yeraltı suyu seviyesinin tahmini sırasındaki performansı araştırılmıştır. Uygulama alanı olarak, Hatay ili Dörtyol Bölgesine ait, YASS kuyusu için uygulanmıştır. Yağış (Y), ortalama hava sıcaklığı (S),bağıl nem (BN), rüzgâr hızı (RH) yeraltı suyu seviyesi (YASS) zaman serisi gibi hidrolojik parametreleri içeren 2000-2015 yılları arasındaki 147 aylık veri setleri, yeraltı suyu seviyesini tahmin etmek için girdi verileri olarak kullanılmıştır. İstatistiksel performans değerlendirme ölçütü olarak determinasyon katsayısı (R^2), ortalama karesel hata (OKH), ortalama mutlak hata (OMH) kullanılmıştır. Bu çalışma neticesinde, YASS tahmini için ÇLR ve BM modelleri iyi performans göstermişlerdir. Özellikle ANFIS modeli az da olsa ÇLR modeline göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

5.KAYNAKLAR

Demirci, M., Unes, F., Kaya, Y. Z., Mamak, M., Tasar, B. & Ispir, E. (2017, March). Estimation of groundwater level using artificial neural networks: a case study of Hatay-Turkey. In *10th International Conference „Environmental Engineering "*.Bayazıt, M., 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri. İTÜ.

Demirci, M. (1999). Fuzzy functions and their fundamental properties. *Fuzzy Sets and Systems*, *106*(2), 239-246.

Esendal, H. Eğirdir Gölü su seviyesi mevsimsel değişiminin bulanık mantık metoduyla modellenmesi. Diss. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.

Vafakhah, M. (2012). Application of artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system models to short-term streamflow forecasting. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *39*(4), 402-414.

Talei, A., Chua, L. H. C., & Wong, T. S. (2010). Evaluation of rainfall and discharge inputs used by Adaptive Network-based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) in rainfall–runoff modeling. Journal of Hydrology, *391*(3-4), 248-262.

Dal Cin, C., Moens, L., Dierickx, P., Bastin, G., & Zech, Y. (2005). An integrated approach for realtime floodmap forecasting on the Belgian Meuse River. *Natural Hazards*, *36*(1-2), 237-256.

Mohammadi, K., Eslami, H. R., & Kahawita, R. (2006). Parameter estimation of an ARMA model for river flow forecasting using goal programming. *Journal of Hydrology*, *331*(1-2), 293-299.

Kişi, Ö. (2004). River flow modeling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, *9*(1), 60-63.

MGM, 2016. Resmi İstatistikler. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. http://www.mgm.gov.tr/

Mamak, M., Üneş, F., Kaya, Y. Z., & Demirci, M. (2017). Evapotranspiration Prediction Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Penman FAO 56 Equation for St. Johns, FL, USA. In *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE*(Vol. 10, pp. 1-5). Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property.

UNEP, 2016. Global Water Resources. United Nations Environment Programme. http://www.unep.org/training/programmes/Instructor%20Version/Part_2/

Ahn, G. J., & Sandhu, R. (2000). Role-based authorization constraints specification. ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC), *3*(4), 207-226.

Taheri, A., & Zare, M. (2011). Groundwater artificial recharge assessment in Kangavar Basin, a semi-arid region in the western part of Iran. *African journal of agricultural research*, *6*(18), 4370-4384.

Zare, M., & Koch, M. (2014). 3D-groundwater flow modeling of the possible effects of the construction of an irrigation/drainage network on water-logging in the Miandarband plain, Iran. *J. Soil Environ. Sci*, *2*, 2345-4090.

Organik Madde Gideriminde Karıştırıcı Tasarımının Adsorpsiyon Performansına Olan Etkisinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Metodu ile İyileştirilmesi

Gökhan DEVECİ[1], Halil İbrahim Uzun[2], Kübra Ulucan[1], Eyüp DEBİK[1]

[1]Çevre Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul,Türkiye
[2]Çevre Mühendisliği Bölümü, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, Türkiye
E posta: gokhandvcy@gmail.com, ha.uzun@alparslan.edu.tr,
kulucan@yildiz.edu.tr,debik@yildiz.edu.tr,

Özet

Organik maddeler yaşam döngüsü sonucu ortaya çıkan ürünlerdir. Genel olarak su kalitesini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Organik maddelerin uzaklaştırılmaması; sularda tat, koku gibi etmenlere sebep olabilmektedir. Aynı zamanda içme sularında dezenfektan olarak kullanılan klorun sudaki organik maddeler ile reaksiyona girmesi sonucunda dezenfeksiyon yan ürünleri olan trihalometan (THM) ve haloasetik asit (HAA) gibi kanserojen maddelere dönüşmektedir. İçme sularından organik madde gideriminde etkili arıtma yöntemlerinden birisi olan adsorpsiyon prosesi tek başına kullanılabileceği gibi aynı zamanda membran teknolojileri için kuvvetli bir ön arıtma işlemi olarak ortaya çıkmaktadır. Adsorpsiyon prosesi genellikle içme suyu tesislerinde karıştırıcı ünitelerinde gerçekleştirilmektedir. Karıştırma prosesleri sürecin verimliliği açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Karıştırıcı verimleri 3 boyutlu bilgisayar ortamında hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodu (HAD) kullanılarak analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada mekanik karıştırıcılar için kanat geometrisi parametrik hale getirilmiş ve tasarım iyileştirme metodu ile farklı kanat tasarımları ortaya konulmuştur. Son olarak bu tasarımlar ile jar test düzeneğinde adsorpsiyon verimleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler(s): CFD, İçme suyu arıtımı, Adsorpsiyon, Karıştırıcı

1. Giriş

Doğal organik maddeler (NOM), yüzey ve yeraltı su kaynaklarındaki su döngüsünün bir sonucu olarak ortaya çıkar. Organik maddeler su kalitesini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Aynı zamanda organik maddenin sudan uzaklaştırılmaması ciddi sağlık problemlerine neden olabilir. Bu problemlerin en kritik olanı, içme suyunda dezenfeksiyon için kullanılan klorun, sudaki organik bileşenlerle reaksiyona girmesi ve bunun sonucunda trihalometan ve dezenfeksiyon yan ürünleri olarak bilinen diğer halojen bazlı bileşikleri oluşturmasıdır. İçeriğinde bu bileşiklerin bulunduğu suların kullanımının birçok cilt hastalığına ve kansere sebep olduğu bilinmektedir. Buna ek olarak suda bulunan organik maddeler bakteriyel büyümelere sebebiyet vererek korozyona sebep olabilmektedir. Aynı zamanda sularda renk, tat ve kokuya sebebiyet vererek su kalitesini düşürmektedir (Jacangelo,1995). Organik maddenin sudan uzaklaştırılmasının bazı yöntemleri vardır. Bu yöntemler; genel olarak membran işlemleri, iyon değiştiriciler, aktif karbon uygulaması ile zenginleştirilmiş koagülasyon ve kimyasal oksidasyon şeklindedir. Bu yöntemler içerisinde giderim verimi en yüksek olan proses membran işlemler olsa da düşük molekül ağırlıklı organik maddelerin giderilmesinde membran tıkanma sorunları yaşanabilmektedir (Ødegaard,2009). Zenginleştirilmiş koagülasyon prosesleri bu aşamada iyi bir ön arıtma alternatifi olarak ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde zenginleştirilmiş koagülasyon işlemi veriminin yetersiz kaldığı durumlarda granüler ya da toz aktif karbon eklemesi yapılarak proses verimi arttırılabilmektedir. Aynı zamanda aktif karbon ilavesi düşük molekül ağırlıklı ve nötr organik maddelerin gideriminde etkili olmaktadır (Matilainen et al.,2010).

İçme suyu arıtma tesislerinde genel olarak uygulanan toz aktif karbon adsorpsiyonu işleminde karıştırıcılar kullanılmaktadır. Karışım uygulanan adsorpsiyon işlemlerinde pH, sıcaklık, dozaj gibi kimyasal parametreler önemli olduğu gibi karışım performansı da oldukça önemli bir yere sahiptir. Karıştırıcıların doğru tasarlanması prosesde kullanılan eklentilerin hızlı ve etkili karışmasına neden olur. Chitra ve ekibinin yaptığı çalışma; katı sıvı karışımlarında karışım performansının önemli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Uygulanan proseslerde katı konsantrasyonun dağılımı önemli bir parametre olup bu dağılım; karıştırıcı tipi, karıştırıcının dipten yüksekliği, karıştırıcının hızı ve katı yüklemesine bağlıdır (Chitra et al., 2013).

Karışım performansının belirlenmesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) metotları oldukça etkili olmaktadır. Günümüzde kullanılan modern HAD programları ile akış, ısı transferi, kütle transferi ve kullanıcı tarafından tanımlanabilen çoğu senaryo

modellenebilmektedir. Su ve atıksu arıtma sistemlerinin HAD programları ile modellenip iyileştirilmesi literatürde başarılı olarak yapılabilmektedir. (Chitra et al., 2013).

Yapılan bu çalışmada; lab ölçekli bir jar test düzeneğinde ilk olarak hümik asitle hazırlanan sentetik su için organik madde içeriğinin giderim verimliliği belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, jar test aparatında kullanılan beher-mikser sistemi 3D CAD ortamına aktarılmış ve karışım performansı hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın son aşamasında, yanıt yüzeyi teorisi kullanılarak farklı iki koşul için belirlenen karıştırıcılar üretilerek jar test düzeneğinde kullanılmış ve adsorpsiyon performansıları karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak jar test düzeneğinde adsorpsiyon çalışmaları yapılmış sonrasında hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodu kullanılarak karıştırıcı geometrisi üzerinde değişikler yapılarak tekrar adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır.

2.1. Hümik asit çözeltisi

İlk olarak 4g kuru hümik asit 1L ultra saf suda çözülerek yaklaşık 80 derece ısıtıcılı karıştırıcıda 30 dk süre ile karıştırılmıştır. Son olarak hazırlanan çözelti 0.45 μm filtreden geçirilerek +4 ^{0}C de muhafaza edilmiştir.pH ayarlaması için sırası ile 0.1M HCl ve 1M NaOH çözeltileri hazırlanmıştır. Oluşturulan çözeltideki organik madde konsantrasyonu 751.5 mg/L olarak ölçülmüştür.

2.2. Kesikli Adsorpsiyon Çalışmaları

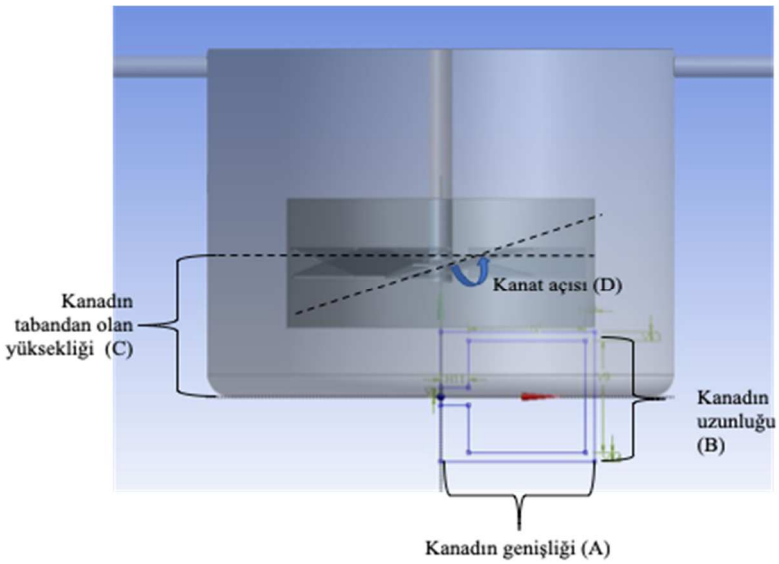
Kesikli adsorpsiyon çalışmaları pH=7.0 ve 25 ^{0}C'de 10 dk, 20 dk, 40 dk, 60dk ve 80 dk temas sürelerinde jar test düzeneği kullanılarak 120 RPM devir hızında gerçekleştirilmiştir. Jar testi için VELP Scientifica markasının FC6S modeli kullanılmıştır.

Kesikli adsorpsiyon çalışmalarında içme suyunu temsil etmesi açısından giriş organik madde konsantrasyonu sırası ile 3 mg/L, 6mg/L, 9 mg/L ve 12 mg/L olacak şekilde seçilmiştir. İlk olarak daha önceden hazırlanan hümik asit stok çözeltisinden otomatik pipet yardımı ile 2 mL alınan çözelti behere aktarılmıştır. Çözelti sentetik musluk suyu çözeltisi kullanılarak 500 mL'ye tamamlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltinin toplam organik karbon değeri 3 mg/L olarak

ölçülmüştür. Adsorbant olarak seçilen toz aktif karbon hassas terazi yardımı ile tartılarak çözelti konsantrasyonu 0.5 g/L olacak şekilde behere ilave edilmiştir (Duan,2002).

2.3. Parametrik Modelin Hazırlanması

Parametrik geometri ANSYS Design Modeler kullanılarak oluşturulmuştur. Kanat açısı, kanadın reaktör tabanından yüksekliği, pedal genişliği ve pedal uzunluğu parametrik hale getirilmiştir. Oluşturulan parametreler Şekil 1'de gösterilmiş olup bu parametreler Tablo-1'de verilen aralıklar içerisinde değiştirilmiştir.



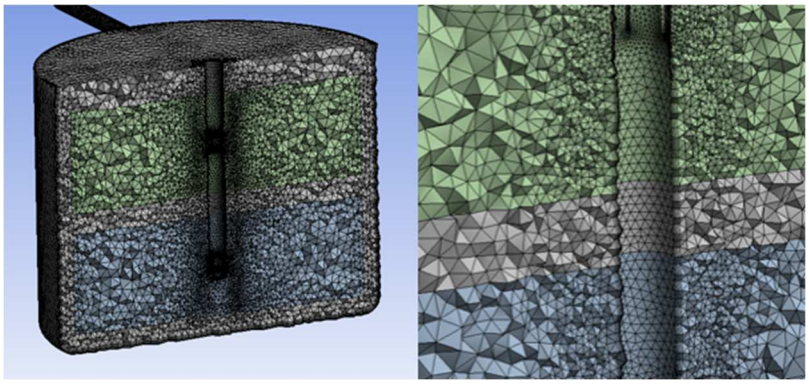
Şekil 1 - Oluşturulan parametrelerin tasarım üstünde gösterimi

Oluşturulan parametrik çizim sonrası, sayısal ağ ANSYS Meshing kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 1- Tasarım iyileştirmesi için belirlenen parametreler ve aralıkları

Parametreler	**Aralıklar**
Kanat genişliği (A) (mm)	20-25-30-35
Kanat uzunluğu (B) (mm)	10-15-20-25
Kanadın tabandan olan yüksekliği (C) (mm)	20-25-30-40-45
Kanat açısı (D) (C^0)	0-15-30-45-60-75

Verilen parametreler ve uygun görülen aralıklar sonucunda program yanıt yüzeyi oluşturmak için gerekli senaryolar hesaplanmıştır.



Şekil 2 - Oluşturulan sayısal ağ görüntüsü

Şekil 2'de görülen sayısal ağda yaklaşık 800 bin tetrahedral eleman bulunmaktadır. Sayısal ağ maksimum çarpıklık (skewness) değeri 0.84 olarak tespit edilmiştir.

2.4. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Metodu

Yapılan analizler ANSYS FLUENT 2019 R1 programı kullanılarak i7-5820K @ 3.30 GHz 6 çekirdekli 64 GB RAM'e sahip bir makinede çözdürülmüştür. Analizlerde kütle ve momentum korunum denklemleri kullanılmıştır. Dönel eleman etkileri hareketli çerçeve metodu (MRF) kullanılarak hesaplanmıştır. Analizlerde kullanılan korunum denklemleri genel olarak aşağıda verilmiştir. (ANSYS Theory Guide,2018)

Kütle korunum denklemi;

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \qquad \text{(Eş. 1)}$$

Momentum korunum denklemleri;

X momentum:

$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \nu\left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right] \qquad \text{(Eş. 2)}$$

Y momentum:

$$\frac{\partial \rho v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + \nu\left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right] \quad \text{(Eş. 3)}$$

Z momentum:

$$\frac{\partial \rho w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} + \nu\left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right] \quad \text{(Eş. 4)}$$

şeklindedir. Bu denklemlerde ρ yoğunluk (kg/m^3), u, v,w sırası ile x, y, z yönündeki hızlar (m/s) , p basınç (Pa) , ν kinematik viskoziteyi temsil etmektedir (ANSYS Theory Guide,2018).

Karıştırma problemleri genellikle türbülans yoğunluklu problemler olup analizler çözümlenirken bu detaya dikkat edilmelidir. Akışkan içerisinde kararlı durum akışlarında genel olarak türbülans modelleri Reynold bazlı Navier Stokes (RANS) yaklaşımı ile çözülmektedir (Ding,2010). RANS modelleri endüstriyel olarak kullanılan geniş bir model yelpazesine sahiptir. Doğru uygulandıkları takdirde hızlı ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Yapılan analizlerde uygun RANS modeli olarak gerçekçi k-e türbülans modeli seçilmiş ve zenginleştirilmiş duvar fonksiyonu (Enhanced Wall Treatment) kullanılmıştır. Kullanılan duvar fonksiyonuna uygun olması açısından karıştırıcı üzerindeki sınır tabaka için y^+ 1 ile 5 arası olacak şekilde oluşturulmuştur. k-e türbülans modelinde korunum denklemlerine ek olarak türbülans kinetik enerji (k) ve yayınım oranı (e) denklemleri çözülmektedir (ANSYS Theory Guide,2018).

Bu denklemler;

Kinetik enerji (k)

$$\rho\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + \mu_t S^2 - \rho\varepsilon; \quad S = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad \text{(Eş. 5)}$$

Yayınım oranı (ε)

$$\rho\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + \frac{\varepsilon}{k}(C_{1\varepsilon}\mu_t S^2 - \rho C_{2\varepsilon}\varepsilon) \quad \text{(Eş. 6)}$$

Türbülans vizkositesi (μ_t)

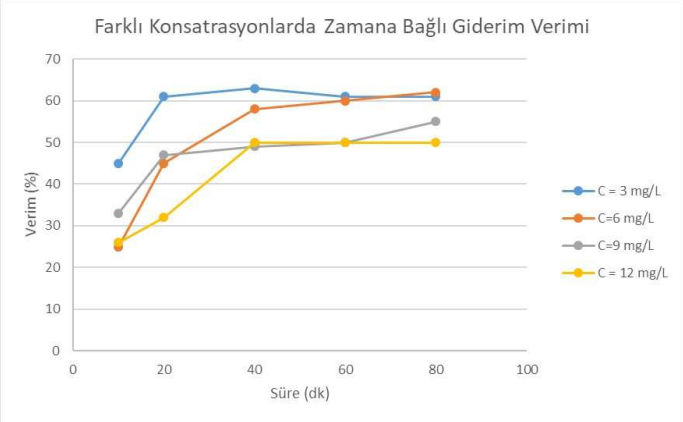
$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \qquad \text{(Eş. 7)}$$

şeklindedir (ANSYS Theory Guide,2018).

3. Sonuçlar ve Tartışma

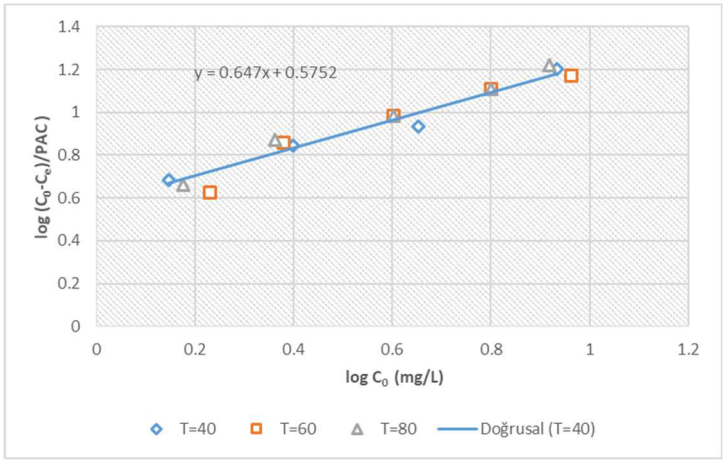
3.1. Kesikli Adsorpsiyon Sonuçları

Jar test kullanılarak yapılan kesikli adsorpsiyon çalışmalarında farklı konsantrasyonlardaki organik madde yüklemelerindeki zamana bağlı giderim verimleri Şekil 3 de verilmiştir.



Şekil 3 – Farklı sürelerdeki giderim verimleri

Şekil 3 göz önüne alındığında 40 dk dan sonra giderim verimleri sabit kalmaktadır. Yapılan çalışmalarda en yüksek %60 organik madde giderim verimine ulaşılmıştır. Yapılan izoterm çalışmalarında adsorpsiyonun Freundlich izotermine uygun olduğu görülmüştür. İzoterm çalışmasında yapılan logaritmik doğrusallaştırma işlemi sonrasında Şekil 4'te verilen izoterm doğrusu elde edilmiştir.



Şekil 4 – Deneyler sonucunda elde edilen izoterm eğrisi

Freundlich izoterm Eşitlik 8 kullanılarak yazılabilir.

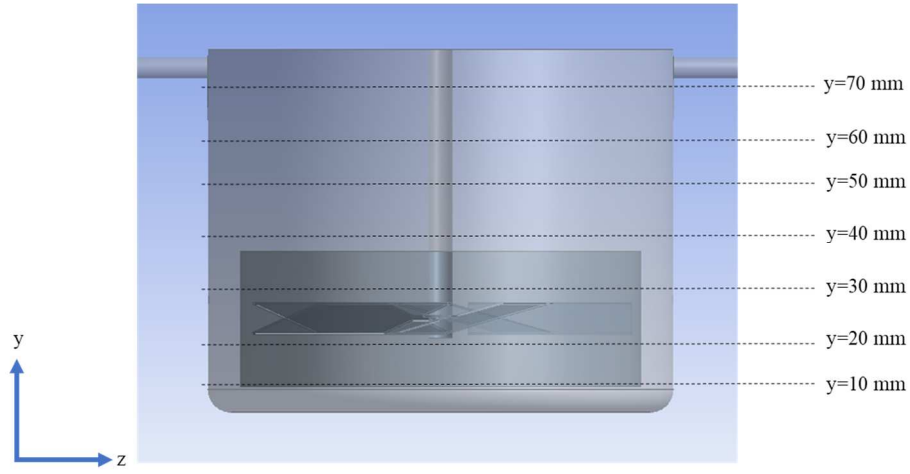
$$q_e = K_f . C_e^{\frac{1}{n}} \quad \text{(Eş. 8)}$$

Bu eşitlikte K_f değeri 3.76 olarak bulunurkern 1/n değeri 0.647 olarak bulunmuştur. 1/n değeri 1'den küçük olduğundan adsorpsiyon tipi normal konkav şekildedir.

3.2. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çalışmaları

Verilen tasarım aralıklarına bağlı olarak oluşturulan tasarım senaryoları Tablo-2 de verilmiştir. Program 4 farklı parametre için 25 adet tasarım noktası oluşturmuştur. Tasarım parametreleri sonucunda beher içerisinden belirli yüksekliklerde alınan ortalama hız değerleri ve karıştırıcı tork değerlerine bakılmıştır.

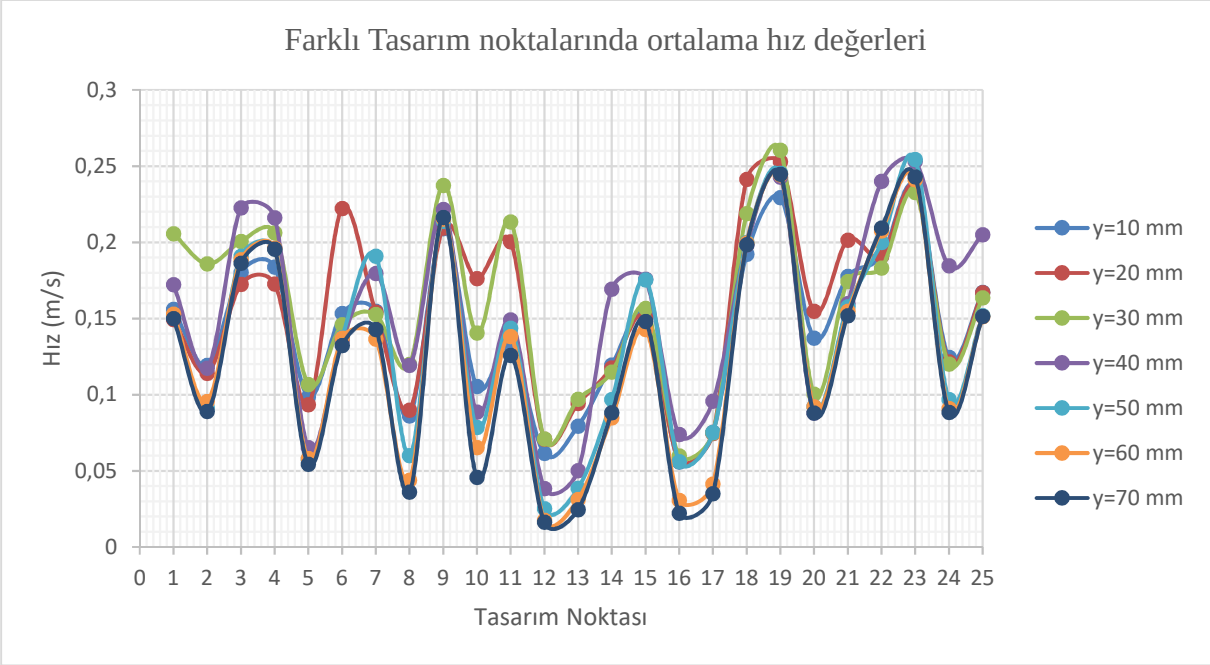
Hız değerleri, ortalama ve maksimum olacak şekilde verilen eksenler üzerinden alınmıştır. Bu eksenlerin konumları Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5 – Ortalama hız alınan noktalar

Farklı tasarım noktalarında ki ortalama hız değerleri Şekil 5'de gösterilmiştir. Oluşturulan tasarım noktaları arasındaki ilişki yanıt yüzeyi teorisi kullanılarak oluşturulmuştur. (ANSYS Theory guide,2018)

Mühendislik tasarımlarında girdilerin ve çıktıların birbirleri ve kendi aralarında olan ilişkilerinin anlaşılması önemli bir rol oynamaktadır. Parametre sayısı arttıkça bu ilişkilerin anlaşılmasında gerekli olan deney sayısı artmaktadır. Bu genelde maliyetli ve zaman alıcı bir işlemdir. Dolayısı ile modern mühendislik hesaplamalarında girdi ve çıktılara yönelik deney tasarımları yapılarak daha kısa sürede tüm ilişkinin ortaya çıkarılması esas olmuştur. Analizlerde kullanılan deney tasarım metodu olarak merkezi kompozit tasarım (Central Composite Design) seçilmiştir. Yanıt yüzeyi oluşturulması için ise genetik yığınlama algoritması kullanılmıştır.



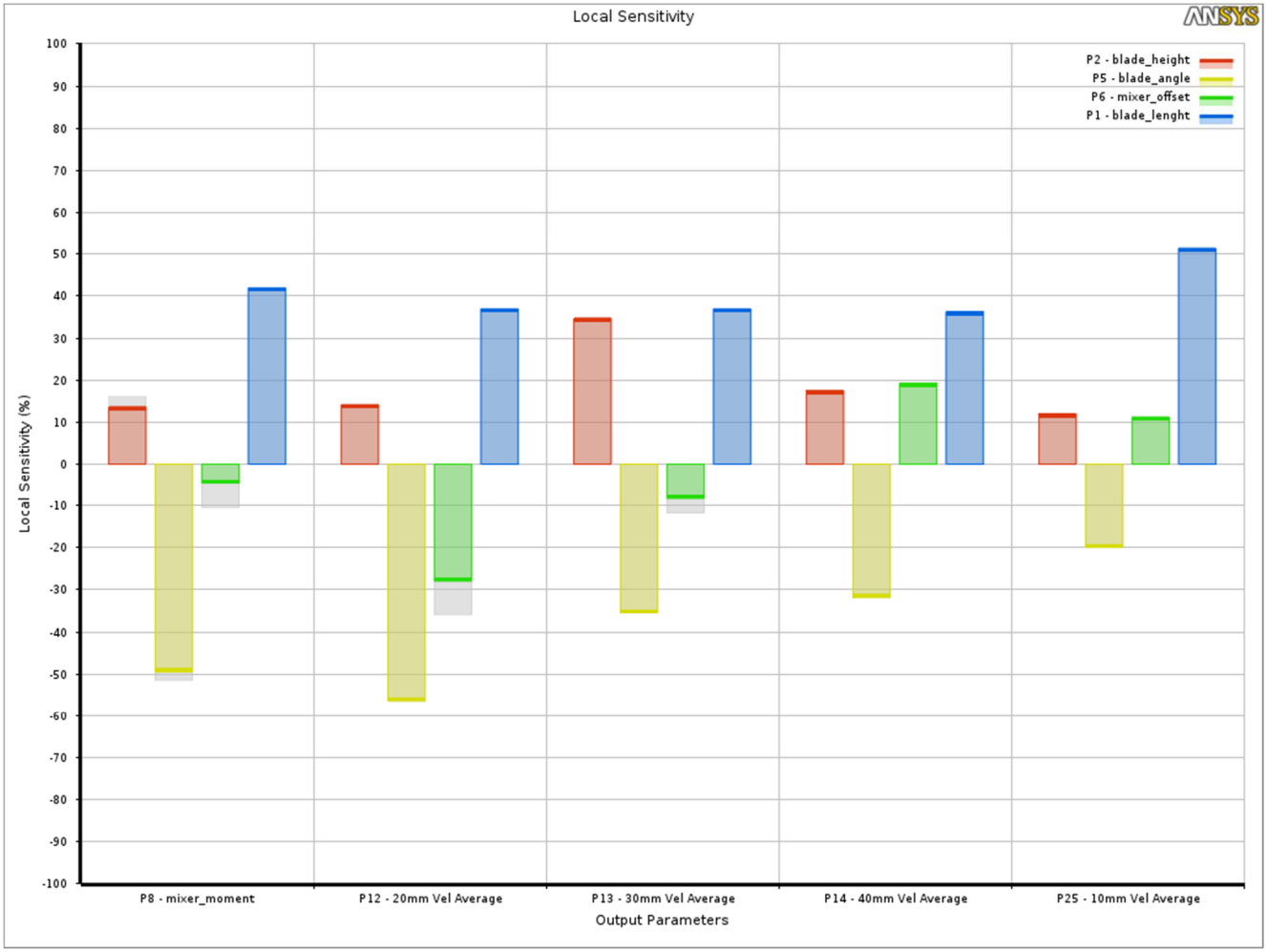
Şekil 6 – Farklı hız noktalarında hız değerleri

Tablo 2 – Oluşturulan tasarım noktaları

Tasarım Noktası	**Kanat Yüksekliği (mm)**	**Kanat Açısı**	**Karıştırıcı Tabandan Uzaklığı (mm)**	**Kanat Uzunluğu (mm)**
1	17.5	37.5	32.5	27.5
2	10	37.5	32.5	27.5
3	25	37.5	32.5	27.5
4	17.5	0	32.5	27.5

5	17.5	75	32.5	27.5
6	17.5	37.5	20	27.5
7	17.5	37.5	45	27.5
8	17.5	37.5	32.5	20
9	17.5	37.5	32.5	35
10	12.22	11.09	23.70	22.22
11	22.78	11.09	23.70	22.22
12	12.22	63.91	23.70	22.22
13	22.78	63.91	23.70	22.22
14	12.22	11.09	41.30	22.22
15	22.78	11.09	41.30	22.22
16	12.22	63.91	41.30	22.22
17	22.78	63.91	41.30	22.22
18	12.22	11.09	23.70	32.78
19	22.78	11.09	23.70	32.78
20	12.22	63.91	23.70	32.78
21	22.78	63.91	23.70	32.78
22	12.22	11.09	41.30	32.78
23	22.78	11.09	41.30	32.78
24	12.22	63.91	41.30	32.78
25	22.78	63.91	41.30	32.78

Yanıt yüzeylerine bakıldığında karıştırıcı açısı arttıkça reaktör içerisindeki hızlar azalmakta fakat enerji sarfiyatı düşmektedir. Bunun yanı sıra kanat dik konuma geldikçe beher içerisindeki hızlarda artış gözlenmekte ve güç tüketimi artmaktadır. Ek olarak çıkış parametrelerinin, giriş parametrelerine göre yersel olarak hassasiyet analizi yapılarak aradaki ilişki daha net olarak ortaya konmuştur. Yapılan hassasiyet analizine ait sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7 – Lokal hassasiyet analizi ve parametrelerin etkileşimi

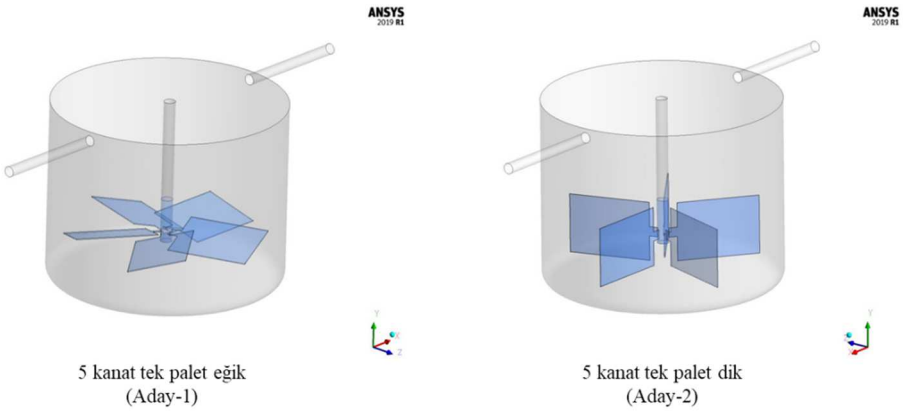
Hassasiyet grafiğinden anlaşılacağı üzere kanat açısı ve kanat genişliği oldukça önemli bir faktördür. Kanat genişliği arttıkça tork ve hız değerleri artmaktadır. Kanat açısı ise tork üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kanat açısı arttıkça karıştırıcı torku düşmektedir. Yapılan yanıt yüzeyi çalışmalarında program tarafından elde edilen senaryolar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3-Yanıt yüzeyi analizi sonrası optimum tasarım değerleri

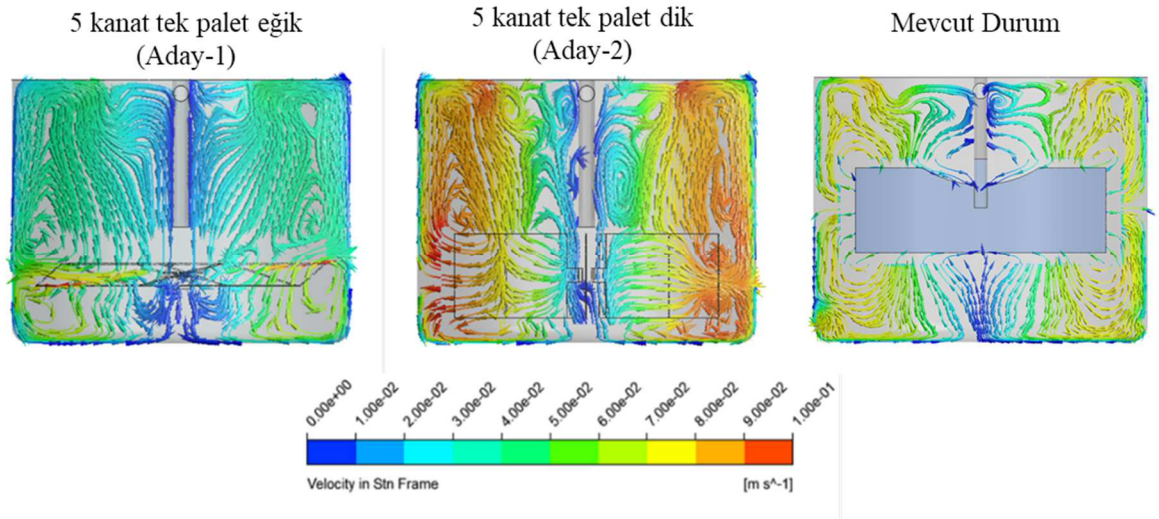
	Kanat genişliği (mm) (A)	**Kanat uzunluğu (mm) (B)**	**Kanadın dipten yüksekliği(mm) (C)**	**Kanat açısı (derece) (D)**

Aday-1	35	25	20	75
Aday-2	35	25	20	0

Yapılan tasarım analizleri sonucunda karıştırıcı güç tüketimi en az olan ve karıştırıcı türbülansının en fazla olduğu durumlar 30 RPM karıştırıcı hızında analiz edilmiştir. Tablo 3'de verilen senaryolara ait görseller Şekil 8'de verilmiştir.

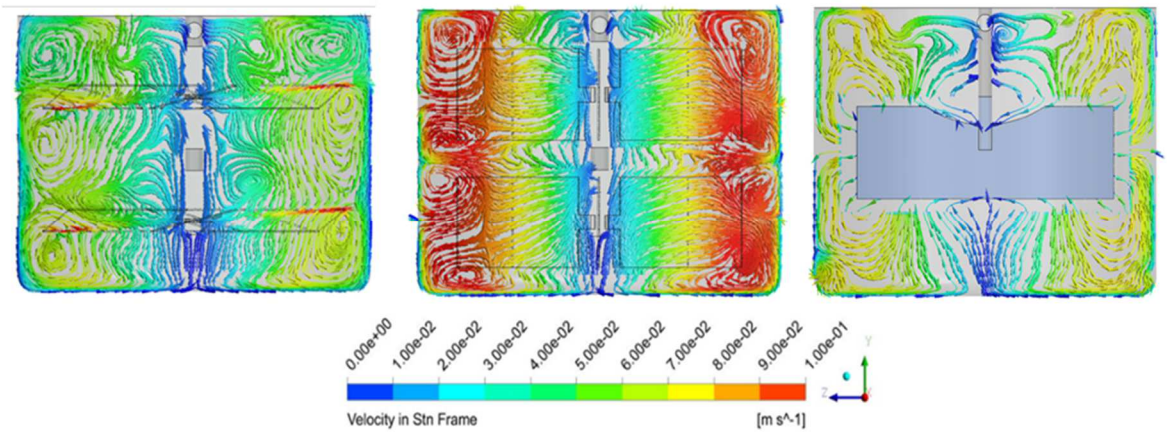


Şekil 8- İyileştirme sonrası oluşturulan tasarımlar



Şekil 9-Tek palet iyileştirilmiş karıştırıcılar ve mevcut durum için HAD analizi sonuçları

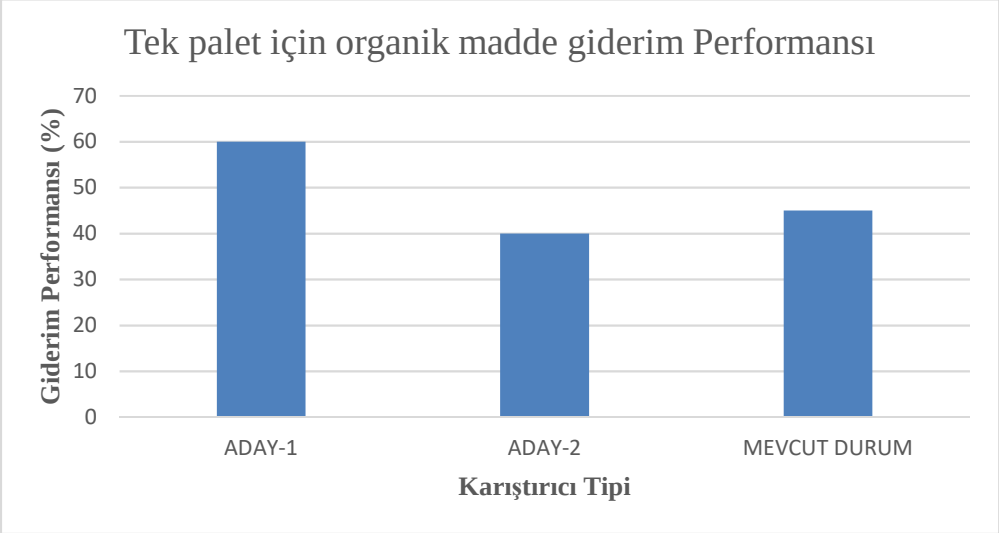
Şekil 9'daki durum incelendiğinde Aday-1 için beher içinde oluşan akım çizgileri daha düzenlidir. Aday-2 için karıştırıcı etrafında hız fazladır fakat akım çizgileri düzensizdir.



Şekil 10-Çift palet iyileştirilmiş karıştırıcılar ve mevcut durum için HAD analizi sonuçları

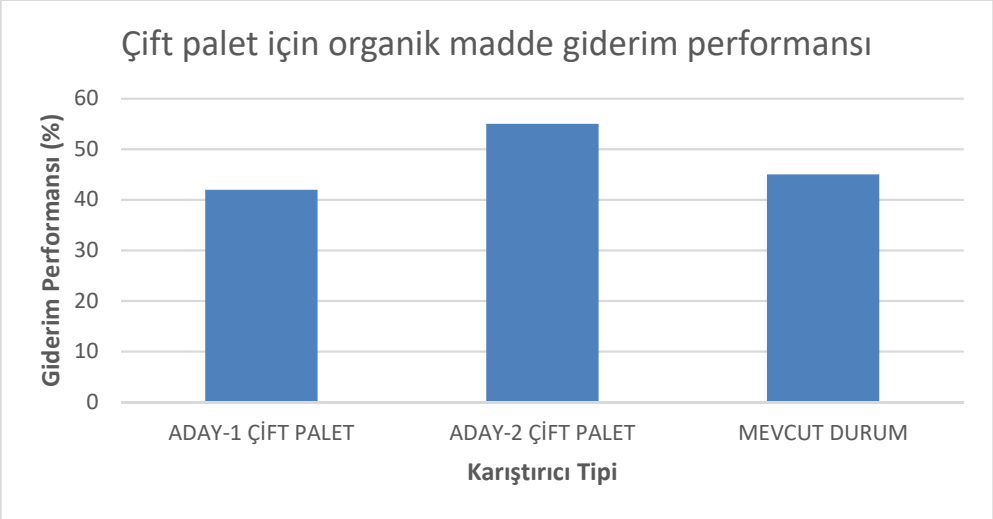
Şekil 10'daki duruma bakıldığında Aday-1 için beher içinde oluşan akım çizgileri düzensizleşirken Aday-2 için karıştırıcı içerisinde daha düzenli bir dağılım gözlenmiştir.

Yapılan adsorpsiyon giderim sonuçlarına göre 30 RPM 40 dk durumu için tek paletli durumda adsorpsiyon verimi karşılaştırıldığında Aday-1 için giderim verimi %60 iken Aday-2 için giderim verimi %40 ve mevcut durumda ise giderim verimi %45 olarak ölçülmüştür.



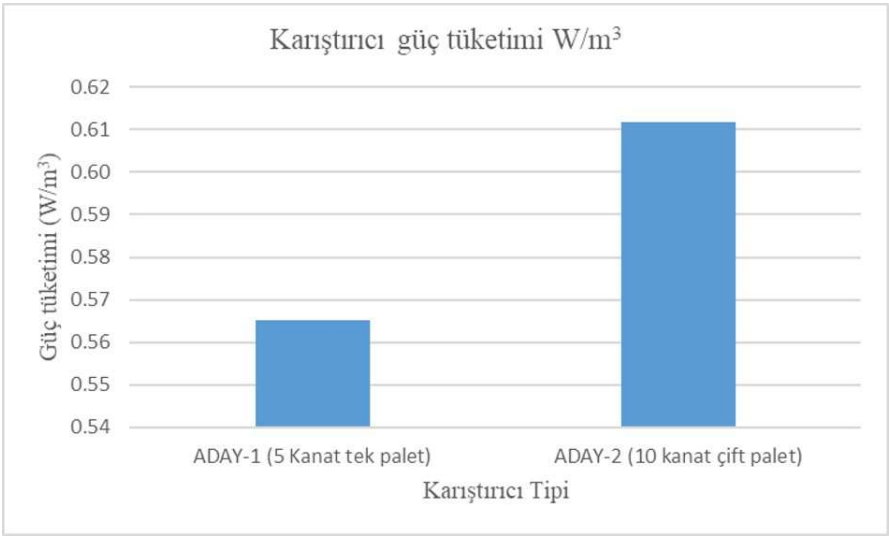
Şekil 11-Tek paletli durum için giderim verimleri

Aday-1 ve Aday-2 için çift paletli durumda adsorpsiyon verimi karşılaştırıldığında Aday-1 için giderim verimi %42 iken Aday-2 için giderim verimi %55 ve mevcut durum da ise giderim verimi %45 olarak ölçülmüştür.



Şekil 12-Çift paletli durum için giderim verimleri

Sonuçlara bakıldığında Aday-1 tek palet ve Aday-2 çift paletin daha yüksek giderim verimlerine sahip olduğu görülmektedir. Karıştırıcılarda önemli hususlardan bir diğeri ise güç tüketimidir. İki karıştırıcının güç tüketimi birim hacim başına analiz edilmiştir. Aday-1 tek palet şeklindeki karıştırıcının aynı işi daha az güç tüketimi ile yaptığı görülmektedir.



Şekil 13 – 2 farklı karıştırıcı için birim hacim başına tüketilen güç değerleri

4. Bulgular

Yapılan model ve deneysel çalışmalarla aynı koşullar için organik madde giderim veriminin;karıştırıcı tipine ve bunun sonucunda oluşan hız dağılımına göre farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuçlara göre; eğik açılı palet kullanımının gerek enerji kullanımı, gerekse yüksek giderim verimi açısından daha uygun bir çözüm olduğunu ortaya koymuştur. Bu şekilde yapılan çalışmada 40 dk süre için %60 organik madde giderim verimine ulaşılmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada İSKİ Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisine gerekli numune ölçümlerini gerçekleştirdiklerinden dolayı ve YTÜ Çevre Mühendisliği bünyesinde çalışan değerli araştırma görevlisi Abdulkadir ÇAĞLAK'a ve eşim Nurmiray Yılmaz DEVECİ'ye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1-Jacangelo, J.G., DeMarco, J., Owen, D.M., Randtke, S.J., (1995). Selected processes for removing NOM: an overview. J. Am. Water Works Assess. 87 (1), 64–77

2-Anu Matilainen, Mikko Vepsäläinen, Mika Sillanpää (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment Adv Colloid Interface Sci. 2010 Sep 15;159(2):189-97.

3-D.Chitra and L.Muruganandam, (2013) ”CFD Simulation of Solid Concentration Distribution In A Flat Bottom Agitated Vessel Using Rushton Turbine” International Journal of chemtech Research CODEN (USA): IJCRGG ISSN: 0974-4290 Vol.5, No.5, pp. 2252-2266, July-Sept 2013

4-H. Ødegaard, S. Østerhus, E. Melin, and B. Eikebrokk (2009) “NOM removal technologies Norwegian experiences” Drinking Water Engineering and Science

5- Jinming Duan, Francis Wilson, Nigel Graham, Joo Hwa Tay (2002) “Adsorption of humic acid by powdered activated carbon in saline water conditions” Desalination 151 (2002) 53-66

6-Jie Ding, Xu Wang, Xue-Fei Zhou, Nan-Qi Ren, Wan-Qian Guo (2010) “CFD optimization of continuous stirred-tank (CSTR) reactor for biohydrogen production” Bioresource Technology

7- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). Wastewater engineering : treatment and reuse. Boston :McGraw-Hill

8-Ansys Theory Guide,2018

INVESTIGATION OF VELOCITY FIELD AROUND BRIDGE ABUTMENTS

BurhanYildiz [1], Mete Koken [2], Mustafa Gogus [3]

[1] Department of Civil Engineering, Mugla Sitki Kocman University, Mugla, Turkey
[2,3] Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey
Emails: burhanyildiz@mu.edu.tr, mkoken@metu.edu.tr, mgogus@metu.edu.tr

Abstract

In this study, point velocity measurements are conducted on a laboratory flume by using a Micro ADV device. By this manner, the velocity field and the coherent structures around the abutments are identified at two horizontal planes around bridge abutments. The experiments are conducted on a 28.5-meter-long, 1.5-meter-wide laboratory flume. In the experiments, two types of abutments, Semi-Circular End (SCE) and spill-through abutments; and various abutment length are used. Besides, a numerical model of the problem is constructed by using "FLOW-3D" CFD software. The results obtained from experimental analysis are compared with CFD simulation results.

Keyword(s): Velocity Field, Experimental Analysis, Numerical Analysis, CFD

1. Introduction

Flow passing through blunt bodies has been among the major research topics in Fluid Mechanics. Flow around bridge hydraulic structures is one of the main application areas for this topic as it may create bridge scour and that is the most vital cause of bridge failures. In particular, for flow around bridge abutments, due to the existence of an obstruction in the flow direction, the flow converges towards the main channel and the downflow is observed at the abutment upstream side wall. The primary vortex develops as a result of these flow features. It is the main agent for local scour around bridge abutments (Kwan and Melville, 1994). Passing the abutment, the flow separates at the tip of the abutment and the wake vortices develop at the separated regions.

This problem has attracted a numerous number of researchers in the history. Among the early researches on this issue, Kwan (1988) investigated the velocity field around short wing-wall abutments. After analyzing the developed vortex regions around abutments, he addressed the primary vortex, as the main cause for the scour around abutments. Then, Kwan and Melville (1994) measured the flow field around a wing-wall bridge abutment with hydrogen bubble technique. They stated that the maximum value of the downflow velocity was measured to be 75% of the approach flow velocity.

Molinas et al. (1998) conducted an experimental study to measure velocity field around vertical wall abutments for various contraction ratios. They have recorded the velocity data by using two devices; a pitot tube and a 2D electromagnetic current meter. The velocity values were recorded in vertical sections with varying longitudinal coordinates. They have resulted the maximum amplification of the velocity as 1.5 times the approach velocity.

Dey and Barbhuiya investigated the turbulent flow field around abutments in different studies for vertical wall abutments, wing-wall abutments and semicircular abutments; for planar bed and scoured bed cases separately (Barbhuiya and Dey (2003), Barbhuiya and Dey (2004), Dey and Barbhuiya (2005a), Dey and Barbhuiya (2005b), Dey and Barbhuiya (2006a), Dey and Barbhuiya (2006b)). They measured the flow data with ADV and obtained Reynolds stresses besides the velocity gradients. The flow field at the downstream is observed as chaotic mainly due to the vortex shedding for the flow past the abutment.

Chrisohoides and Sotiropoulos (2003) demonstrated the coherent structures at the upstream recirculation zone of a rectangular abutment by using digital photography technique. They made an analysis on coherent time scale for the formation of eddies within the upstream recirculation zone. Besides, Chen and Ikeda (1997) studied on the investigation of downstream recirculation zone. They stated that, this zone extends up to 14 abutment lengths long downstream.

With the increase in computer processing capabilities and the numerical simulation technology, the problem has been started to be analyzed numerically by using CFD techniques. The early studies handled the problem with 2-D models, although it should be handled with 3-D models due to the high three dimensionality of the problem. Among the early studies; Zaghloul and McCorquodale (1973), Liu et al. (1994) and Biglari and Sturm (1998) modeled the problem by using 1400, 3000 and 8000 computation cells, respectively. They have observed the separation line and the velocity increase region due to the contraction.

The early 3-D CFD models of the open channel flow problems were done by Krishnappan and Lau (1986), Prinos (1990), Naot et al. (1993) and Pezzinga (1994) mainly concerning on the uniform open channel flow on the compound channels. Among the studies for bridges; Mayerle et al. (1995) have constructed a 3-D model for the flow around a spur dike. They constructed a finite element-finite differences mixture model solving time dependent nonlinear Navier-Stokes equations, where eddy viscosity term was computed with six alternative ways. The time derivative was solved explicitly with the fourth order Runge-Kutta method. They observed some worthy correlations after comparing the simulation results with experimental data.

Oullion and Dartus (1997) have constructed a 3-D model for the flow around groyne by using k-ε turbulence model. The constructed mesh has included around 9000 grid points. They compared the results with the experimental findings and they gave importance mainly on the prediction of the downstream recirculation area. The model underestimated the recirculation area slightly by 7%.

Chrisohoides et al. (2003) modeled the fluid flow around an abutment by using 3-D unsteady RANS simulations with k-ω turbulence model. They used a grid with 1.16×10^6 node points. By the help of the large grid size, they analyzed the flow features more consistently.

Koken and Constantinescu (2008a) and (2008b) have analyzed the initiation and the final stages of the scouring process around spur dikes by using LES turbulence model with Re = 18000. The first study has analyzed the coherent structures at the initiation of the scouring. The simulations were conducted for a flatbed channel to visualize the vortices at the initiation of the motion. An unstructured mesh was generated with around 4×10^6 elements. The velocity

and streamline comparisons with the experiments gave good correlations. The temporal and the spatial changes of the vertical flow structures within the flow field were investigated in the study. The second study (Koken and Constantinescu (2008b)) investigated the vortex flow field around bridge abutments at the final stages of the scouring process.

Koken and Constantinescu (2009) have analyzed the problem by using DES turbulence model. They conducted simulations for two Reynolds numbers (Re= $5x10^5$ and Re= 18000) to account for the scale effects. It was stated that; with the increase in Reynolds Number, the eddy content of the Detached Shear Layer and the coherency of the eddies increased significantly. By comparing the verification results, it has stated that DES model shows higher competency for high Reynolds number flow.

In this study, velocity fields around bridge abutments are investigated using experimental and numerical approaches. First, experiments are conducted on a non-erodible, 28.5 m-long laboratory flume at METU Hydraulics Laboratory. The point measurements are recorded at two selected horizontal planes around the abutment. A micro ADV device with 50 Hz frequency is used for recordings. In the second part of the study, a CFD model is constructed by using FLOW-3D software. In the simulations special boundary conditions are selected to obtain fully developed flow conditions at the open channel. Two turbulence models are tested as well to identify their capabilities. Finally, the data obtained from experimental analysis is compared with the CFD simulation results.

2. Experimental Equipment and Procedure

All experiments of this study are conducted at METU Hydraulics Laboratory. A laboratory flume is used in the experiments with 28.5 m length and 1.5 m width. The flume is rectangular in cross-section with bed slope, S_0= 0.001. The inlet flow to the flume is controlled by a weir and flow regulators. There is a tail water gate at the outlet to control the flow depth in the flume. The discharge of the flow, the velocity at the main channel and the flow depth are used as Q= 67.8 lt/s, U= 0.335 m/s and D= 0.135 m, respectively. The Froude number and the Reynolds number of the flow are calculated as 0.29 and 45000, respectively. The measurements are taken on two horizontal planes parallel to the flume bed (Figure 1) with a Micro ADV Device (Figure 2). The first plane is chosen at a depth D_1= 0.1D above the bed, to observe the flow structures near the flume bed. These are effective in scour process. The second plane is chosen at the mid-depth of the flow (D_2= 0.5D above the bed) to observe the average quantities of the flow. The region of recorded measurements covers a region between approximately three times of the abutment length in the upstream direction from the abutment axis to an approximately 12 times of the abutment length in the downstream direction.

The experiments are conducted by using SCE abutments and spill-through abutments, separately. A picture of SCE abutment placed at the flume is given in Figures 3. The experiments for the SCE abutments are conducted for three abutment lengths with L = 15, 25 and 35 cm to see the abutment length effect in the flow field. These lengths correspond to channel contraction ratios (β) of 0.100, 0.167 and 0.233, respectively. Each measurement plane for SCE abutments include 600 to 2400 recording points and the distribution of the points are refined close to the abutment to increase the resolution. The data at each point are

recorded with an average duration of 30 to 60 seconds at a 50 Hz frequency by using Micro ADV. By this manner the fluctuation parts of the velocities in three Cartesian coordinates were taken into account. These values are used in computing the turbulence quantities.
The last sets of the velocity field measurements are conducted by using the spill-through abutment model with L = 8.9 cm (β= 0.059). Two measurement planes are used at the same depths as used for SCE abutments (Figure 1). Approximately 700 data points are selected for each plane and the data at each point are recorded with an average duration of 150 seconds at a 50 Hz frequency.

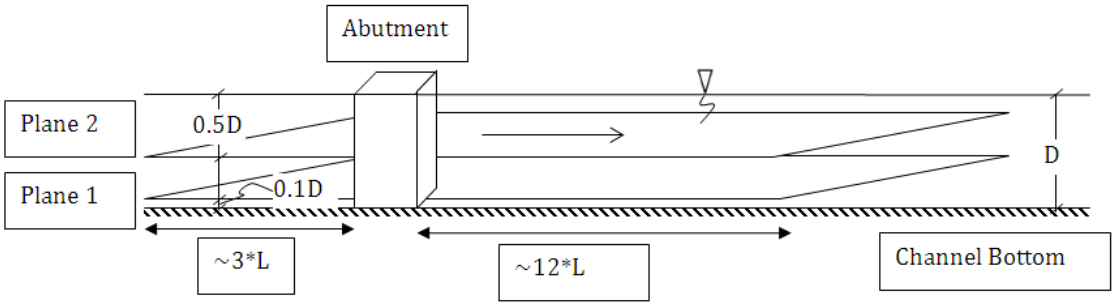


Figure 1 – Horizontal velocity data measurement planes around abutment

Figure 2 – SonTek Micro ADV device

3. Numerical Model

The numerical analysis of the flow around abutments is accomplished by using commercially available CFD solver software, FLOW-3D ver. 10.1 by Flow Science Inc. Before conducting the simulations, a preliminary simulation is run on a periodic channel (infinitely long channel) without placing an abutment model, to obtain the fully developed flow to be used as the inlet boundary condition for the main simulations. Afterwards, the simulations are done for one case only to make a comparison with the experimental data.

Figure 3 – Picture of a SCE abutment model at the flume

The case with a 15-cm-long SCE abutment is selected and the corresponding geometry is constructed along with the mesh (Figure 4). A structured mesh is developed having approximately $1.98*10^5$ real cells and it is constructed by making mesh refinement around abutment, where the vortex structures form. The domain of the simulations is extended 1.1 m upstream of the abutment and 5 m downstream of the abutment in the streamwise direction. Two turbulence model solvers, RNG model and LES model are used as these ones are known to have high capacities in solving open channel flow (FLOW-3D, 2013). The simulations are run for a simulation time of t= 300 seconds and the flow conditions were reached a nearly steady condition at 300 seconds. Each simulation is finalized in around 50 minutes with a 16-processor cluster PC.

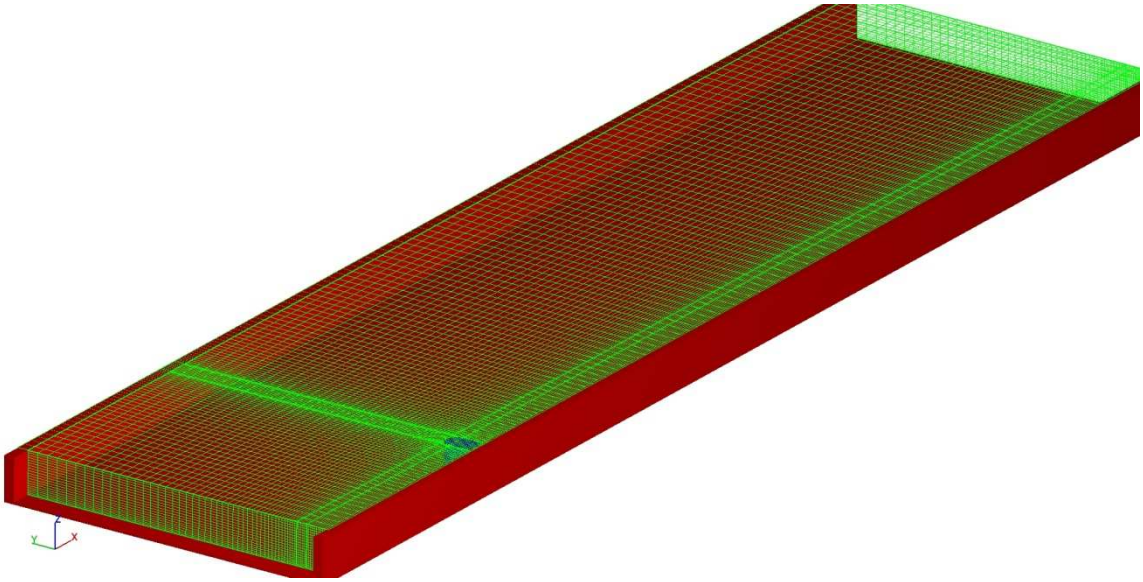


Figure 4 – The mesh constructed for the numerical model

4. Results

4.1. Results of the Experiments

After the measurements are taken, the average and fluctuation parts of the velocities in three Cartesian coordinates are obtained for each data measurement points. The data points having average correlation values less than 70% are excluded from the data set. An acceleration spike filter, which is integrated in the processing software, is used to eliminate unrealistic velocity measurements. Then, by using the mean velocities on each data point, velocity contours on three directions and streamlines of the flow are obtained for each plane separately. Also, by using the fluctuation values of the velocities, turbulent kinetic energy (tke) values are gathered and the contours showing the variation of dimensionless tke are obtained.

Resultant figures for one case is given here as a sample to save space (Figure 5). In the figure, velocity contours, streamlines and dimensionless tke contours of the flow are given. The dimensionless tke contours and the streamlines are shown together to highlight the tke increase in the flow separation zones. The velocity values are non-dimensionalized with the mean approach channel velocity (U= 0.335 m/s). It is observed that, the flow accelerates close to the abutment tip due to section contraction. The x-component of the velocity is higher in mid-depth of the flow compared with the depth close to the bed. It increases to 1.7 times of the approach flow velocity for the shortest abutment length of the SCE abutment (β= 0.100). As the abutment length increases, the contraction ratio of the section increases and the flow accelerates more. Then, the ratio of the accelerated velocity to the approach flow velocity increases to 1.94 and 2.17 for contraction ratios, β= 0.167and 0.233, respectively. The maximum increase of the velocity around the spill-through abutments equals to the 1.35 times the approach flow velocity. The difference of the contraction ratios would be the reason of the difference in maximum velocity value at the contracted section, along with the abutment type. Moreover, the dimensionless lateral velocity component directs through flume axis and increases at the upstream face of the abutment as the flow faces with the obstruction. While the lateral velocity gives higher values at the depth closer to the flume bed for SCE abutments, the values at the deeper depth and the mid-depth are close at spill-through abutment. It should also be noted that, while the contraction ratio increases, the lateral velocity increases for the SCE abutment. It is around 1.5 times of the approach flow velocity for the largest contraction value and at the depth closer to the flume bed.

It is observed that, the maximum values of the w/U values in gravity direction are higher for the spill-through abutment than the values of SCE abutments. Besides, the location of the primary vortex can be identified after observing the rapid increase and decreases in w/U starting from just upstream of the abutment and continuing towards downstream. Besides, from the resultant figures, downstream recirculating regions are captured and in some cases, the upstream recirculating regions are captured as well (Figure 5 (d)). It is seen that as the abutment length increases the area of the recirculation regions increases.

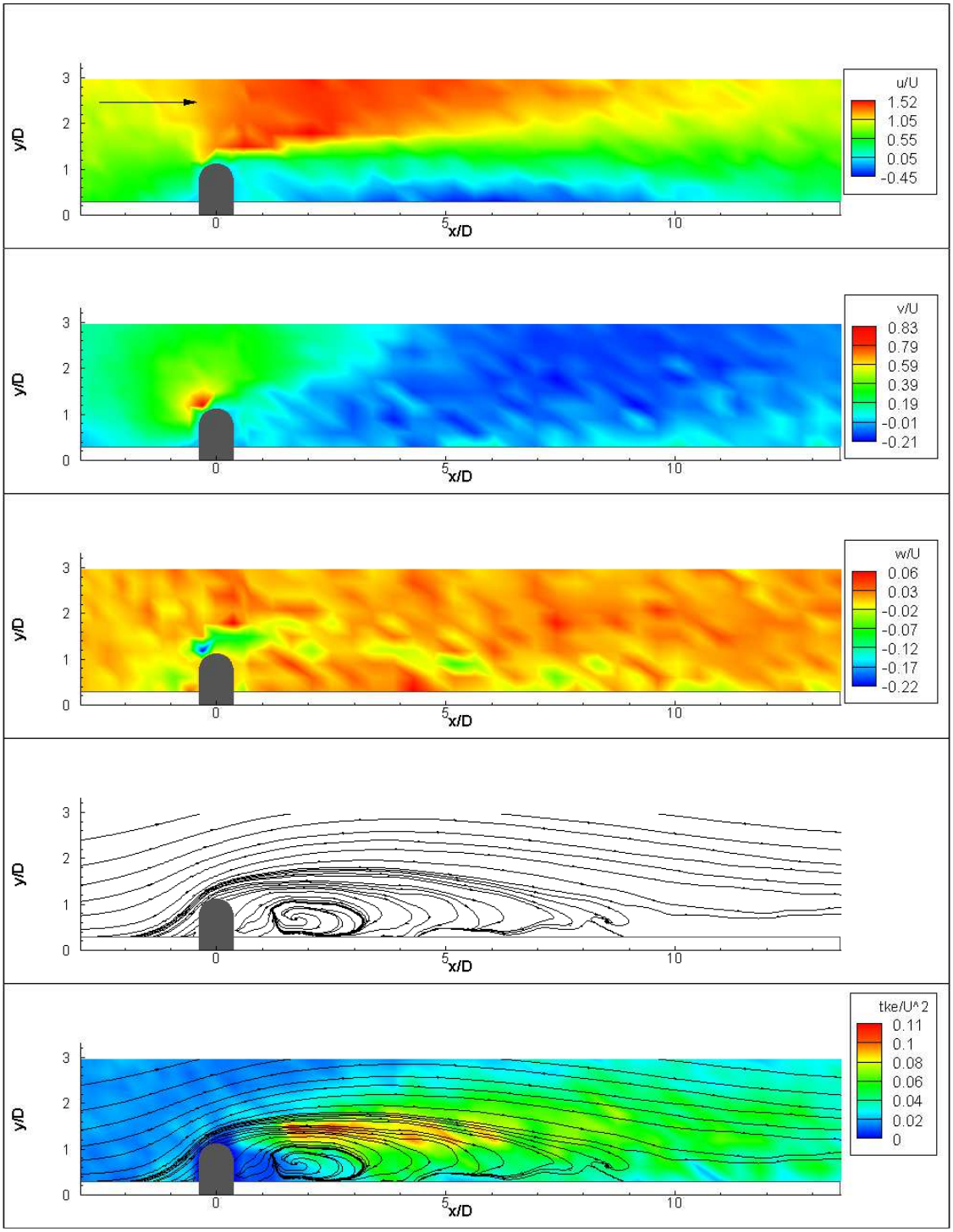


Figure 5 – SCE abutment with abutment length, L=15 cm, and at flow depth, D_1= 0.1D: (a) Streamwise velocity contours (b) Lateral velocity contours (c) Velocity contours in gravity direction (d) Streamlines of the flow (e) tke contours with streamlines

For all abutment lengths, it is observed that from depth D_1 to depth D_2, the core of the recirculation region shifts downstream significantly for the SCE abutment. On the contrary, for the spill-through abutment, the core of the downstream recirculation zone shifts slightly upstream from depth D_1 to depth D_2. For SCE abutment, the length of the downstream recirculation region in the transverse direction increases slightly from depth D_1 to depth D_2. It increases from 1.81D to 2.04D for abutment length L = 15 cm, from 3.09D to 3.67D for abutment length L = 25 cm and from 4.16D to 5.70D for abutment length L = 35 cm. However, the corresponding length does not change significantly with depth for the spill-through abutment. The length of the downstream recirculation region in the longitudinal direction is compared for the shortest SCE and the spill-through abutment. For SCE abutment, this length increases from 8.65D to 8.84D from depth D_1 to depth D_2; whereas, for spill-through abutment, the length increases from 2.61D to 2.86D from depth D_1 to depth D_2.

Moreover, tke increases in the regions where coherent structures have influence. From Figure 5(e), it is observed that tke increase at the downstream of the abutment, which correspond to the detached shear layer zone. It can be certainly stated that each horizontal measurement plane cuts through the detached shear layer zone as that zone consists of vortex tubes forming vertically. Besides, the maximum tke values at D_2 depths are higher than the values at D_1 depths. This might be related to the loss of coherence for the vortex tubes close to the channel bed. However, on the upstream side of the abutment, tke values are larger at depths D_1 which are close to the flume bed. These increases correspond to the region of primary vortex formation. It is known that the primary vortex forms around the abutments close to the flume bed. Therefore, any tke amplifications due to primary vortex formation were not observed at D_2 depths. tke amplifications were not observed at D_1 depths of the shortest two abutment lengths of SCE abutments as well. The primary vortex formation is observable for the SCE abutment with the longest abutment length and for the spill-through abutment.

4.2. Comparison of the Experimental Results with the Simulation Results

Streamwise velocity magnitudes of the simulation at different transversal sections are compared with the experimental results. In Figure 6, the comparison graphs are given for RNG model. It can be seen from the figure that the simulation gives close results to the experimental results.

The streamwise velocity magnitudes, at the same sections are compared with the experimental values for the LES model and they are given in Figures 7. One can see from these graphs that, the LES model has solved the flow accurately and it gives closer results to the experimental ones compared with the results of the RNG model.

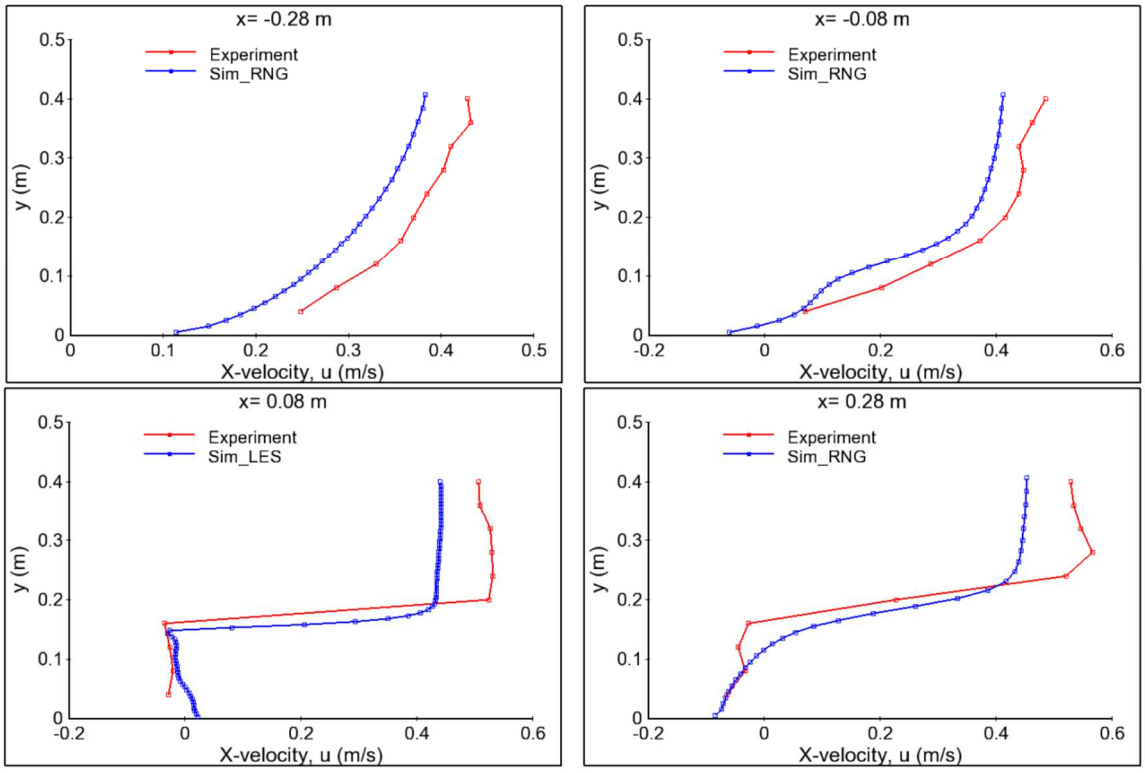


Figure 6 – X-velocity comparisons of RNG Simulation at depth D_1

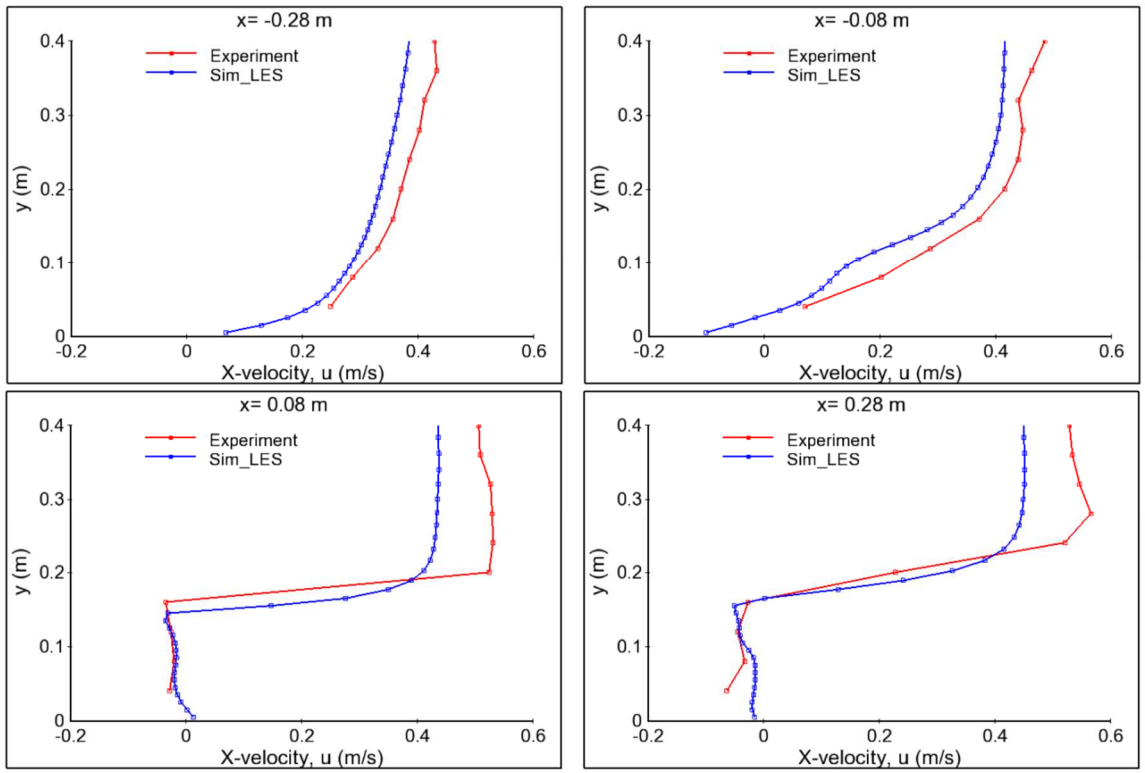


Figure 7 – X-velocity comparisons of LES Simulation at depth D_1

5. Conclusion

In this study, results of an experimental work investigating flow around bridge abutments are presented. Besides, a CFD model is constructed to make a comparison between experimental and numerical models. Two types of abutments are used for experiments to include the effect of abutment type. Besides, various abutment lengths are selected to see the effect of it. Numerical analysis part is done for comparison and for testing the abilities of two different turbulence models.

It is obtained from the experimental results that rise in abutment length amplifies the values of the streamwise velocity and turbulence kinetic energy. Besides, spill-through abutment resulted with much less flow parameters' value amplification at similar contraction ratios comparing with the SCE abutment. Moreover, downstream recirculation areas are captured at experimental results as well. It is observed that the core of the recirculation zone shifts downstream significantly from D_1 to D_2 for SCE abutments. Besides, although both turbulence models performed well to predict the velocity field around a bridge abutment, it should be mentioned that LES model gives slightly closer results to the experimental data comparing with the RNG model.

Acknowledgements

This study is supported by TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey) under Project No: 111M377 which is gratefully acknowledged here.

References

1. Kwan, T.F. and Melville, B. W. (1994) "Local scour and flow measurements at bridge abutments", Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 32, No.5, pp 661-673
2. Kwan, T. F. (1988) "A study of abutment scour", Rep. No. 451, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand
3. Molinas, A., Kheireldin, K. and Wu, B. (1998) "Shear Stress around Vertical Wall Abutments", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 124, No. 8, pp 822-830
4. Barbhuiya, A. K. and Dey, S. (2003) "Velocity and turbulence at a wing-wall abutment", Sadhana Vol. 28, pp 35–56
5. Barbhuiya, A. K. and Dey, S. (2004) "Measurements of turbulent flow field at a vertical semicircular cylinder attached to the sidewall of a rectangular channel", Flow Measurement and Instrumentation Vol. 15, pp 87–96
6. Dey, S. and Barbhuiya, A. K. (2005a) "Flow Field at a Vertical-Wall Abutment", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 131, No. 12, pp 1126-1135
7. Dey, S. and Barbhuiya, A. K. (2005b) "Turbulent flow field in a scour hole at a semicircular abutment", Canadian Journal of Civil Engineering, 32, pp 213-232
8. Dey, S. and Barbhuiya, A. K. (2006a) "Velocity and turbulence in a scour hole at a vertical-wall abutment", Flow Measurement and Instrumentation, 17, pp 13-21
9. Dey, S. and Barbhuiya, A. K. (2006b) "3D flow field in a scour hole at a wing-wall abutment", Journal of Hydraulic Research, International Association for Hydraulic Research (IAHR), Vol. 44, No. 1, pp. 33-50
10. Chrisohoides, A. and Sotiropoulos, F. (2003) "Experimental visualization of Lagrangian coherent structures in aperiodic flows", Physics of Fluids, Vol. 15, No. 3, pp 25-28
11. Chen, F. and Ikeda, S. (1997) "Horizontal separation flows in shallow open channels with spur dikes", Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering, Vol 15, No. 2, pp 15-29

12. Zaghloul, N. and McCorquodale, J. (1973) “A numerical model for flow past a spur-dike” Proceedings of the First Canadian Hydraulic Conference, Edmonton, Canada
13. Liu, J., Tominaga, A. and Nagao, M. (1994) “Numerical simulation of the flow around the spur dikes with certain configuration and angles with bank”, Journal of Hydroscience and Engineering, Vol. 12, No. 2, 85-100
14. Biglari, B. and Sturm, T. W. (1998) “Numerical modeling of flow around bridge abutments in compound channel”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE Vol. 124, pp 156–164
15. Krishnappan, B.G. and Lau L.Y. (1986) “Turbulence Modeling of Flood Plain Flows”, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.112, No. 4, pp 251-266
16. Prinos, P. (1990) “Turbulence modeling of main channel-floodplain flows with an algebraic stress model” Int. Conf. on River Flood Hydr.,W. R. White ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.
17. Naot, D., Nezu, I., and Nakagawa, H. (1993) “Hydrodynamic behavior of compound rectangular open channels” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 3, pp 390–408
18. Pezzinga, G. (1994) “Velocity distribution in compound channel flows by numerical modeling”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 10, pp 1176-1197
19. Mayerle, R., Toro, F. and Wang, S. (1995) “Verification of a three-dimensional numerical model simulation of the flow in the vicinity of spur dikes” Journal of Hydraulic Research, Vol. 33, No. 2, pp 243-256
20. Ouillon, S. and Dartus, D. (1997) “Three-dimensional computation of flow around groyne”, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 11, pp 962-970
21. Chrisohoides, A., Sotiropoulos, F. and Strum, T. W. (2003) “Coherent structures in flat-bed abutment flow: computational fluid dynamics simulations and experiments”, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 129, No. 3,pp 177-186
22. Koken, M. and Constantinescu, G. (2008a) “An investigation of the flow and scour mechanisms around isolated spur dikes in a shallow open channel: 1. Conditions corresponding to the initiation of the erosion and deposition process”, Water Resour. Res., 44, W08406
23. Koken, M., and G. Constantinescu (2008b) “An investigation of the flow and scour mechanisms around isolated spur dikes in a shallow open channel: 2. Conditions corresponding to the final stages of the erosion and deposition process”, Water Resour. Res., 44, W08407
24. Koken, M., and G. Constantinescu (2009) “An investigation of the dynamics of coherent structures in a turbulent channel flow with a vertical sidewall obstruction”, Physics of Fluids, 21, 085104
25. FLOW-3D (2013) “User Manual”, Flow Science, Inc.

Estimation of Manganese(II) Ion Concentration from Turbidity Measurements from a Dam Reservoir: A Case Study from the Erfelek Dam (Sinop), Northeastern Turkey

(Oral Presentation)

Osman Tuğrul BAKİ[1], Gül Eda KARADENİZ[1], Adem BAYRAM[1]

[1] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey
Emails: tbaki@ktu.edu.tr, eddakaradeniz@gmail.com, abayram@ktu.edu.tr

Abstract

In this study, it was aimed to estimate the manganese(II) ion (Mn^{2+}) concentration from in situ turbidity measurements from the dam. The Mn^{2+} concentration and turbidity were monitored daily at the drinking water treatment plants of the Sinop Municipality during a period of one year from 2014 to 2015. The conventional regression analysis (CRA) and artificial neural networks (ANNs) were used for estimation of Mn^{2+} concentration. The CRA was performed with four different equations. Linear, quadratic, exponential, and power functions were applied to the training of the models. In addition to different learning rate and momentum, two different modeling algorithms, namely Levenberg-Marquardt and gradient descent with momentum were used in the ANNs. In all models data were divided into training, validation, and test data sets. The estimation results were compared with each other employing root mean squared error, mean absolute error, and determination coefficients. It was concluded that the CRA and ANNs can be used as a convenient method for estimating Mn^{2+} concentration in a fast and cost-effective manner with turbidity.

Keywords: Conventional regression analysis; Erfelek Dam reservoir; Manganese(II) ion concentration; Sinop Province; Turbidity.

1. Introduction

Water is one of the important substances that constitute the basis of life. All living creatures need clean water to maintain a healthy life. Rapid population growth, increase in settlement along the river basin, urbanization and industrialization result in water pollution and environmental degradation. Surface water pollution is one of the most serious problems in developing countries [1, 2].

Harmful biological factors can be found in the raw water in nature. These harmful factors can also have epidemic disease-causing effects on living creatures. Drinking water treatment plants (DWTPs) perform the removal of harmful microorganisms in the raw water and the supply of reliable potable water. The DWTPs play an active role in the removal of soluble/insoluble harmful substances in water and in the protection of human health.

In parallel with urbanization and increasing population, the amount of water needed also increases. Water is supplied from various sources to meet increasing water demand. In order

to meet increasing water demand, water supplied from various sources. The raw water supplied from natural sources is collected and brought to the DWTPs and distributed to the city through the potable water pipeline.

Water consumption varies according to seasons, days of the week and hours of the day. In order to meet the demand for variable water, raw water can be deposited in basins. When required, it is treated with the DWTPs and conveyed to users as drinking and irrigation via the potable water pipeline. Nowadays, the raw water of many provinces is supplied by dam reservoirs.

The conventional method of measuring heavy metals is involved in the sampling and a time-consuming and expensive laboratory analysis. Therefore, an accurate and reliable estimation of non-linear hydrological events is also important [3]. Therefore, the investigation of a method that can predict the concentrations of heavy metals in water is necessary [4]. For complex hydrologic systems or non-linear modeling applications, where physically based models do not perform well, artificial neural networks (ANNs) have proven to be useful [5]. Various researchers have used ANNs including estimation of suspended sediment concentration [6], determination heavy metal in water [7], modeling of dissolved oxygen concentration in a Turkish watershed [8], time series predictions of runoff or flow [9]. Although ANNs has already been used for determining many multicomponent systems, to the knowledge of the authors, no study has carried out the comparison of the Levenberg-Marquardt (LM) and gradient descent with momentum (GDM), algorithms with ANNs for estimation of Mn^{2+} concentration.

In this study, the attention has been focused on the estimation of the Mn^{2+} concentration from the Erfelek Dam Reservoir based on turbidity measurements with conventional regression analysis (CRA) and ANNs.

2. The Study Area and Data Set

2.1. Sinop Municipality Drinking Water Treatment Plant

In the Sinop Province drinking water project, the raw water is taken from the Erfelek Dam Reservoir, and it is treated at the Sinop Municipality DWTPs having capacity of 54,000 m^3/day. The drinking water is provided for Sinop City Center, Gerze District, Erfelek District, and 48 villages. The location of Erfelek Dam and the view of the Sinop Municipality DWTPs are shown in Fig. 1 and 2, respectively.

Fig. 1. The location of Erfelek Dam Reservoir, Sinop Province, Turkey

Fig. 2. The view of Sinop Municipality DWTPs

2.2. Data Set

In this study, turbidity measurement values were employed to estimate Mn^{2+} concentration. The values used in the analyses are the values observed at the Sinop Municipality DWTPs between 2014 and 2015. The measurements were performed on a daily basis. On technical maintenance days, it was not possible to carry out the measurements. The basic statistical data of these variables are summarized in Table 1.

Table 1. Basic statistics of the daily monitored parameters from 2014 to 2015

Parameter	Unit	X_{min}	X_{mean}	X_{max}	S_x	C_{sx}	C_v
Mn^{2+}	mg/L	0.01	0.11	0.86	0.09	3.00	0.82
Turbidity	NTU	1.34	6.90	41.60	6.18	2.11	0.89

In Table 1, X_{min}, X_{mean}, X_{max}, S_x, C_{sx}, and C_v (S_x/X_{mean}) refer to the minimum value, mean value, maximum value, standard deviation, skewness coefficient, and coefficient of variation, respectively.

3. Methods

3.1. Conventional Regression Analysis

As in many fields, it is not possible to explain a dependent variable with a single argument in engineering problems. Too many variables can come together and influence another variable. Such variables may also interfere with each other. For this reason, CRA is applied in cases where more than one variable should be used. Nonlinear regression is a type of regression analysis that can be applied to one or more parameters without a linear relationship between them. Data are analyzed by fitting back-to-back approaches.

Since the change of the Mn^{2+} concentration is not related to a linear function, four types of regression model were used in the study to estimate this parameter. The exponential function (EF), power function (PF), and quadratic function (QF) as well as linear function (LF) were also used in the study. Within the generated models, the regression coefficients were found by using the models giving the best result in the training set and the same steps were applied in the test set. The functions used to set the regression models are given below.

$$y_{LF} = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + ... + b_m * x_m \quad \text{(Eq. 1)}$$

$$y_{EF} = b_0 + \exp(b_1 + b_2 * x_1 + b_3 * x_2 + ... + b_m * x_{m-1}) \quad \text{(Eq. 2)}$$

$$y_{PF} = b_0 * x_1^{b_1} * x_2^{b_2} * ... * x_m^{b_m} \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$y_{QF} = b_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_1 * x_1 \quad \text{(Eq. 4)}$$

Where y shows the estimated value when the independent variables are x_1, x_2, …, x_m and regression coefficients are b_0, b_1, …, b_m [10].

3.2. Artificial Neural Networks

ANNs are defined as complex systems in which the artificial neural cells connected to each other with different connecting geometries, inspired by human brain structure. ANNs, which can be characterized as an information processor, are possible to simulate a black box that produces output against a given input [11]. The schematic view of the ANNs is given in Fig. 3.

Neural networks can detect similarities in inputs; although it does not have certain input values and it has never seen it before. This feature provides excellent interpolation capabilities, especially when some of the input data is not exact [12].

ANNs can understand the variability in information and offer a harmonious solution. ANNs consists of artificial nerve cells that bind to each other in various forms and are usually organized in layers. It can be implemented as hardware in the electronic circuitry or as

software in the computers. In accordance with the brain information processing method, ANNs are a parallel distributed processor with the ability to collect information after a learning process, store connection weights between cells, store and generalize this information. The learning process includes learning algorithms that allow the renewal of the ANNs weights to achieve the desired goal. However, there are some disadvantages of ANNs. These are briefly; hardware dependence, unexplained behavior of the network, determination of proper network structure, the difficulty of showing the problem to the network, and the duration of the network is unknown [6, 13].

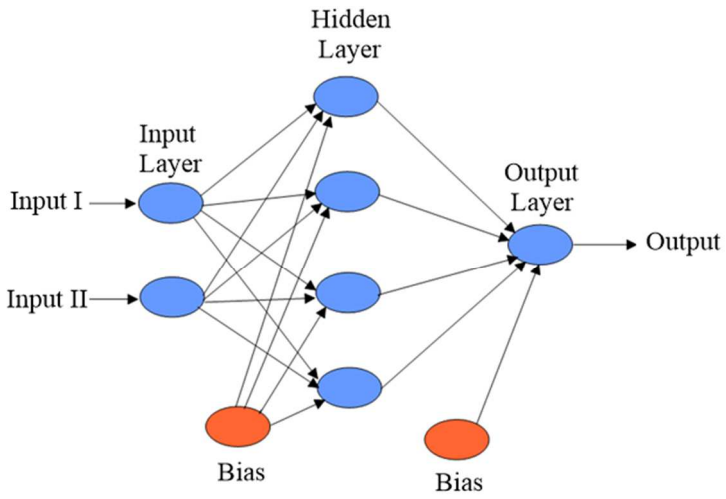


Fig 3. The schematic view of the artificial neural networks established

3.3. Performance Evaluation Criteria

There are lots of evaluation criteria which have been used to make a good comparison between models. All models were compared with root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and determination coefficient (R^2). The relations regarding these criteria are as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(M - E)^2} \quad \text{(Eq. 5)}$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|M - E\right| \quad \text{(Eq. 6)}$$

$$R^2 = \frac{(M - \overline{M})(E - \overline{E})}{\left[\sum_{i=1}^{N}\left(M - \overline{M}\right)^2\right]^{1/2}\left[\sum_{i=1}^{N}\left(E - \overline{E}\right)^2\right]^{1/2}} \quad \text{(Eq. 7)}$$

In the equations;

M : Measured value of Mn^{2+} concentration,

E : Estimated value of Mn^{2+} concentration,

N : Number of data,

$\overline{M}$: Mean of the measured values of the Mn^{2+} concentration,

$\overline{E}$: Mean of the estimated values of the Mn^{2+} concentration.

4. Application and Results

4.1. Application of Conventional Regression Analysis

In the modeling process, firstly the CRA was utilized to optimize unknown coefficients of the independent variable (turbidity) with four regression functions. Then, the validation data sets were generated using these coefficients for each function. The CRA method was used to obtain the coefficients that gave the closest values to the measurement values of Mn^{2+} concentration. In all analyses conducted with the CRA, data were arranged and divided into three separate parts as training, test and validation sets. In the modeling, 187 data were used in the training, 62 data in the validation phase, and the remaining 62 data used in the testing of the model. Using the measurement data, the CRA was applied to the EF, LF, PF, and QF for each model.

4.2. Application of Artificial Neural Networks Algorithms

In the ANNs method, two different training algorithms were used for estimating Mn^{2+} concentration with considering turbidity measurement. The number of hidden layer neurons was changed from 5 to 20 through trial and error. The daily measuring data were divided into 187 for training, 62 for validation, and 62 for testing patterns. The purpose of this analysis is to find the estimation model giving the closest results to the measurement data.

In this study, ANNs architecture was established by using the multilayer feed-forward neural network, and a three-layer network with one hidden layer was selected. In this study, modeling was performed using two different learning algorithms: LM and GDM algorithms. The LM algorithm is an iterative technique that locates the minimum of a multivariate function that is expressed as the sum of squares of non-linear real-valued functions [14, 15]. The numbers of hidden layer neurons were changed from 5 to 20. The learning rate and momentum changed as 0.1, 0.5, and 1.0 for each modeling and it is summarized in Table 2. The number of the maximum epoch was selected as 15,000.

Table 2. The variables used in the ANNs models

The numbers of hidden layer neurons	Learning rate	Momentum
5, 10, 15, and 20	0.1	0.1
		0.5
		1.0
	0.5	0.1
		0.5
		1.0
	1.0	0.1
		0.5
		1.0

4.3. Results and Discussion

Considering the results from the CRA, the fittest coefficients obtained for the functions are presented in Table 3. Then, validation data sets were produced for each function by using these coefficients.

Table 3. The coefficients obtained from the CRA

Coefficients	EF	LF	PF	QF
b_0	-3.779	0.013	0.023	0.013
b_1	1.333	0.015	0.852	0.015
b_2	0.00385376	-	-	0.00000047

The results of the analyses were compared with the results obtained from the best model validation set. Table 4 shows the error results of the test and verification sets for the ANNs and CRA functions.

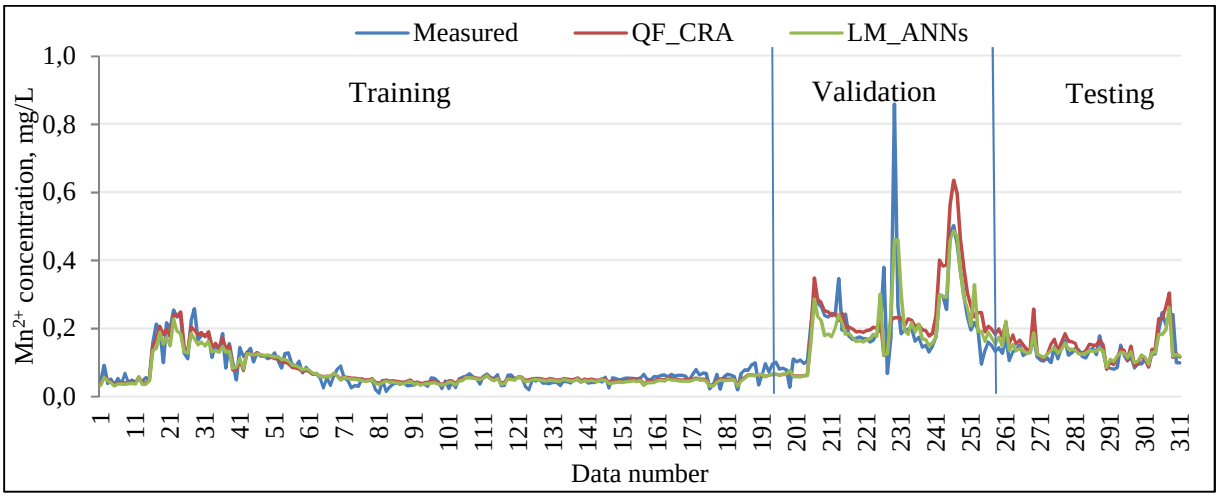
In the ANNs model, analyses were performed in total using different learning algorithms, the number of hidden layer neurons, learning rate, and momentum. For each learning architecture, the models having the higher R^2 and lower error values were taken into account.

Table 4. The performances of the models in the Mn^{2+} concentration estimation

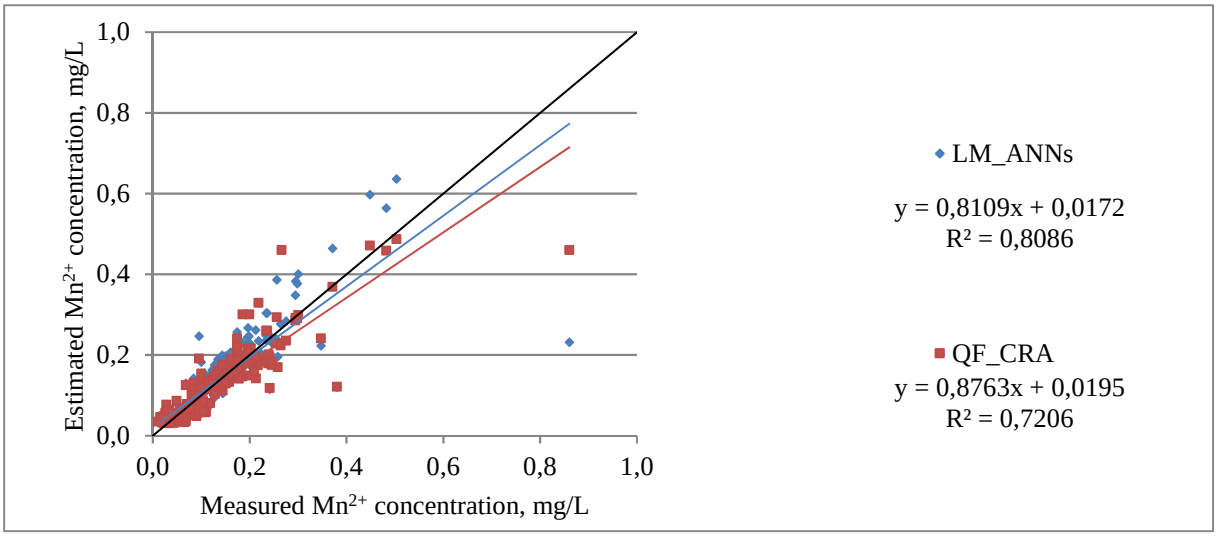
Model		Validation			Testing		
		RMSE	MAE	R^2	RMSE	MAE	R^2
CRA	EF	0.1042	0.0585	0.7055	0.0417	0.0304	0.7710
	LF	0.1013	0.0558	0.7072	0.0414	0.0305	0.7709
	PF	0.1012	0.0557	0.7072	0.0414	0.0304	0.7709
	QF	***0.0958***	***0.0473***	***0.7100***	***0.0392***	***0.0298***	***0.7700***
ANNs	GDM	0.0953	0.0442	0.7081	0.0371	0.0275	0.7707
	LM	***0.0758***	***0.0424***	***0.8272***	***0.0312***	***0.0205***	***0.7989***

The smallest RMSE and MAE values for validation set were 0.0958 and 0.0473 mg/L for QF_CRA, 0.0953 and 0.0442 mg/L for GDM_ANNs, 0.0758 and 0.0424 mg/L for LM_ANNs. The highest R^2 values for validation set were 0.7100, 0.7081, and 0.8272 for QF_CRA, GDM_ANNs, and LM_ANNs, respectively.

Table 4 shows that the lower RMSE and MAE and the higher R^2 values of the validation set obtained from the LM algorithm for ANNs and QF for CRA.



(a)



(b)

Fig. 4. The time series and scatter diagrams

Considering the error values from the validation and testing, the most accurate prediction model is determined as LM_ANNs. In the validation, the algorithm and function having lower error values were compared in the form of time series and scattering graphs in Fig. 4.

It was seen from Fig.4 (a) that the LM-ANNs estimation results give better results than the QF_CRA considering the measurement values. Fig. 4 (a) shows the most appropriate

estimation in the established models, and the LM-ANNs model follows successfully the highest and peak values. It was seen from Fig. 4 (b) that the LM-ANNs results scattered very close to the diagonal in the scatter diagram drawn for the estimated data set. The LM-ANNs model had lower error values and higher R^2 than other established models.

5. Conclusions and Recommendations

In this study, the estimation of manganese(II) ion (Mn^{2+}) concentration was carried out using artificial neural networks (ANNs). Levenberg-Marquardt (LM) and gradient descent with momentum (GDM) algorithms were used training of ANNs. The Mn^{2+} concentration and turbidity were measured at the drinking water treatment plants of the Sinop Municipality were used modeling. In addition to ANNs, conventional regression analysis (CRA) was performed with four different functions (namely exponential, linear, power, and quadratic functions). The main results of this study are as follows:

✓ The comparison between the results of the regression functions shows that the most appropriate equations are derived from quadratic functions.

✓ The comparison results show that LM_ANNs has a better performance than GDM_ANNs and CRA in predicting the Mn^{2+} concentration.

✓ This study shows that it is a potentially suitable independent variable for estimating the Mn^{2+} concentration due to the sufficient relationship between the concentration of Mn^{2+} concentration and turbidity. This model can be used as a fast and cost-effective method.

In future studies, more independent variables can be used than measuring studies to produce better results. The applied methods can also be compared with other soft computing techniques including heuristic and metaheuristic algorithms.

6. Acknowledgements

The authors feel indebted to the staffs, who are involved in the turbidity and manganese(II) ion concentration measurements, of the Sinop Municipality Drinking Water Treatment Plants.

References

1. Phiri, O., Mumba, P., Moyo, B.H.Z., and Kadewa, W. (2005). Assessment of the impact of industrial effluents on water quality of receiving rivers in urban areas of Malawi. International Journal of Environmental Science & Technology, 2(3): 237-244.

2. Bayram, A. (2011). A study on seasonal variation of the Stream Harsit water quality and estimation of the suspended sediment concentration using artificial neural networks. Ph.D. Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey (in Turkish with English abstract).

3. Jain, S. (2008). Development of integrated discharge and sediment rating relation using a compound neural network. Journal of Hydrologic Engineering, 13: 124-131.

4. Rooki, R., Ardejani, F.D., Aryafar, A., and Asadi, A.B. (2011). Prediction of heavy metals in acid mine drainage using artificial neural network from the Shur River of the Sarcheshmeh porphyry copper mine, Southeast Iran. Environmental Earth Sciences, 64(5): 1303-1316.

5. Melesse, A.M., Ahmad, S., McClain, M.E., Wang, X., and Lim, Y.H. (2011). Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network approach. Agricultural Water Management, 98(5): 855-866.

6. Bayram, A., Kankal, M., and Onsoy, H. (2012). Estimation of suspended sediment concentration from turbidity measurements using artificial neural networks. Environmental Monitoring and Assessment, 184(7): 4355-4365.

7. Ji, H., Xu, Y., Li, S., Xin, H., and Cao, H. (2012). Simultaneous determination of iron and manganese in water using artificial neural network catalytic spectrophotometric method. Journal of Ocean University of China, 11(3): 323-330.

8. Bayram, A., and Kankal, M. (2015). Artificial neural network modeling of dissolved oxygen concentration in a Turkish Watershed. Polish Journal of Environmental Studies, 24(4): 1507-1515.

9. Nacar, S., Hınıs, M.A., and Kankal, M. (2017). Forecasting daily streamflow discharges using various neural network models and training algorithms. KSCE Journal of Civil Engineering: 22(9): 3676-3685.

10. Baki, O.T. (2016). Modeling of biochemical oxygen demand on wastewater treatment plant by using different artificial intelligence methods: Antalya Hurma Wastewater Treatment Plant example. Master Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey (in Turkish with English abstract).

11. Kohonen, T. (1988). Self-organization and associative memory, Springer-Verlag, Heidelberg.

12. Singh, K.P., Ankita, B., Amrita, M., and Gunja, J. (2009). Artificial neural network modeling of the river water quality - a case study. Ecological Modelling, 220: 888-895.

13. Baki, O.T., and Aras, E. (2018). Estimation of BOD in wastewater treatment plant by using different ANN algorithms. Membrane Water Treatment, 9: 455-462.

14. Levenberg, K. (1944). A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. Quarterly of Applied Mathematics, 2: 164-168.

15. Marquardt, D.W. (1963). An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 11: 431-441.

Integration of Pumped Storage Hydropower Plant to Çamlıgöze Dam (Oral)

Alper AYDEMİR[1], Tefaruk HAKTANIR[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Nuh Naci Yazgan University, Turkey
Emails: aydemir@nny.edu.tr, thaktanir@nny.edu.tr

Abstract

Water is the main life source for almost all species on earth. A steady supply of water is generally provided by storage systems. While having a large hydropower potential, giving less importance on water based energy sources creates a gap between potential and existing production. Turkey could use hydropower facilities with higher efficiency. For this purpose, tangible benefits could be increased by making existing dams produce more electricity. In general the common purpose of almost all of pumped storage facilities is to store energy for use during peak demand periods when generally base-load electric generating plants are inadequate or inefficient. In this study feasibility of integrating pumped storage hydropower to existing Çamlıgöze Dam is investigated. Results of this study indicate that present worth values of incomes of different operation schemes are not too different from each other, but the main advantage of the pumped-storage operation is sustainability of high energy requirement during peak demand hours. The computer program simulating the pumped storage operation developed in this study can be used to assess the pumped storage potential of any prospective hydropower plant and to provide guidance to engineers and decision makers about transforming existing dams with conventional hydropower plants to pumped storage facilities.

Keyword(s): Pumped Storage, Hydropower, Feasibility, Electricity

1. Introduction

Water is the main life source for almost all species on earth. Impoundment of water in artificial reservoirs makes possible a steady supply for water demand. Dams are barriers constructed across natural streams to store water with the objective of using it for many purposes. Dams could be classified in many ways and one of them is classification according to service purposes. They could have single or multiple purposes. Irrigation, municipal water, recreation, electricity generation, and flood damage mitigation are the main purposes of storing water behind dams. Population growth and developments in electrical devices increased the necessity of electricity generation facilities along with increasing demand for electricity energy.

Renewable resources are the main alternatives to fossil based fuels because they have tremendous energy potential with less environmental negative effects. The major types of renewable energy sources are (EIE, 2019):

- Biomass, which includes:
  - Wood and wood waste

  - Municipal solid waste
  - Landfill gas and biogas
  - Ethanol
  - Biodiesel
- Hydropower
- Geothermal
- Wind
- Solar

The distribution of Turkey's gross electricity generation by energy resources in year 2017 is given in Table 1. There are quite a few different electricity energy generating sources, as the highest contribution is by natural gas and the second highest is imported coal.

Table 1 Distribution of Electricity Generation Sources

Source	Generation (Gwh/year)	Contribution (%)
Imported Coal	51,118	17.2
Hard Coal + Asphaltite	5,664	1.9
Lignite	40,694	13.7
Natural Gas	110,490	37.2
Liquid Fuels	1,200	0.4
Dam	41,313	13.9
N. Lake and Run of River	16,906	5.7
Waste Heat	848	0.3
Wind	17,904	6.0
Renewable Waste + Waste	2,124	0.7
Geothermal	6,128	2.1
Solar	2,889	1.0
Total	297,277	100.0

Turkey has a growing energy sector and production of electricity by all types of means including hydropower in the year 2007 is compared with those in the year 2017 in Table 2, which reveals that the contribution of hydropower has remained almost the same during that decade (33 % - 32 %). This situation is probably due to the financial incentives provided by the government for wind and solar energy sources, which are much more than that for hydropower.

Table 2 Energy Sources Used for Electricity Generation in Turkey (TEIAS, 2017)

Type of Source	2007 (MW)	2007 Ratio (%)	2017 (MW)	2017 Ratio (%)
Coal	10197	25	18705	22
Liquid Fuels	2000	5	380	0.5
Natural Gas	11647	29	20,732	24
Renewable + Waste + Waste Heat	43	0.10	642	0.75
Multi Fuel	3384	8.29	6,466	7.6
Hydro	13395	33	27,273	32
Geothermal	23	0.06	1,064	1.25
Wind	146.3	0.36	6,516	7.65
Solar	-	-	3,421	4.01
Total	40,835.7	100	85,200	100

Although the hydropower potential is considerably high in Turkey, a gap exists between the potential and the existing energy production by hydropower because less importance on water based energy sources are given by the authorities. Turkey could use hydropower facilities with higher efficiency. For example, turbine-generator units can be installed to the outlets of irrigation dams. And, a substantial increase in energy during the peaking period, which is between 17 through 22 hours, could be achieved by operating the turbines at full capacity. Construction of new dams could need high initial costs and could have harmful environmental impacts such as change in evaporation amount, decrease in fish rearing capacities, change in river flow patterns and drop in green area in the region.

2. Pumped Storage Hydropower Plants

A typical pumped storage hydropower plant includes two reservoirs, a penstock, a power house and most importantly a reversible pump to convey water between reservoirs. Such a hydropower system is schematically shown in Figure 1 (Kougias & Szabó, 2017).

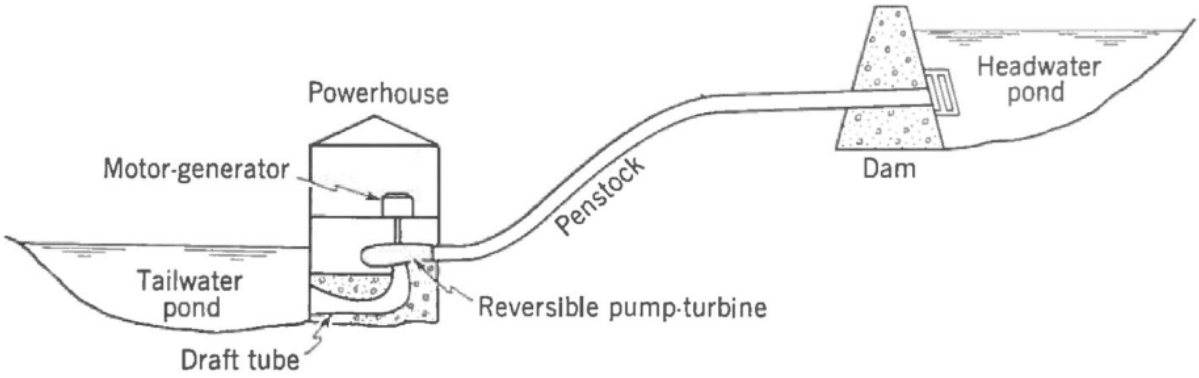


Figure 1 Schematic description of a Pumped Storage Hydropower Plant

The common purpose of pumped storage hydropower plants is to store energy for use during peak demand periods when larger base-load electric generating plants generally are inadequate or inefficient. Other objectives which have been documented during the development of pumped storage include (U.S. Army Corps of Engineers, 1981):

- Provision of emergency power,
- Increase in system reliability,
- Voltage regulation capability,
- Increase in system efficiency,
- Fuel selection capability,
- Multiple use of storage reservoirs including recreation, water supply, low-flow augmentation, flood control and irrigation,
- Seasonal storage of hydroelectric energy.

Many countries in the World have recently constructed new pumped storage plants, or some of them converted existing close-by reservoirs in series to work as a pumped storage system. Technological developments have also occurred in hydropower turbines. As an example Table 3 shows the average monthly energy consumption taken by pumping and the average monthly electricity production of pumped storage hydropower plants in Europe (Kougias & Szabó, 2017).

Table 3 Consumption and Generation of European Pumped Storage Systems (Kougias & Szabó, 2017)

Country	Average Monthly Pumped Storage Consumption (GWh/month)	Average Monthly Pumped Storage Production (GWh/month)	Productivity Index (%)
Austria	244	396	62 %
Belgium	105	139	76 %
Bulgaria	50	71	70 %
Czech Republic	67	89	75 %
France	400	571	70 %
Germany	520	661	79 %
Greece	40	46	87 %
Italy	212	293	72 %
Norway	55	101	55 %
Poland	46	66	70 %
Portugal	67	88	77 %
Slovak Republic	23	33	72 %
Spain	252	358	71 %
United Kingdom	258	341	76 %
EU28	2538	3436	74 %

It can be concluded from Table 3 that relatively high amount of energy is consumed during the pumping process of a pumped storage hydropower system. But achievement of balancing demand and production during peak hours is a significant intangible benefit making the cost of pumping justifiable. Besides, by applying the pumping during the night shift when the unit price of electricity supplied by the energy market is much smaller than that during the peak period, the total cost of pumping becomes reasonable. In short, selling the energy produced by running the turbines at full capacity during the peak demand hours at a much higher price, and

buying the energy used in pumping at a much smaller price may result in a higher net benefit than the steady operation of turbines over the whole daily period.

3. Pumped Storage in Turkey

The General Directorate of Water Works of Turkey has investigated the feasibility of transforming a couple of existing dams to pumped storage hydropower plants. But, as of 2019 there is not a single pumped storage hydropower plant in operation in Turkey. Some suitable areas are studied from the aspect of pumped storage potential. Brief information about these feasibility studies made in Turkey are given in Table 4 (Saraç, 2009 & Sertkaya, Saraç, & Omar, 2015).

Table 4 Feasibility Results of Pumped Storage Dams in Turkey (Saraç, 2009)

Name of Pumped Storage Hydropower Dam (City)	Installed Capacity (MW)	Bottom Reservoir	Upper Reservoir	Technical Data
Sarıyar (Ankara)	1000	Sarıyar Dam	Concrete lined pool reservoir	595 m penstock, 387 m shaft and 815 m tail water tunnel, 434 m head
Bayramhacılı (Kayseri)	1000	Bayramhacılı Dam	Concrete lined pool reservoir at 161 m higher elevation	305 m shaft, 160 m tail water tunnel, 161 m head
Hasan Uğurlu (Samsun)	1000	Hasan Uğurlu Dam	Concrete lined pool reservoir at 570 m higher elevation	635 m shaft, 965 m tail water tunnel, 570 m head
Adıgüzel (Denizli)	1000	Adıgüzel Dam	Concrete lined pool reservoir at 242 m higher elevation	216 m penstock, 303 m shaft and 447 m tail water tunnel, 242 m head
Kargı (Ankara)	1000	Kargı Dam	Compacted clay pool at 513 m higher elevation	1815 m penstock, 367 m shaft, 580 m tail water tunnel, 496 m head
Yalova (Yalova)	500	Yalova Run of River Hydropower Plant	Concrete lined pool reservoir at 400 m higher elevation	800 m shaft, 300 m tail water tunnel, 400 m head

Yamula (Kayseri)	500	Yamula Dam	Concrete lined pool reservoir at 260 m higher elevation	1540 m penstock, 80 m shaft, 300 m tail water tunnel, 260 m head
Oymapınar (Antalya)	500	Oymapınar Dam	Concrete lined pool reservoir at 372 m higher elevation	419 m shaft, 500 m tail water tunnel, 372 m head
Aslantaş (Osmaniye)	500	Aslantaş Dam	Concrete lined pool reservoir at 154 m higher elevation	875 m penstock, 225 m tail water tunnel, 154 m head
Demirköprü (Manisa)	300 MW	Demirköprü Dam	Concrete lined pool reservoir at 215 m higher elevation	473 m penstock, 157 m shaft and 832 m tail water tunnel, 213 m head

Another study in Turkey investigated a pre-feasibility of lake reservoir pumped storage hydropower plant that could be constructed to Hazar lake to ensure security of energy supply and price equilibrium (Tuna, 2012).

Different suitable options can be considered for pumped storage type hydropower facilities. For example, Uluabat Hydropower Plant can conjunctively use Uluabat lake in Bursa with Çınarcık dam to create a pumped storage system without constructing new reservoirs. The reservoir of Çınarcık dam is connected to Uluabat plant with a 12 km tunnel and 1,1 km penstock. Water used for electricity generation in Uluabat plant reaches the Uluabat lake with a 1.2 km penstock. With an investment of 1.1 km long pipe and a water pump this existing system could be converted into a pumped storage facility (Ayder, 2015).

4. Case Study

4.1. General Information about Çamlıgöze Dam

Çamlıgöze Dam with a hydropower plant is in operation which was designed as a component of Kelkit-Karataş Project in Upper Coarse of Yeşilırmak Basin. Çamlıgöze Dam is located 3 km away from Suşehri district in Sivas city, and a view of the dam is given in Figure2 (Yilmazlar, 2019). The purposes of this dam include electricity generation, flood control and sediment regulation to protect the Hasan Uğurlu Dam located downstream of Çamlıgöze Dam. This project is also connected with the Kılıçkaya dam which is located 12 km upstream of Çamligöze Dam both on Kelkit River. Both of these dams and other 112 dams, which are designed as check dams to control sediments in the river, are used to regulate flow of Yeşilırmak and prevent Niksar and Erbaa Plains from flood events (DSI, 2002).

Figure 2 Aerial view of Çamlıgöze Dam

4.2. Results of the Simulated Operation of the Hypothetical Pumped Storage Hydropower Plant at Çamlıgöze Dam

In this study, the feasibility of integrating a pumped storage hydropower plant to the existing Çamlıgöze Dam is investigated. For this purpose, initially, the magnitude of the C coefficient of the model: $THL = C \times Q^2$, where, Q is the penstock discharge in m^3/s and THL is the total head loss over the penstock from the intake trash rack down to the exit of the draft tube in m is calculated using a computer program (Cobaner and Haktanir, 2007). The relationship between THL and Q of the penstock of the Çamlıgöze Dam is given in Figure 3.

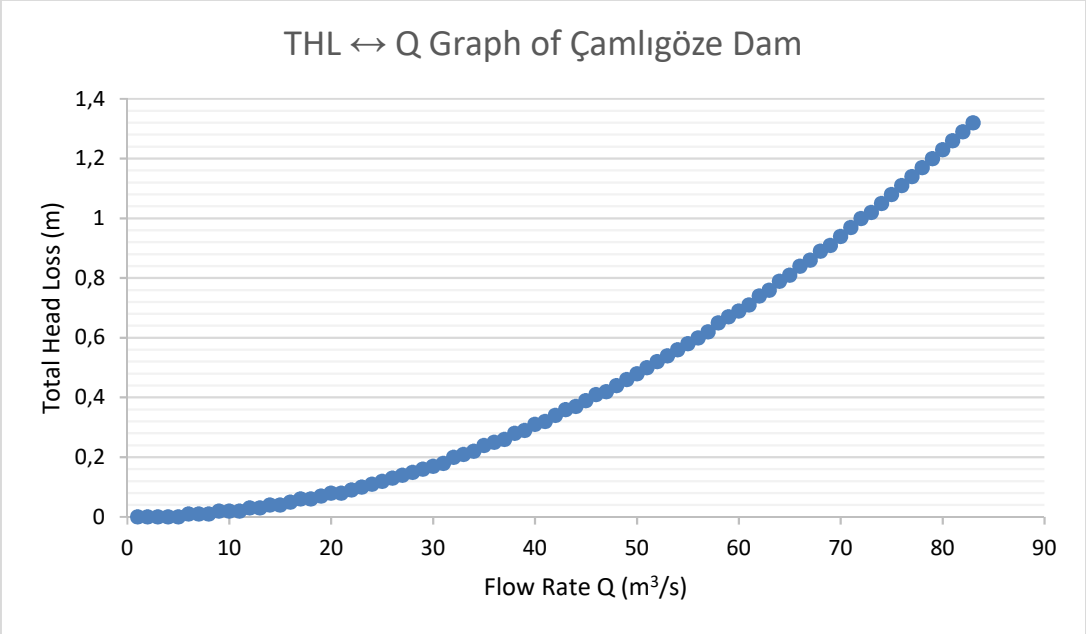


Figure 3 Total Head Loss ↔ Discharge Graph for the Penstock of Çamlıgöze Dam

The operation simulations are performed by three different electricity tariffs with the purpose of comparing the overall average annual energy produced and the present worth of financial benefits gained by selling the produced energy. These tariffs are:

- Constant rate tariff,
- Three shift tariff,
- Pumped storage tariff.

Simulations of all of the three tariff rules were done by realistic input data obtained from Çamlıgöze Dam Operation Tables published by the authorities operating the dam using the computer programs developed for performing these three different operation rules. These programs, computing the generated electricity, its financial worth, electricity consumed by pumping, and its financial cost in monthly time steps, also present the annual average electricity generation, annual average electricity consumed by the pumping process, the present worth of financial earnings and of the financial costs at the beginning of the operation period. For the pumped storage system turbines were assumed to be new reversible turbines with variable speed and they efficiently run down to 10% of the maximum turbine power. Results of these simulations are given in Table 5.

Simulation results showed that the present worth values of overall incomes of different schemes were different but not too far apart from each other. As seen in Table 5, for Çamlıgöze Dam, the present worth of net income from the pump storage scheme is 0.92 million $ greater than that of the three shift rule, which is about a 4 % relative increase.

Table 5 Results of Simulations of Three Different Operation Schedules

Type of simulation	Average yearly hydropower electricity generation (GWh/year)	Present Worths of net benefits and costs (Million $)	Energy Unit Price ($/kWh)	Number of months without Electricity Generation
Constant Rate Tariff	87.61	19.57	0.035	3
Three Shift Tariff	85.83	24.61	Day time: 0.035 Peak Hours: 0.070 Night time: 0.0175	1
Pumped Storage Tariff (Total)	96.10	27.16	Day time: 0.035 Peak Hours: 0.070 Night time:0.0175 Pumping Cost: 0.0175	1
Pumped Storage (Energy Consumed for Pumping)	14.58	1.62	Day time: 0.035 Peak Hours: 0.070 Night time:0.0175 Pumping Cost: 0.0175	1
Pumped Storage (Net)	81.52	25.53	Day time: 0.035 Peak Hours: 0.070 Night time:0.0175 Pumping Cost: 0.0175	1

Also, the average annual generated energy by the pumped storage scheme is 10.27 GWh/year is greater than that by the three shift schedule, which is relatively a +12 % extra electricity generation without constructing any new dam. Besides, some of the total energy produced by the pumped storage operation is generated during the precious peak demand hours. The relatively 12 % increase in the total energy produced comes at the cost of consuming an annual average of 14.58 MWh/year for pumping. This energy spent for pumping is tolerable however because it uses the otherwise surplus energy of thermal power plants at a low price. In Turkey, the market price of night-shift (22–06 hours) electricity is about one fourth of that of the peak period between 17 and 22 hours.

5. Conclusions

Results of this study suggest that for dams which have small storage capacities, changing the existing conventional turbine-generator unit to a pumped storage system, the total amount of electricity generated will increase most of which is produced during the peaking hours in a day. The net amount of energy will be reduced because of the energy consumed by the pumping operation. Yet, the net financial income will still increase, although slightly, on account of much smaller unit cost of market electricity during the dormant night shift and much higher unit price during the peak demand period of prime time. The advantage of generating much higher energy during the peak demand period and hence contributing to the difficult responsibility of countering the peaking public demand is an intangible, but non-negligible benefit.

The computer program developed in the Civil Engineering Department of Nuh Naci Yazgan University could be used to simulate possible pumped storage potential of any dam whose results could guide engineers' decision about transforming existing facilities. If more case studies with different peculiarities could be investigated using the proposed model, then Turkey's Pumped Storage Potential could be quantitatively obtained in a short period.

References

Ayder, E. (2015). *Pumped Storage Hydropower Plants (in Turkish)*. Istanbul, Turkey.

Cobaner, M. and Haktanir, T. (2007). Feasibility of hydropower plant installation to existing irrigation dams. *Water International*, IWRA, 32(2), 254–264.

DSI. (2002). Su Dünyası. *Su Dünyası*, *52*(1), 1–5.

EIE. (2019). Renewable Energy Sources - Energy Explained, Your Guide To Understanding Energy. Retrieved May 18, 2019, from https://www.eia.gov/energyexplained/?page=renewable_home

Kougias, I., & Szabó, S. (2017). Pumped hydroelectric storage utilization assessment: Forerunner of renewable energy integration or Trojan horse? *Energy*, *140*, 318–329. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.106

Saraç, M. (2009). Pompaj depolamali hidroelektrik santraller. In *Doğu Karadeniz Bölgesi Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Bunun Ülke Enerji Politikalarındaki Yeri* (pp. 90–98), Trabzon.

Sertkaya, A. A., Saraç, M., & Omar, M. A. (2015). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin Türkiye İçin Önemi. *Gazi Journal of Engineering Sciences*, *1*(3), 369–382.

TEIAS (Turkey Electricity Transmission Corporation). (2017). Turkey Electricity Generation-Transmission Statistics of 2017. Retrieved from: https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-

elektrik-uretim-iletim-2017-yili-istatistikleri

Tuna, C. (2012). Supporting Hazar Lake For Life Water With Pumped Storage Hepp. *Journal of Science and Engineering*, *14*(41), 29–42.

U.S. Army Corps of Engineers. (1981). *An Assessment of Hydroelectric Pumped Storage* (Vol. X). Washington D.C.

Yilmazlar, A. Ş. (2019). Çamlıgöze Dam. Retrieved May 18, 2019, from http://yilmazlar.com/Gallery.aspx?ProjectId=3&TypeId=2#gallery-2

GENELLEŞTİRİLMİŞ BİR HİDROLOJİK TAŞKIN ÖTELEME MODELİ VE DEPOLAMA BAĞINTISININ MODEL PERFORMANSINA ETKİSİ

Halil KARAHAN
Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 20017 Kınıklı DENİZLİ
hkarahan@pau.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda, doğrusal olmayan Muskingum modellerinde seçilen bir depolama bağıntısı için optimum parametrelerinin belirlenmesi için farklı sezgisel optimizasyon yöntemlerinin kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır. Söz konusu çalışmalarda; kullanılan algoritmaya, seçilen amaç fonksiyonuna, parametre sayısına, arama uzayına ve popülasyon büyüklüğüne göre bazı küçük farklılıklar görülmektedir. Bu çalışmaların çok az bir bölümünde modelin gerçek verilerle doğrulanması bulunmaktadır. Bunun yerine pek çok araştırmacı son yıllarda var olan sonuçtan daha iyi bir sonuç elde edilmesi için farklı depolama bağıntıları ve optimizasyon algoritmaları kullanmak suretiyle çok sayıda çalışma gerçekleştirmiştir.

Bu bildiride; konuyla ilgili yapılan çalışmaların büyük bir bölümünün aslında birbirinin benzeri veya türevi olduğu ilk kez gösterilmiş ve genel bir model önerilmiştir. Önerilen model **G**enelleştirilmiş **N**on-**L**ineer **M**uskingum **M**odeli (**GNLMM)** olarak adlandırılmıştır. GNLMM literatürde yaygın olarak kullanılan depolama bağıntılarının tümünü kapsamakta ve taşkın problemlerinin çoğunda önemli olan yanal debi, gecikme faktörü ve değişken parametre kullanımını da dikkate alabilmektedir. Önerilen model de kullanılan parametrelerin uygun seçimiyle literatürde verilen farklı formüllerin ve modellerin tümü elde edilebilmektedir. Ayrıca, geliştirilen model yardımıyla; Euler, Implisit, Crank-Nicolson gibi farklı sayısal şemalar kullanılabilmektedir.

Model parametrelerinin belirlenmesi için optimizasyon aracı olarak Kompozit Diferansiyel Gelişim Algoritması (KDGA) kullanılmaktadır. Önerilen modelin doğrusal olmayan Muskingum modelinin parametrelerinin belirlenmesinde güvenle kullanılabileceği elde edilen sonuçlardan görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Muskingum modeli, Depolama Bağıntısı, Kompozit Diferansiyel Gelişim Algoritması, Parametre Tahmini.

ABSTRACT

A GENERALIZED HYDROLOGIC FLOOD ROUTING MODEL AND THE EFFECT OF STORAGE RELATIONSHIPS ON MODEL PERFORMANCE

In recent years, there have been many studies in which different intuitive optimization methods were applied in order to identify optimum parameters for a selected storage relationship in non-linear Muskingum models. In these related studies, some minor differences have been observed depending on the applied algorithm, selected objective

function, number of parameters, search space and extent of population. Very few studies, however, verified the model with real data. Instead of this, many researchers in recent years have conducted studies through using various storage relationships and optimization algorithms in order to obtain a better result than the one in hand.

In this paper, a novel optimal parameter estimation method for the nonlinear Muskingum model is proposed. This proposed model has been called as the **G**eneralized **N**on-**L**inear **M**uskingum **M**odel (GNLMM). GNLMM covers all of the prevalently used storage correlations in the literature and it can also take into account the lateral flow and delay factor and the use of variable parameters, all of which are very important factors in many overflow problems. By selecting the correct parameters in the proposed model, all of the different formulas and models can be obtained. Moreover, with the help of the proposed model; various numerical schemes like Euler, Implicit, and Crank-Nicolson can also be used.

In order to identify model parameters, Composite Differential Evolution (CoDE) algorithm is used as an optimization tool. It is observed from the obtained results that the proposed model can safely be used in determining the parameters of a non-linear Muskingum model.

Keywords: Muskingum Model, Storage relationships, Composite Differential Evolution, Parameter estimation.

1. GİRİŞ

Düzensiz kentleşme ve tarım alanlarının amaç dışı kullanımından dolayı; taşkınlar ülkemizde depremlerden sonra en sık karşılaşılan ve zarara yol açan doğal afet türü olup günden güne artan bir ivmeyle önemli can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Taşkın zararlarının azaltılması için yapısal ve yapısal olmayan kısa ve uzun vadeli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu amaçla; akarsu yatağı, kanal veya biriktirme haznelerinde ilerleyen taşkın dalgasının zamana ve konuma göre değişiminin bir matematiksel modelle ifade edilmesi ve uygun bir yöntemle çözülmesi gerekir.

Taşkın öteleme hesapları, hidrolik ve hidrolojik yöntemler olmak üzere başlıca iki grupta incelenebilir. Hidrolik yöntemler kütle ve momentumun korunumu prensiplerine dayanırken, hidrolojik yöntemler sadece kütlenin korunumu prensibine dayanır. Hidrolojik yöntemler içerisinde ise en yaygın olarak kullanılan taşkın öteleme yöntemi Muskingum modelidir. Muskingum metodu ilk defa McCarthy (1938) tarafından geliştirilmiş ve Ohio'da (ABD) bulunan Muskingum nehri havzasında taşkın kontrol çalışmaları için kullanılmıştır. Hidrolojik süreklilik ve doğrusal olmayan depolama denklemlerine dayanan Muskingum modelinin doğrusal şekli deneme-yanılma ve grafik yöntemlerle çözülebilirken, doğrusal olmayan formunun çözümü için türeve dayalı yöntemler ve/veya sezgisel optimizasyon algoritmaları literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Muskingum modelinde; hidrolojik süreklilik denklemi

$$\frac{dS_t}{dt} = I_t - O_t \tag{1}$$

ve literatürde yaygın olarak kullanılan doğrusal olmayan depolama ilişkileri sırasıyla Denklem (2)-(5)'de verilmektedir [Wilson 1974; Gill 1978, Tung 1985, Das 2004, Easa 2014, Karahan 2014a].

Literatürde Kullanılan Başlıca Depolama Bağıntıları

$$S_t = K\left[\chi I_t^a + (1-\chi) O_t^a\right] \quad (2)$$

$$S_t = K\left[\chi I_t + (1-\chi) O_t\right]^m \quad (3)$$

$$S_t = K\left[\chi I_t^a + (1-\chi) O_t^a\right]^m \quad (4)$$

$$S_t = K\left[\chi I_t^a + (1-\chi) O_t^b\right]^m \quad (5)$$

Denklem (2)-(5)'de verilen depolama bağıntıları doğrusal olmayan ve taşkından taşkına farklılık gösteren ve bilinmeyen çok sayıda parametreyi içerdiği için Denklem (1)'de yerine konulup çözülebilmesi için *K*, χ, *a, b* ve *m* parametrelerinin bilinmesi gerekir.

Ancak, (2)-(5)'de verilen bağıntıların doğrusal olmayan karakterleri yüzünden kalibrasyon sürecinde optimizasyon sezgisel veya türeve dayalı algoritmalar kullanılarak belirlenmesi güç bir iş olduğu için pratik uygulamalarda genellikle $a=b=m=1$ varsayımı ile depolama ilişkisi doğrusal biçime dönüştürülmek suretiyle problem grafik ve/veya deneme yanılma yoluyla çözülmeye çalışılmış, akademik çalışmalarda ise; genellikle parametre uzayı önceden bilinen, (Wilson taşkın debisi), dar bir arama uzayı kullanılarak farklı sezgisel veya türeve dayalı algoritmalar uygulanmış ve amaç fonksiyonunda elde edilen çok küçük iyileşmeler başarı ölçütü sayılmıştır.

Bu alandaki ilk çalışma Mohan (1997) tarafından genetik algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Mohan tarafından yapılan çalışmada; ölçülen ve hesaplanan akımlar arasındaki farkların karelerinin toplamının minimum yapılmasını esas alan bir amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Wilson (1974) örnek verisi ile (3) nolu doğrusal olmayan depolama bağıntısı kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada (3) nolu bağıntının (2) nolu bağıntıya göre daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. İzleyen yıllarda (3) nolu depolama bağıntısı armoni araştırma tekniği (AAT) (Kim ve diğ., 2001; Geem, 2011), parçacık sürü optimizasyon algoritması (PSO) [Chu ve Chang, 2009), yapay bağışıklık algoritması (YBA) (Luo ve Xie, 2010) , Diferansiyel Gelişim Algoritması (Xu vd, 2012) gibi farklı sezgisel algoritmalar kullanılarak çözülmüş ve diğer algoritmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Grafik çözüm için doğrusal olmayan bir problemin doğrusal kabul edilerek çözülmesinin getirdiği hata yanında, uygulamacıya göre değişkenlik göstermesi ve çok sayıda deneme yanılma gerektirmesi zor ve zahmetli bir işlemdir. Bu güçlük ilk kez 2009'da elektronik , 2012'de basılı olarak Karahan (2012)'de yayımlanan çalışma ile önlenmiştir. Belirtilen çalışmada elektronik tablolama programları kullanılarak optimizasyon özelliklerine dayalı iki çözüm tekniği önerilmiş ve sonuçların duyarlılığı kullanıcıya bağımlı olmaktan çıkartılmış, kullanımı kolay ve herhangi bir programlamaya gerek kalmadan *K* ve χ parametrelerinin hesaplanabildiği ve sonuçların eşzamanlı olarak grafik olarak izlenebildiği bir model geliştirilmiştir.

Ayrıca, ayni çözüm tekniğinin doğrusal olmayan bağıntılara da kolayca uygulanabileceği vurgulanmış, söz konusu elektronik tablolama programlarında optimizasyon amaçlı kullanılan algoritmanın türeve dayalı olmasından dolayı gözlem verisine en iyi uyan parametrelerin bulunması ve çözümün stabilitesi büyük oranda başlangıç değerlerine bağlı kaldığı belirtilmiştir.

Bu nedenle; çözüm uzayının içerisinde yer alan fiziksel açıdan anlamsız çözümler üreten çözüm vektörlerinin yol açtığı problemin üstesinden gelebilmek için ilk kez yazar ve arkadaşları tarafından geliştirilen dolaylı cezalandırma yaklaşımı ile ayni taşkın problemi çok geniş arama uzayı kullanılarak çözülmüştür. (Karahan ve Gürarslan, 2011). NLMM parametrelerinin belirlenmesinde parametre uzayının seçiminin önemli rol oynadığı son zamanlarda yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Karahan 2013, Karahan ve diğ 2013; Karahan ve Gürarslan 2013a, Karahan ve Gürarslan 2013b). Belirtilen çalışmalarda çözüm uzayı geniş seçildiğinde negatif çıkış debilerinin elde edildiği ve optimizasyon algoritmasının başarı oranının azaldığı gösterilmiş ve bu durumu önlemek için bir cezalandırma (penaltı) yaklaşımı kullanılmıştır.

Belirtilen yaklaşım kullanılmak suretiyle o güne kadar literatürde kullanılmayan River Wye, River Wyre, Viesman-Lewis gibi taşkın dataları NLM kullanılarak çözülmüştür. Taşkın probleminin modellenmesinde pek çok örnekte yanal debi katkısının da önemli olduğu vurgulanarak yanal debi katkısını dikkate alan ilk model yazar ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir (Karahan vd, 2015). İzleyen yıllarda Karahan (2013), Karahan vd (2013), Karahan (2014a ve b) ‘de önerilen teknikler ve örnekler farklı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Bunların bir bölümünde sabit parametre yerine taşkın boyunca değişken parametreler kullanılmış (Easa, 2014, Ayvaz ve Gürarslan 2017) , bir bölümünde ise RK4 (Vatankah 2014), FDM (Karahan 2014b) gibi farklı sayısal çözüm teknikleri kullanılmıştır

Bu bildiride ise konuyla ilgili yapılan çalışmaların büyük bir bölümünün birbirinin benzeri veya türevi olduğu gösterilmiş ve hepsini içeren genel bir model önerilmiştir. Belirtmek gerekir ki önerilen model yardımıyla literatürde yaygın olarak kullanılan depolama bağıntılarının tümü elde edilebilmektedir. Ayrıca, taşkın problemlerinin pek çoğunda önemli olan yanal debi, gecikme faktörü ve zamanla değişim gibi durumlar seçilen parametreler yardımıyla dikkate alınabilmektedir. Önerilen çalışmada optimizasyon aracı olarak Karahan (2018)’de bölgesel yağış-şiddet-süre bağıntılarının parametrelerinin belirlenmesinde başarılı bir şekilde uygulanan Kompozit Diferansiyel Gelişim Algoritması (KDGA) kullanılmıştır.

Ayrıca, Karahan (2014a)’da önerilen giriş hidrografının zamansal değişimini dikkate alan prosedür önerilen modele eklenmek suretiyle RK4 dışındaki Euler, Implisit, Crank-Nicolson gibi sayısal şemaların farklı bir yazılıma veya algoritmaya gerek kalmadan kolayca kullanılabilmesi sağlanmıştır.

2. KOMPOZİT DİFERANSİYEL GELİŞİM ALGORİTMASI

Diferansiyel Gelişim Algoritması, Price ve Storn tarafından (Price ve Storn, 1995) geliştirilmiş, işleyiş ve kullanmış olduğu operatörleri GA’ya büyük benzerlikler gösteren popülasyon tabanlı sezgisel optimizasyon tekniğidir. DGA çok boyutlu bir arama uzayında (D), değişkenlerin alabilecekleri alt ve üst limit değerlere göre rastgele üretilmiş ve popülasyonu oluşturan birey sayısı kadar vektörün çözüm uzayında *mutasyon, çaprazlama, değerlendirme ve seçim* operatörleri kullanılarak geliştirilmesine dayalı iteratif bir çözüm tekniğidir.

DGA algoritmasının performansı; mutasyon stratejisi seçimi ile kontrol parametrelerinin (toplum büyüklüğü *NP*, ölçek katsayısı *F* ve çaprazlama katsayısı *CR*) seçimine bağlıdır. Genel olarak DGA kullanılırken; önce mutasyon stratejisi seçilir, sonra *NP*, *F* ve *CR* değerlerinin uygun değerleri deneme-yanılma tekniği kullanılarak belirlenir. DGA'nın yakınsama hızını ve performansını artırmak için NP, F ve CR gibi kontrol parametrelerinin uygun değerlerinin belirlenmesi için birçok araştırmacı tarafından öneriler yapılmıştır. Örneğin, Storn ve Price (1997) *NP için 5D-10D, F=0.5, CR=0.1 veya CR=0.9;* Gamperle vd (2002)'de *NP için 3D-8D, F=0.6, CR=0.3 veya CR=0.9;* Ronkkonen vd (2005)'de ise *NP için 2D-4D,* problemin türüne göre *F=[0.4-0.95]* aralığında ve *CR=1* veya *CR*=0'a yakın değerleri önerilmiştir.

Ancak, gerek mutasyon stratejisinin seçimi, gerekse yukarıda belirtilen kontrol parametrelerinin uygun değerlerinin seçimi probleme bağlı, zaman alıcı bir işlemdir. Bu güçlüğün üstesinden gelmek için literatürde önerilmiş çok sayıda DGA türevi bulunmaktadır. Bunlardan toplum büyüklüğünü sabit tutarak, *F* ve *CR* değerlerinin ayarlanabilir bulanık mantıkla belirlendiği FADEF (Liu ve Lampinen, 2005) algoritması ve *NP*, *F* ve *CR* değerlerinin optimizasyon süreci boyunca dinamik olarak değişimini esas alan DESAP (Teo ,2006) algoritması, Qin ve Suganthan tarafından önerilen *"DE/rand/1"* ve *"DE/current-to-best/1"* mutasyon stratejilerinin her 50 iterasyonda başarı oranlarını değerlendirmek suretiyle *F* ve *CR* değerlerinin belirlendiği SADE (Qin ve Suganthan, 2005) gibi DGA türevleri sayılabilir.

Bu çalışmada önerilen Kompozit DG algoritmasının (KDGA) kullanılmasının arkasındaki temel düşünce; literatürde sıklıkla kullanılan *"DE/rand/1", "DE/rand/2" ve "DE/current-to-best/1"* gibi üç mutasyon stratejisi ile önceki çalışmalarda önerilen *F* = [1,1,0.8] ve *CR* = [0.1 0.9 0.2] değerleri arasından rastgele seçilen kombinasyonlarının kullanımıyla strateji seçimi ve *F* ve *CR* gibi kontrol parametrelerinin deneme-yanılma prosedürüyle seçimi ortadan kaldırılmış ve böylece işlem süresi kısaltıldığı gibi çözüm kalitesi de artırılmıştır.

$$"rand/1/bin" \tag{6}$$

$$u_{i,j}^{g} = \begin{cases} x_{r1,j}^{g} + F \cdot \left(x_{r2,j}^{g} - x_{r3,j}^{g} \right) & eğer \quad rand < CR \quad veya \quad j = j_{rand} \\ & değilse \\ x_{i,j}^{g} \end{cases}$$

$$"rand/2/bin" \tag{7}$$

$$u_{i,j}^{g} = \begin{cases} x_{r1,j}^{g} + F \cdot \left(x_{r2,j}^{g} - x_{r3,j}^{g} \right) + F \cdot \left(x_{r4,j}^{g} - x_{r5,j}^{g} \right) & eğer \quad rand < CR \quad veya \quad j = j_{rand} \\ & değilse \\ x_{i,j}^{g} \end{cases}$$

$$"current-to-rand/1" \tag{8}$$

$$u_i = x_i + rand.(x_{r1} - x_i) + F.(x_{r2} - x_{r3})$$

3. ÖNERİLEN GENELLEŞTİRİLMİŞ TAŞKIN ÖTELEME MODELİ

Bu çalışmada; Karahan vd (2015) de önerilen yanal debi katkısı dikkate alınarak süreklilik denklemi (1) ve depolama bağıntıları (2)-(4) aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$\frac{dS_t}{dt} = (1+\beta) I_t - O_t \tag{9}$$

Model Adı	Önerilen Depolama Bağıntısı	
GNLMM	$S_t = K\left[\chi(1+\beta) I_t^a + (1-\chi) O_t^b\right]^m$	(10)

Burada, β yanal debi katkısını (giriş veya çıkış) *K*, χ, *a, b* ve *m* bilinmeyen parametreleri göstermektedir. Denklem (2)-(5) dikkatli incelendiğinde farklı bağıntı olarak literatürde yer alan ve pek çok çalışmada kullanılan (2)-(4) depolama bağıntılarının (5) denkleminden türeyebileceği görülür. Örneğin (5) denkleminde; sırasıyla *m*=1, *a*=*b*=1 ve *b*=*a* yazıldığında (2),(3) ve (4) denklemleri elde edilir. Böylece tüm depolama bağıntılarının tek bir formülle ifade edilebileceği görülür.

(10) denklemleminden çıkış hidrografı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\hat{O}_t = \left[\left(\frac{1}{1-\chi}\right)\left(\frac{S_t}{K}\right)^{(1/m)} - \left(\frac{\chi}{1-\chi}\right)(1+\beta) I_t^a\right]^{1/b} \tag{11}$$

Çıkış hidrografının $\left(\hat{O}_t\right)$ hesaplanabilmesi için β , *K* χ, *a,b* ve *m* parametrelerin bilinmesi koşuluyla (9) ve (10) denklemlerinin eş zamanlı olarak herhangi sayısal çözüm tekniği kullanılarak çözülmesi gerekir. Sayısal çözüm tekniği açısından büyük kolaylık sağlayan ve ilk kez yazar tarafından önerilen (Karahan, 2014a) ve farklı sayısal çözüm şemalarının kullanımına olanak sağlayan (12) denklemi (9)-(11)'de I_t yerine kullanılmak suretiyle suretiyle θ'nın alacağı değere göre farklı sayısal çözüm şemaları elde edilebilmektedir. Örneğin $\theta = 0$ için Euler, $\theta = 0.5$ için Crank-Nicolson, $\theta = 1$ için implisit ve θ'nın optimizasyon sürecinde belirlenen değeri için gözlem verisine en uygun zaman ağırlıklı giriş debisi kullanılmaktadır.

$$I_t = \left[\theta I_t + (1-\theta) I_{t-1}\right] \tag{12}$$

Optimizasyon sürecinin başarı ölçütü olarak amaç fonksiyonun probleme uygun olarak seçilmesi de önemli olup, bu çalışmada pek çok çalışmada olduğu gibi uygunluk fonksiyonu olarak; ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki farkın karelerinin toplamını *(SSQ)* minimum yapan ve Denklem (18)'de verilen bir fonksiyon seçilmiştir. Belirtmek gerekir ki (13) yerine başka amaç fonksiyonları da kolayca kullanılabilir.

$$Min\ \mathrm{SSQ} = \sum_{t=1}^{N}\left[O_t - \hat{O}_t\left(\beta, K, \chi, a, b, m, \theta\right)\right]^2 \quad (13)$$

Burada; O_t ve $\hat{O}_t$ sırasıyla t anındaki ölçülen ve hesaplanan çıkış debilerini, N ise zaman adım sayısını göstermektedir.

Ancak, sözkonusu parametrelerin kendi aralarındaki yüksek bağımlılık ve doğrusal olmayan ilişki nedeniyle gözlenmiş akış serileri kullanılarak uygun parametrelerin belirlenmesi (model kalibrasyonu) oldukça zordur

Eğer β , K, χ , a, b,m ve θ değerleri uygun şekilde seçilmez ise Muskingum modelinin sayısal çözümünde O_t ve S_t negatif çıkabilir. Bu durum, optimizasyon sürecinin başarısını etkilediği gibi fiziksel olarak da anlamsızdır (Akım ve depolama negatif olamaz). Bu durumu önlemek için, Karahan ve Gürarslan (2011) tarafından dolaylı bir ceza fonksiyonu yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşım sayesinde O_t ve S_t değerlerini negatif yapan parametreler seçildiğinde, cezalandırma işlemi uygulanmakta ve fiziksel açıdan anlamlı olmayan parametrelerin seçilmesi büyük oranda önlenmektedir.

Taşkın ötelenmesinde kullanılan sayısal çözüm algoritması aşağıda özetlenmiştir.

Adım 1. β , K, χ , a, b,m ve θ parametrelerinin rastgele üretilmesi.

Adım 2. Denklem (10)-(13) kullanılarak S_t'nin hesaplanması. (hesap başlangıcında çıkış debisi giriş debisine eşit alınır)

Adım 3. Denklem (9) kullanılarak depolamanın zamanla değişiminin hesaplanması.

Adım 4. Denklem (14)-(17) kullanılarak bir sonraki adım için depolamanın hesaplanması (eğer depolama negatif ise cezalandırma işleminin uygulanması).

Adım 5. Adım 2-5 arasındaki işlemlerin tüm zaman adımları için tekrarlanması.

Adım 6. Denklem (18) kullanılarak amaç fonksiyonunun hesaplanması.

Adım 7. Durma koşulu sağlanıncaya kadar Adım 2-6 arasındaki işlemlerin tekrarlanması

4. SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada; GNLMM parametrelerinin optimum değerlerinin elde edilebilmesi için optimizasyon aracı olarak yukarıda kısaca tanıtılan ve üstünlükleri belirtilen KDGA kullanılmıştır. Bu nedenle bundan sonra **S**imülasyon-**O**ptimizasyon (SO) amaçlı kullanılan model kısaca KDGA-GNLMM olarak adlandırılacaktır. İncelenen taşkın olayına ait en uygun parametrelerinin belirlenmesi (model kalibrasyonu) ve taşkın çıkış hidrografının hesaplanması için KDGA-GNLMM çözüm tekniği Matlab ortamında yazar tarafından kodlanmış ve uygulanmıştır.

KDGA-GNLMM literatürde yaygın olarak kullanılan Wilson (1974), RiverWye UK (NERC 1975) taşkın verileri kullanılarak test edilmiştir. Modelde kullanılan parametreler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. KDGA-GNLM Modelinde kullanılan parametreler

Karar değişkeni sayısı (D)	:Kullanılan depolama bağıntısına göre 5-7
Toplum büyüklüğü (*TB*)	10*D
Durma Koşulu	Tolerans değeri $(\varepsilon) = 1E-9$ (Toplumdaki en iyi ve en kötü SSQ değeri arasındaki fark) veya Maksimum iterasyon sayısı (100 000)
Çözüm uzayı	$\beta = -0.20 - 0.20$, $K = 0.0 - 10.0$, $\chi = 0.0 - 0.8$, $a = 0.1 - 2.0$, $b = 0.1 - 2.0$, $m = 1.0 - 5.0$, $\theta = 0 - 1$

Önerilen KDGA-GNLMM modelinde yanal debi katkısı (β) ve zamana göre ağırlık parametresi (θ)' da optimizasyon yoluyla belirlenebildiği için maksimum parametre sayısı 3,4 ve 5 parametreli depolama bağıntıları için sırasıyla 5, 6 ve 7 olmaktadır. Ancak geliştirlen model yatay debi katkısının bulunmadığı veya çok az olduğu örneklerde $(\beta = 0)$ veya Euler, Crank-Nicolson veya implisit şemaklar için sırasıyla $(\theta = 0, 0.5, 1)$ olarak doğrudan seçilerek te kullanılabilmektedir. KDGA-GNLMM taşkın süresi boyunca değişmeyen sabit parametrelerle kullanılabildiği gibi Karahan (2014b)'de belirtildiği gibi giriş hidrografının yükselme ve alçalma bölümleri için veya istenirse her bir bölüm kendi içinde alt bölümlere ayrılmak suretiyle de kullanılabilmektedir. Böylece Easa (2015) ve Ayvaz ve Gürarslan (2017)'de olduğu gibi değişken parametreler için de önerilen model kolayca kullanılabilmektedir. Taşkın modellemesinde yükselme ve çekilme sürecindeki fiziksel davranış genellikle farklı karekterde olup, modelin bu fiziksel durumu dikkate alabilmesi gerekir. Bu işlem yerine belitilen çalışmalarda olduğu gibi deneme-yanılma prosedürü veya optimizasyon süreciyle alt bölümlerin belirlenmesi hem işlem süresini artırmakta hem de kalibrasyon aşamasında iyileşme sağlamasına karşılık, doğrulama aşamasında model performansının düşmesine yol açmaktadır (Maier ve Dandy 2000, Karahan 2014a,b). Bu durum aşağıda sayısal olarak gösterilecektir.

4.1. Wilson taşkın datası

Geliştirilen KDGA-GNLMM'nin performansını test etmek ve en iyi çözümü veren depolama bağıntısını belirlemek için; ilk olarak literatürde yaygın olarak kullanılan Wilson taşkın verisi (Wilson, 1974) için sırasıyla 3,4 ve 5 parametreli depolama bağıntıları, yanal debi katkısı (β) ve zamana göre ağırlık parametresi (θ)' de optimizasyon yoluyla kullanılarak uygulanmış ve Çizelge 2'de model parametreleri ve amaç fonksiyonu değerleri verilmiştir.

Çizelge 2. Wilson taşkın verisi için KDGA-GNLMM sonuçları

KDGA-GNLMM							**Amaç Fonksiyonu**
K	***X***	***a***	***b***	***m***	***beta***	***teta***	
0.5175	0.2869			18.681			36.767888
0.8338	0.2956	0.4331		40.790			7.667330
0.8377	0.0756	0.6949	0.4249	38.202			5.441953
0.5342	0.3005			18.642	-0.0216		9.824771
0.7498	0.2962	0.5495		32.567	-0.0046		7.445723

0.7349	0.0805	0.7962	0.5245	31.781	-0.004		5.232148
0.5342	0.3005			18.642	-0.0216	1.47E-15	9.824771
0.7498	0.2962	0.5495		32.567	-0.0046	8.52E-17	**7.445723**
0.652	0.0198	0.9916	0.4638	36.211	-0.0039	0.2342988	**4.432882**

Çizelge 2'den görüleceği gibi en iyi amaç fonksiyonu değeri SSQ=4.433 olarak elde edilmiştir. Çizelge 2'de boş bırakılan değerler modelde kullanılmayan değerlerdir. Model sonuçları literatürdeki bazı araştırmacıların sonuçlarıyla Çizelge 3'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3. Wilson taşkın verisi için sabit katsayılı model sonuçlarının karşılaştırılması

Optimizasyon Algoritması ve Çalışma		***K***	***X***	***a***	***b***	***m***	***β***	***θ***	***SSQ***
GA (Mohan. 1997)		0.1033	0.2813			1.8282			38.2363
HS (Kim ve diğ.. 2001)		0.0883	0.2873			1.863			36.7829
HS (Geem. 2010)		0.0864	0.2869			1.8677			36.7680
GA (Karahan ve Gürarslan. 2011)		0.0863	0.2869			1.8681			36.7679
HS-BFGS (Karahan vd. 2012)		0.086249	0.286917			1.8681			36.767888
Excel-Solver Easa (2014)		0.834	0.296	0.433		4.0790			7.67
CS (Karahan vd. 2015)		0.5342	0.3005			1.8642	-0.0216	0	9.824771
BFGS (Karahan, 2014)		0.6534	0.0581	1.001	0.6519	2.6083			5.947904
DE (Ayvaz ve Gürarslan, 2017)*****, nt=1		0.5342	0.3005			1.8642	-0.0216	0	9.8248
Bu çalışma)	a=b=1	0.5342	0.3005			1.8642	-0.0216	0.0000	9.824771
	b=a	0.7498	0.2962	0.5495		3.2567	-0.0046	0.0000	**7.445723**
	Tüm parametreler	0.6520	0.0198	0.9916	0.4638	3.6211	-0.0039	0.2343	**4.432882**

- * Belirtilen çalışmada giriş hidrografı parçalı olarak (1 den 6'ya kadar) bölümlere ayrıldığından incelenen duruma karşı gelen nt=1 sonuçları kullanılmıştır.

Çizelge 3'den görüleceği gib KDGA-GNLMM sonuçları literatürde yer alan sabit parametreli modeller içinde en iyi sonucu vermektedir. (4) ve (5) denklemlerinde belirtilen depolama bağıntısı kullanıldığında sırasıyla SSQ değerleri 7.446 ve 4.433 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç Karahan vd (2015) ve Ayvaz ve Gürarslan (2017)'deki sonuçlara göre sırasıyla % 24 ve % 55 daha iyidir. Karahan (2014b)'de yanal debi katkısı dikkate alınmadan bulunan sonuç ise 5.948 dür. Sözkonusu çalışmada denklem (5)'de verilen depolama bağıntısı kullanılmıştır. Görüldüğü gibi bu çalışmada β ve θ parametrelerinin modele eklenmesiyle % 25'in üzerinde bir iyileşme sağlanmıştır.

KDGA-NLMM'nin farklı model seçenekleriyle uygulanması sonucunda elde edilen çıkış hidrografları Çizelge 4'de toplu olarak verilmiştir. Çizelge 4'den görüleceği gibi en iyi sonuç önerilen modelin tüm parametrelerinin kullanılması durumunda elde edilmektedir. Taşkın boyunca değişmeyen sabit parametreler kullanılarak elde edilen en iyi SSQ değeri 4.432882 dir**.** Bu değer sabit parametre kullanılarak Wilson taşkın verisi için bu güne kadar elde edilen en iyi sonuçtur.

Son yıllarda Karahan (2014b), Easa (2015), Ayvaz ve Gürarslan (2017) gibi çalışmalarda taşkın boyunca sabit parametre kullanımı yerine değişken parametre kullanımı farklı yaklaşımlarla önerilmiştir. Karahan (2014b)'de; taşkın modellemesinde hidrografın yükselme ve çekilme sürecindeki fiziksel davranışı dikkate alınarak alt bölümler belirlenmiştir. Easa (2015), Ayvaz ve Gürarslan (2017)'de ise taşkın hidrografının yükselme ve çekilme

fazlarındaki fiziksel davranış farkı dikkate alınmadan her iki fazda aynı parametreler kullanılmıştır. Model sonuçlarındaki iyileşme ise alt bölüm sayısı artırılmak suretiyle sağlanmıştır. Easa (2015)'de alt bölümlerin sayısı ve yeri deneme-yanılma prosedürüyle belirlenirken, Ayvaz ve Gürarslan (2017)'de hidrografın zaman eksenine parelel doğrular geçirilmek suretiyle hidrograf alt bölgelere ayrılmış ve optimizasyon sürecindeki iyileşme miktarı durma koşulu olarak alt bölgeler belirlenmiştir. Diğer bir deyişle taşkın olayının fiziksel davranışı dikkate alınmadan problem bir test (bencmark) gibi değerlendirilmiştir. Belirtilen çalışmada maksimum 6 alt bölge kullanılmış ve 26 adet model parametresi optimize edilmiştir. Bunlardan 6 tanesi yatay çizginin nereden geçirileceğinin belirlenmesine yöneliktir. Her iki çalışmada da modelde kullanılan parametre sayısı artıkça kalibrasyon sürecinde iyileşme gözlendiği ifade edilmiştir. Ancak modeldeki parametre sayısının artmasının optimizasyon süresini uzatması yanında modelin doğrulanma aşamasında performansının düşmesine yol açacağı literatüden bilinen bir durumdur. Bu durum Easa (2014) ve Easa (2015) ile ilgili tartışma makalelerinde ayrıntılı olarak incelenmiştir (Karahan 2014 a, b). Ayvaz ve Gürarslan (2017) de ise discussion bölümünde bu durum modelin bir zayıflığı olarak yazarlarca da kısmen belirtilmiştir

Taşkın modellemesinde yükselme ve çekilme sürecindeki fiziksel davranış genellikle farklı karekterde olup, modelin bu fiziksel durumu dikkate alabilmesi gerekir. Bu işlem yerine belitilen çalışmalarda olduğu gibi deneme-yanılma prosedürü veya optimizasyon süreciyle alt bölümlerin belirlenmesi işlem süresini artırdığı gibi kalibrasyon aşamasında bir iyileşme sağlamasına karşılık doğrulama aşamasında model performansının düşmesine yol açmaktadır. Belirtilen olumsuz durumların önüne geçmek için ilk kez Karahan (2014b)'de belirtilen hidrografın yükselme ve çekilme bölümlerinin iki ayrı bölüm olarak modellenmesi yaklaşımı bu bildiride genişletilmek ve genelleştirilmek suretiyle kullanılmıştır. Bu bağlamda Wilson taşkın verisi iki bölüme ayrılmak suretiyle (3)-(5) depolama bağıntıları kullanılmak suretiyle değişken parametreli olarak modellenmiş ve model parametreleri Çizelge 5 ve 6'da, model çıkış hidrografı ise Çizelge 7'de verilmiştir. Çizelge 6'da verilen sonuçlar önerilen modelde taşkın hidrografının parça sayısı artırıldığında model performansının nasıl iyileştiğini göstermek için her bir bölüm kendi içinde ikiye bölünmek suretiyle elde edilmiştir.

Çizelge 4. Wilson (1974) taşkın verisi için model sonuçları üzerinde yanal debi katkısı ve zamansal ağırlık parametresinin etkisi.

Time	Input	Output	*β=0*			*β≠0*					
			a=b=1, θ=0	*b=a, θ=0*	*θ=0*	*a=b=1, θ=0*	*b=a, θ=0*	*θ=0*	*a=b=1*	*b=a*	*Tüm parametreler*
0	22	22	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00
6	23	21	22.00	22.00	22.00	21.71	21.94	21.95	21.71	21.94	21.93
12	35	21	22.42	22.34	22.38	22.02	22.28	22.33	22.02	22.28	22.10
18	71	26	26.61	25.68	26.21	26.08	25.77	26.27	26.08	25.77	25.74
24	103	34	34.46	33.14	34.02	33.51	33.17	34.05	33.51	33.17	34.01
30	111	44	44.17	43.63	43.69	42.83	43.44	43.50	42.83	43.44	43.86
36	109	55	56.85	55.77	55.34	55.44	55.67	55.22	55.44	55.67	55.16
42	100	66	68.06	66.48	65.98	66.67	66.47	65.97	66.67	66.47	65.77
48	86	75	77.07	75.25	75.02	75.77	75.31	75.08	75.77	75.31	75.05
54	71	82	83.32	81.62	81.78	82.12	81.68	81.83	82.12	81.68	81.96
60	59	85	85.90	84.69	85.05	84.78	84.67	85.01	84.78	84.67	85.04
66	47	84	84.54	83.77	84.06	83.42	83.66	83.94	83.42	83.66	84.12
72	39	80	80.58	80.15	80.17	79.44	79.96	79.98	79.44	79.96	79.90
78	32	73	73.71	73.02	72.81	72.48	72.87	72.67	72.48	72.87	72.67
84	28	64	65.41	64.27	63.90	64.08	64.20	63.83	64.08	64.20	63.73
90	24	54	56.00	54.20	53.95	54.58	54.26	53.98	54.58	54.26	54.09
96	22	44	46.67	44.62	44.50	45.22	44.71	44.57	45.22	44.71	44.61
102	21	36	37.75	35.82	35.96	36.34	35.88	35.99	36.34	35.88	36.06
108	20	30	30.47	29.16	29.43	29.21	29.12	29.39	29.21	29.12	29.44
114	19	25	25.23	24.68	24.92	24.21	24.54	24.80	24.21	24.54	24.76
120	19	22	21.74	21.72	21.88	20.96	21.53	21.72	20.96	21.53	21.58
126	18	19	19.99	20.13	20.24	19.41	19.96	20.09	19.41	19.96	20.02
SSQ			36.767888	7.667330	5.441953	9.824771	7.445723	5.232148	9.824771	7.445723	**4.432882**

Çizelge 5.Değişken parametre kullanılarak Wilson taşkın debisinin KDGA-GNLMM kullanılarak elde edilen parametreleri ve SSQ değerleri

Depolama bağıntısı	Parametre sayısı	Giriş Hidroğrafının Yükselme Fazı							Giriş Hidroğrafının Çekilme Fazı							Amaç Fonksiyonu
		K1	*X1*	*a1*	*b1*	*m1*	*β1*	*θ1*	*K2*	*X2*	*a2*	*b2*	*m2*	*β2*	*θ2*	
Denklem (3)	10	1.9939	0.5378			1.5357	-0.0698	0.0000	1.2078	0.3597			1.7059	-0.0626	0.0000	3.43043
Denklem (4)	12	0.9775	0.4226	1.0340		1.6411	-0.0642	0.0200	1.1241	0.3208	0.6001		2.8458	-0.0191	0.0012	2.06573
Denklem (5)	14	1.4818	0.1725	1.2719	0.9961	1.4812	-0.0674	0.0000	0.8884	0.1345	0.7519	0.5595	2.9552	-0.0270	0.1833	**1.88921**

Çizelge 5'den görüleceği gibi (3),(4) ve (5) nolu depolama bağıntıları kullanılmak suretiyle elde edilen amaç fonksiyonu değerleri sırasıyla 3.43043, 2.06573 ve 1.88921 dir. Literatürdeki konuyla ilgili en son çalışma olan Ayvaz ve Gürarslan (2017)'de verilen Modelde nt=1 için elde edilen sonuç Karahan vd (2015)' de verilen prosedür ve denklem sistemi aynı olduğundan, gerek paramereler gerekse SSQ değeri olarak Karahan vd (2015) ile aynıdır. Ancak, 2 parçalı (nt=2) ve 10 parametreli modelde SSQ değeri 5.1165, 14 parametreli (nt=3) modelde 3.0003, 18 parametreli (nt=4) modelde 2.1924, 22 parametreli (nt=5) modelde 2.0605 ve 26 parametreli (nt=6) modelde ise 1.9207 dir. Çizelge 5'den açık olarak görüleceği gibi önerilen modelde (5) nolu depolama bağıntısı kullanılarak toplam 14 parametre ve hidrografın yükselme ve çekilme bölümleri olmak üzere iki alt bölümden oluşan model sonucu, belirtilen çalışmadaki 24 parametreli ve 6 alt bölümden oluşan model sonucundan daha iyidir. Diğer bir deyişle fiziksel tabanlı, daha az parametreli bir modelle çok daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Ayrıca incelenen olayın fiziksel yapısına uygun olduğundan sadece kalibrasyon değil, doğrulama aşaması için de daha iyi sonuç vermektedir. Önerilen model yukarıda gösterildiği gibi Denklem (5)'de kullanılan depolama bağıntısı için en iyi sonucu vermesine karşılık karşılaştırmak için yükselme ve çekilme bölümleri kendi içinde ikiye bölünmek ve Ayvaz ve Gürarslan (2017)'de kullanılan Denklem (3)'de verilen depolama bağıntısı kullanılarak bulunan sonuçlar model Çizelge 6'da sunulmaktadır.

Çizelge 6.Değişken parametreli KDGA-GNLMM ile (3) no'lu depolama bağıntısı kullanılarak Wilson taşkın verisi için elde edilen parametre ve SSQ değerleri

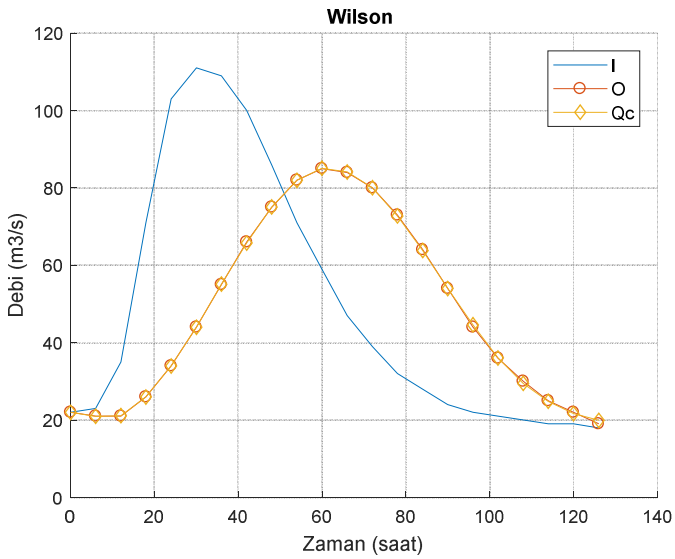
Depolama bağıntısı	Belirlenen Parametre Sayısı		Giriş Hidroğrafının Yükselme Fazı					Giriş Hidroğrafının Çekilme Fazı					Amaç Fonksiyonu
			K1	*X1*	*m1*	*β1*	*θ1*	*K2*	*X2*	*m2*	*β2*	*θ2*	
Denklem (3)	20	Faz1	4.9923	0.3778	1.2823	-0.0710	0.0158	2.5094	0.4110	1.5895	-0.1281	0.2075	0.964
		Faz2	0.4988	0.1275	2.0005	0.4000	0.1064	4.4597	0.4826	1.4603	-0.1246	0.0846	

Çizelge 6'dan görüleceği gibi aynı depolama bağıntısı, daha az parametre ve alt bölüm kullanılarak önerilen modelin sonucu 0.964 olarak elde edilmektedir. Bu ise Ayvaz ve Gürarslan (2017)'de Wilson debisi için bulunan en iyi sonuç olan 1.9207 değerinin yaklaşık yarısıdır. Belirtmek gerekir ki aynı durumda (4) ve (5) nolu depolama bağıntıları kullanıldığında sonuçlar daha da iyileşmektedir..

Çizelge 7. Wilson taşkın verisi için değişken parametreli (yükselme ve çekilme fazlarına göre) model sonuçları (m3/s)

T(saat)	I	O	Depolama bağıntısı		
			Denklem (3)	Denklem (4)	Denklem (5)
0	22	22	22.00	22.00	22.00
6	23	21	20.72	20.94	20.95
12	35	21	21.10	21.17	21.14
18	71	26	26.42	26.00	25.95
24	103	34	33.55	33.96	34.00
30	111	44	44.20	44.01	44.00
36	109	55	54.83	54.96	55.11
42	100	66	65.81	65.96	65.77
48	86	75	75.32	75.16	75.06
54	71	82	82.27	81.88	81.96
60	59	85	85.30	85.04	85.08
66	47	84	83.86	83.93	84.12
72	39	80	79.75	80.08	80.03
78	32	73	72.41	72.75	72.73
84	28	64	63.79	63.95	63.80
90	24	54	54.14	53.98	54.02
96	22	44	44.99	44.60	44.60
102	21	36	36.41	35.98	36.06
108	20	30	29.53	29.36	29.46
114	19	25	24.64	24.82	24.85
120	19	22	21.30	21.77	21.66
126	18	19	19.35	20.03	19.94
SSQ			3.430429	2.065731	1.889210

Çizelge 5'de özetlenen parametreler kullanılarak elde edilen çıkış hidrografları Çizelge 7'de sunulmaktadır. Çizelge 7'nin son sütunu kullanılarak elde edilen çıkış hidrografı grafik olarak Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Wilson datası için KDGA-GNLMM sonuçları

4.2. River Wye taşkın datası

Bu bildiride incelenen ikinci örnek yatay debi katkısının önemli olduğu İngiltere'de bulunan River Wye (NERC, 1975) ait gerçek bir taşkın verisidir. İlk kez Karahan vd (2013)'de kullanılan bu veri daha sonra pek çok araştırmacı tarafından yatay debi katkısı dikkate alınmadan kullanılmıştır. İlk kez Karahan vd, (2015)'de yatay debi katkısı dikkate alınarak çözülen bu örnek Karahan (2014a,b) ve Karahan vd (2015)'de belirtilen formülasyon ve metodoloji kullanılarak Ayvaz ve Gürarslan (2017)' de çözülmüştür.

Yazarlar detayı bir önceki örnekte anlatıldığı gibi bu taşkın verisini de 6 alt bölgeye ayırmak suretiyle modellemişlerdir. Modelde nt=1 için elde edilen sonuç Karahan (2014) ve Karahan vd (2015)' de verilen prosedür ve denklem sistemiyle aynı olduğundan, gerek parametreler ve gerekse SSQ değeri olarak Karahan (2014) ve Karahan vd (2015) ile aynıdır. Ancak, 2 parçalı (nt=2) ve 10 parametreli modelde SSQ değeri 10360.09, 14 parametreli (nt=3) modelde 9785.83, 18 parametreli (nt=4) modelde 8763.98, 22 parametreli (nt=5) modelde 5612.46 ve 26 parametreli (nt=6) modelde ise 5038.48 dir.
Yukarıda verilen çalışmayla model sonuçlarının karşılaştırılabilmesi ve yatay debi katkısının önemli olduğu gerçek bir taşkın debisi üzerinde önerilen modelin performansının test edilebilmesi için Wilson taşkın verisinde uygulandığı gibi River Wye taşkın verisi iki bölüme ayrılmak suretiyle (3)-(5) depolama bağıntıları kullanılarak modellenmiş ve model parametreleri Çizelge 8'de, model çıkış hidrografı ise Çizelge 9'da verilmiştir

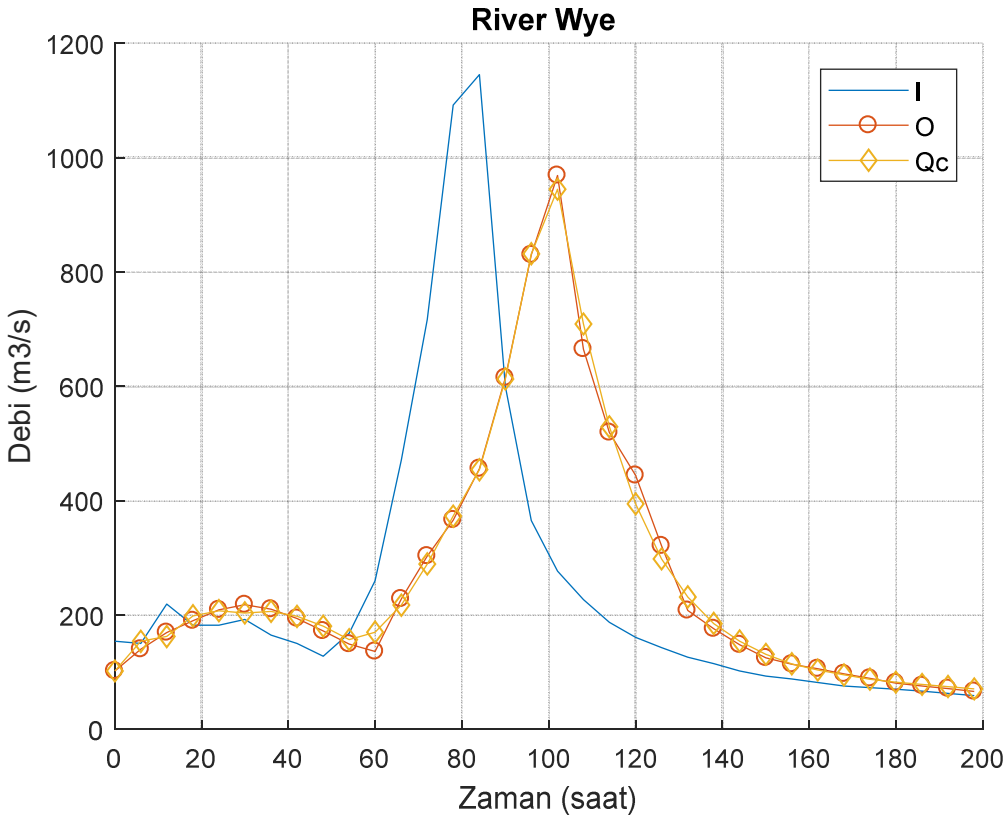
Çizelge 8. Değişken parametreli KDGA-GNLMM ile (3) no'lu depolama bağıntısı kullanılarak River Wye taşkın verisi için elde edilen parametre ve SSQ değerleri

Depolama bağıntısı	**Parametre Sayısı**		**K**	**X**	**a**	**b**	**m**	**β**	**Θ**	**Amaç Fonksiyonu**
Sabit	5		0.36906	0.38300			1.61410	0.05469	1.50E-16	25915.268
Değişken	10	**Yükselme Fazı**	0.15495	0.30646			1.75389	0.10328	0.0149111	**8606.594**
		Çekilme Fazı	3.36139	1.60E-16			1.20813	0.08109	0.945817	

Çizelge 8'den görüleceği gibi Giriş hidrografının yükselme ve çekilme fazları dikkate alınarak iki parçaya bölünmek suretiyle elde edilen sonuç 8606.594 dir. Bu değer Ayvaz ve Gürarslan (2017)'de 18 parametre kullanılarak nt=4 için elde edilen sonuçtan bile daha iyidir. Sonuçların grafik olarak gösterildiği Şekil 2'den görüleceği gibi ölçülen ve hesaplanan çıkış hidrografı gerek debilerin gerekse pik değerin yeri ve zamanının mühendislik pratiği açısından mükemmel denilecek kadar uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yükselme ve çekilme bölgelerinin tekrar alt bölgeye ayrılmasına gerek görülmemiştir. Bu işlem yapıldığında çok daha iyi sonuçların elde edileceği açıktır.

Çizelge 9. River Wye taşkın verisi için değişken parametreli (yükselme ve çekilme fazlarına göre) model sonuçları (m3/s)

T(saat)	I	O	Karahan (2014)	Depolama bağıntısı: Denklem (3)	
				Sabit Parametre	Değişken Parametre
0	154	102	102.00	102.00	102.00
6	150	140	149.50	149.50	153.91
12	219	169	156.59	156.59	162.34
18	182	190	191.40	191.40	198.52
24	182	209	200.79	200.79	207.48
30	192	218	195.14	195.14	203.59
36	165	210	197.46	197.46	206.37
42	150	194	188.48	188.48	197.54
48	128	172	170.80	170.80	180.31
54	168	149	148.10	148.10	156.96
60	260	136	162.59	162.59	170.00
66	471	228	210.36	210.36	217.12
72	717	303	281.58	281.58	289.29
78	1092	366	367.75	367.75	372.88
84	1145	456	447.65	447.65	454.00
90	600	615	629.57	629.57	612.95
96	365	830	892.78	892.78	831.93
102	277	**969**	859.01	**859.01**	**944.63**
108	227	665	719.30	719.30	709.00
114	187	519	567.50	567.50	529.17
120	161	444	427.85	427.85	394.34
126	143	321	308.86	308.86	297.90
132	126	208	220.90	220.90	231.57
138	115	176	163.64	163.64	185.18
144	102	148	131.90	131.90	154.29
150	93	125	111.93	111.93	131.13
156	88	114	99.28	99.28	114.52
162	82	106	92.90	92.90	103.73
168	76	97	86.14	86.14	95.18
174	73	89	79.34	79.34	87.66
180	70	81	76.46	76.46	82.54
186	67	76	73.13	73.13	78.47
192	63	71	69.85	69.85	74.86
198	59	66	65.09	65.09	70.77
SSQ			25915.268916	25915.268916	**8606.594518**



Şekil 2. River Wye taşkın verisi için KDGA-GNLMM sonuçları

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Karahan (2014) ve Karahan vd (2015)'de önerilen yatay debi katkısını dikkate alan doğrusal olmayan model, literatürde yaygın olarak kullanılan farklı depolama bağıntılarının tümünü kapsayacak şekilde ve yine ilk kez Karahan (2014)'de önerilen taşkın giriş hidrografının pik oluşum zamanını ve gecikme faktörünü dikkate alacak şekilde genelleştirilmiş bir hidrolojik taşkın öteleme modeli geliştirilmiş ve **G**enelleştirilmiş **N**on-**L**ineer **M**uskingum **M**odeli (**GNLMM)** olarak adlandırılmıştır.

GNLMM'nin parametrelerinin belirlenebilmesi aşamasında optimizasyon algoritmasını modelinin performansında önemli rol oynayan ve çok sayıda deneme yanılma gerektiren strateji seçimi, mutasyon ve çaprazlama oranı gibi optimizasyon algoritmasına özgü parametrelerin seçimine gerek kalmadan kullanılabilen KDGA kullanılmış ve Simülasyon-Optimizasyon modeli KDGA-GNLMM olarak adlandırılmıştır.İncelenen taşkın olayına ait en uygun parametrelerinin belirlenmesi (model kalibrasyonu) ve taşkın çıkış hidrografının hesaplanması için KDGA-GNLMM çözüm tekniği Matlab ortamında yazar tarafından kodlanmış ve uygulanmıştır. Geliştirilen KDGA-GNLMM'nin performansını test etmek ve en iyi çözümü veren depolama bağıntısını belirlemek için; ilk olarak literatürde yaygın olarak kullanılan Wilson taşkın verisi ve yatay debi katkısının önemli olduğu gerçek bir taşkın verisi olan River Wye verisi kullanılmış ve .iki örnek için de literatürde bu güne kadar bulunmuş en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Ayrıca farklı depolama bağıntılarının model performansına etkisi açık olarak gösterilmiştir. Bu bağlamda; Geliştirilen KDGA-GNLMM'nin kullanılmak istenilen depolama bağıntısına göre ek bir işlem yapmaksızın kullanılması mümkündür. Model kapsamında yatay debi

katkısı ve gecikme faktörü uygun parametrelerle temsil edildiğinden, gerek taşkın boyunca değişmeyen parametrelerle, gerekse giriş hidrografının fiziksel davranışı dikkate alınmak suretiyle önerilen hidrografın parçalara ayrılması suretiyle değişken parametreli olarak kullanılabilmektedir.

Önerilen modelin temel amacı; literatürde son yıllarda yaygınlık kazandığı gibi probleme özgü bazı katsayılarla parametre sayısını ve formunu değiştirmek suretiyle önceki çalışmalara göre göreceli olarak iyileştirme yaptığını iddia eden, ancak fiziksel bir tabana oturmayan çalışmalar yerine mühendislik pratiğine katkı sağlayacak pratik, kapsamlı ve aynı zamanda da olayın fiziğini mümkün olduğunca dikkate alan bir genel model geliştirmektir. Yazar bu amacını literatürde yaygın olarak kullanılan iki örnek üzerinde gerçekleştirilmeye ve bundan böyle bu alanda yapılacak çalışmalar için bir çerçeve sunmaya çalışmıştır.

Kaynaklar

1. Ayvaz, M.T., Gurarslan, G. (2017). A new partitioning approach for nonlinear muskingum flood routing models with lateral flow contribution, Journal of Hydrology (, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol. 2017.07.050
2. Chu, H-J., Chang, L-C. (2009). Applying particle swarm optimization to parameter estimation of the nonlinear Muskingum model, Journal of Hydrologic Engineering, 14 (9), 1024-1027..
3. Das, A. (2004). Parameter estimation of Muskingum models, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 130, 140-147.
4. Easa, S.M. (2014). New and improved four-parameter non-linear Muskingum model. Water Manag. 167, 288–298. doi:10.1680/wama.14.00030
5. Easa, S.M. (2015). Evaluation of nonlinear Muskingum model with continuous and discontinuous exponent parameters, KSCE J. Civ. Eng., Vol. 19, Issue 7, 2015, pp. 2281-2290.
6. Gämperle R, Müller SD, Koumoutsakos, P. (2002). "A parameter study for differential evolution" *Int. on Advances in Intelligent Systems, Fuzzy Systems, Evolutionary Computation*, A. Grmela and N. E. Mastorakis, Eds. Interlaken, Switzerland: WSEAS Press, 293–298.
7. Gill, M. A. (1978). Flood Routing by Muskingum Method, Journal of Hydrology, 36 (3-4), 353-363, 1978.
8. Karahan, H. (2012). "Predicting Muskingum flood routing parameters using spreadsheets." *Comput. Appl. Eng. Educ*, 20(2), 280–286.
9. Karahan, H. (2014a). "Closure to "Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Flood-Routing Model Using a Hybrid Harmony Search Algorithm" by Halil Karahan, Gurhan Gurarslan, and Zong Woo Geem." *J. Hydrol. Eng.*, 19(4), 847–853.
10. Karahan, H. (2014b)."Discussion of "Improved Nonlinear Muskingum Model with Variable Exponent Parameter" by Said M. Easa." *J. Hydrol. Eng.*, 19(10), 07014007.
11. Karahan, H.(2018). **"**Şiddet-Süre-Frekans Bağıntıları ve Kümeleme Analizi Yardımıyla HomojenAlt Bölgelerin Belirlenmesi: Ege Bölgesi için Bir Uygulama, *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management, October 25-27, 2018, Denizli*
12. Karahan, H. and Gurarslan, G. (2014). "Discussion of "Differential Quadrature Method in Open Channel Flows: Aksu River, Turkey" by Birol Kaya, Aslı Ulke, and Cevza Melek Kazezyılmaz-Alhan." *J. Hydrol. Eng.*, 19(9), 07014003.
13. Karahan, H., and Gurarslan, G. (2011). Identification of the parameters of the nonlinear Muskingum flood routing model by using genetic algorithm (in Turkish), *5th National Symposium on Water Engineering*, Istanbul, Turkey.

14. Karahan, H. (2013). Discussion of “Parameter Estimation of Nonlinear Muskingum Models Using Nelder-Mead Simplex Algorithm” by Reza Barati, Journal of Hydrologic Engineering, 18(3),365-367.
15. Karahan, H., and Gurarslan, G. (2013a). “Discussion of ‘Estimation of nonlinear Muskingum model parameter using differential evolution’ by Dong-Mei Xu, Lin Qiu, and Shou-Yu Chen.” *J. Hydrol. Eng*, 18(3), 367–370.
16. Karahan, H., and Gurarslan, G. (2013b). “Solving flood routing problems using heuristic optimization algorithms.” Flood and Landslide Symp., Turkish Chamber of Civil Engineers, Trabzon, Turkey, 81–93 (in Turkish).
17. Karahan, H., Gurarslan, G., and Geem, Z. W. (2015). “A new nonlinear Muskingum model incorporating lateral flow”, *Eng. Optim*,. 47, 737–749
18. Karahan, H., Gurarslan, G., and Geem, Z.W. (2013). Parameter Estimation of the nonlinear Muskingum flood routing model using a hybrid harmony search algorithm, *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(3):352-360.
19. Kim, J.H., Geem, Z.W., Kim, E.S. (2001). Parameter estimation of the nonlinear Muskingum model using harmony search, Journal of American Water Resources Association, 37, 1131-1138, 2001.
20. Liu, J. and Lampinen, J. (2005). A fuzzy adaptive differential evolution algorithm, *Soft Comput. A Fusion Found. Methodol. Applicat*., 9(6), 448–462.
21. Luo, J., Xie, J. (2010). Parameter estimation for the nonlinear Muskingum model based on immune clonal selection algorithm”, Journal of Hydrologic Engineering, 15 (10), 844-851
22. Maier, H. R., and Dandy, G. C. (2000). “Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: A review of modelling issues and applications.” Environ. Modell. Softw., 15(1), 101–124.
23. McCarthy, G. T., (1938). The unit hydrograph and flood routing, Conference of North Atlantic Div., U.S. Army Corps of Engineers.
24. Mohan, S. (1997). Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using genetic algorithm, Journal of Hydraulic Engineering, 123, 137-142.
25. NERC (1975). Natural Environment Research Council, Flood studies report (Vol. 3). Wallingford, UK.
26. Qin K, Suganthan PN. (2005). “Self-adaptive differential evolution algorithm for numerical optimization,” *in Proc. IEEE Congr. Evolut. Comput.,* Edinburgh, Scotland,1785–1791, Sep. 2005,
27. Ronkkonen J S, Kukkonen S, Price (2005). KV. “Real parameter optimization with differential evolution,” *in Proc. IEEE CEC*, vol 1, 506–513.
28. Storn R, Price K. (1995). “Differential evolution: A simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces” Int. Comput. Sci. Inst., Berkeley, CA, Tech. Rep. TR-95-012.
29. Storn R, Price K. (1997). “Differential evolution: A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces”, *J. Global Opt*., 11(4), 341–359,1997.
30. Teo J. (2006). “Exploring dynamic self-adaptive populations in differential evolution,” *Soft Comput*., 10(8), 637–686.
31. Tung, Y. K. (1985). River flood routing by nonlinear Muskingum method, Journal of Hydraulic Engineering, 111 (12), 1447-1460, 1985.
32. Vatankhah, A. (2014). ”Discussion of ‘Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Flood-Routing Model Using a Hybrid Harmony Search Algorithm’ by Halil Karahan, Gurhan Gurarslan, and Zong Woo Geem.” *J. Hydrol. Eng.*, 19(4), 839–842.
33. Wilson, E.M. (1974) Engineering hydrology, MacMillan Education Ltd., Hampshire, U.K,.

Doğu Karadeniz Havzası'nda Yağış ve Kuraklığın Eğilim Analizi

Murat ŞAN[1], Murat KANKAL[2], Adem BAYRAM[3], Sinan NACAR[3]

[1] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane, Türkiye
[2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye
[3] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
Emails: muratsan@gumushane.edu.tr, mkankal@uludag.edu.tr, abayram@ktu.edu.tr, sinannacar@ktu.edu.tr

Özet

Hidroloji ve meteoroloji ile ilgili eğilim çalışmaları, hidrolojik süreçlerin ve su kaynaklarının iklim değişikliği nedeniyle, özellikle sera gazları ve sıcaklığın artmasıyla birlikte önemli ölçüde etkilendiği gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Havzası'nda yağışların ve kuraklığın eğilim analizleri modifiye edilmiş Mann-Kendall (m-MK)ve Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA)-Değişim Kutuları yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla; Doğu Karedeniz kıyısında bulunan dört meteoroloji istasyonuna (Ordu, Giresun, Trabzon ve Rize) ait yıllık ve mevsimlik toplam yağış verileri ile 1 ve 3 aylık Standart Yağış İndeksi (SYİ) değerleri kullanılmıştır. Eğilim analizinden önce, yıllık toplam yağış verilerine iklime bağlı olmayan değişiklikler olup olmadığını belirlemek amacıyla Standart Normal Homojenlik testi uygulanmıştır. Homojen çıkmayan Trabzon istasyonu analizlere dahil edilmemiştir. Yöntemlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde; m-MK Yöntemi'ne göre yıllık yağışlarda iki istasyonda artan eğilime rastlanırken, mevsimsel değerlendirmede çoğunlukla eğilime rastlanmamıştır. YEA-Değişim Kutuları yöntemine göre üç faklı veri grubu için genellikle artan eğilimler görülmüştür. SYİ değerlerinin analizinde her iki yönteme göre de çoğunlukla artan yönde eğilimler belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğu Karadeniz Havzası, Eğilim analizi, Standart yağış indeksi.

Abstract

The trend studies related to hydrology and meteorology reveal the fact that hydrological processes and water resources have been significantly affected by climate change, especially with the increase in greenhouse gases and temperature. In this study, the trend analysis of precipitation and drought in the Eastern Black Sea Basin was performed using modified Mann-Kendall (m-MK) and Innovative Trend Analysis (ITA)-Change Boxes methods. For this purpose; the annual and seasonal rainfall data and the standardized precipitation index (SPI) for 1 and 3-month data of the four meteorological stations (Giresun, Ordu, Trabzon, and Rize) located on the Eastern Black Sea shore were used. Prior to the trend analysis, the Standard Normal Homogeneity tests were applied on the annual precipitation data so as to test whether the non-climatic changes occurred in time. Trabzon station being non-homogeneous was not included in the analysis. When the results obtained from the methods are examined; according to the m-MK method, there is an increasing trend at two stations in annual precipitation data,

whereas there is generally no trend in seasonal evaluation. There are generally increasing trends for three different data groups according to the YEA-Change Boxes method. In the analysis of the SPI values, increasing trends were determined according to both methods.

Keywords: Eastern Black Sea Basin, Trend analysis, Standard precipitation index.

1. Giriş

İklim değişikliği nedeniyle taşkın ve kuraklık gibi meteorolojik tehlikelere neden olabilecek aşırı hava olaylarında değişimler meydana gelebilmektedir (Rosenzweig vd., 2001). Atmosfer kaynaklı hidro-meteorolojik verilerin zaman içindeki değişimini izlemek, iklim değişikliğinin etkisini izlemenin yanında su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesi için önemlidir. Bu değişimlerin izlenebilmesi için eğilim analizleri sıklıkla kullanılmaktadır. (Akçay, 2018). Türkiye'de yapılan geçmiş çalışmalarda yağış, kuraklık, sıcaklık, akımlar vb. parametreler kullanılarak eğilim analizleri yapılmıştır (Bacanli, 2017; Kahya ve Kalaycı, 2004; Partal ve Kahya, 2006).

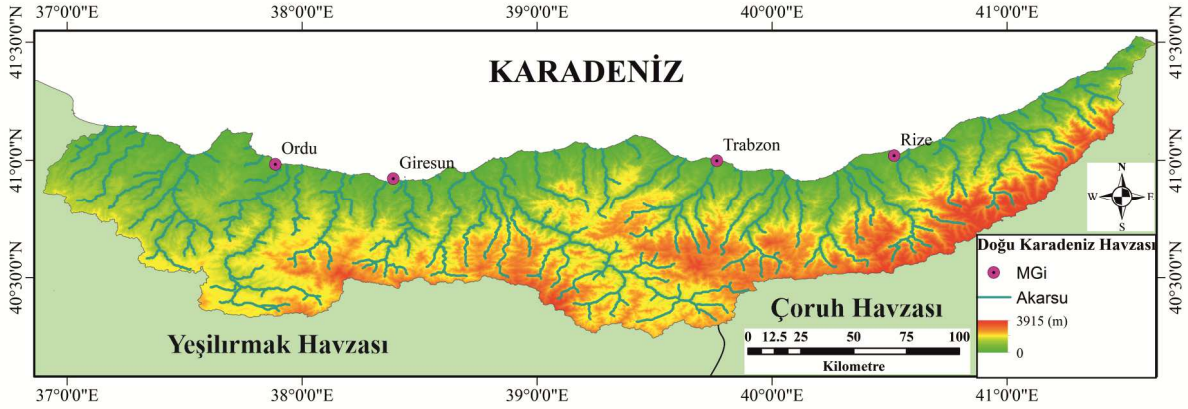
Genel olarak, nemli bölgelerde yaşayanlar su kaynakları arzı konusunda büyük güven duymaktalar ve bu nedenle zamanla su kıtlığı etkilerini hissetmeyebilirler. Ancak kuraklık, nemli bölgelerde kurak bölgelere göre daha zararlı olabilmektedir (Şen, 2015). Kuraklığın izlenmesi amaçlı McKee vd. (1993) tarafından sadece yağış verisini kullanan ve hesaplaması kolay olan Standart Yağış İndeksi (SYİ) geliştirilmiştir. SYİ'nin negatif değerleri kuraklığı gösterirken, pozitif değerleri nemli durumları göstermektedir. SYİ değerleri kuraklık için kullanılmasının yanında taşkın durumlarına yol açan toprak doyma koşullarının gelişiminin bir göstergesi olarak da kullanılabilir (Hayes vd., 1999). SYİ kullanılarak dünyada ve ülkemizde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekildedir: Du vd. (2013), SYİ ile Çin'in Hunan eyaletinde nemli/kuru dönemleri ve eğilimlerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kış ve yaz mevsimlerinde artan bir nemlilik gözlemlerken, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde artan kuraklık gözlemlemişler. Seiler vd. (2002), Arjantin'in Cordoba eyaletinde SYİ'nin son 25 yılda gerçekleşen üç ana taşkın felaketinin gerçekleşmesi olayına yol açan koşulların gelişimini tatmin edici bir şekilde açıkladığını göstermişlerdir. Bacanli (2017), Türkiye'nin Ege bölgesinde SYİ kullanarak meteorolojik kuraklık ve yağış eğilimlerini lineer regresyon, Mann-Kendall ve Spearman rho testleri ile %5 anlamlılık düzeyinde incelemiştir. Yapılan çalışmalara bakıldığında SYİ nemli bölgelerde de kullanılmıştır.

Türkiye'nin en fazla yağış alan Doğu Karadeniz Havzası'nda yapılan eğilim analizi çalışmalarında çoğunlukla yağış, sıcaklık ve akım verileri kullanılmıştır (Akçay, 2018). Havza'da kuraklıkla ilgili çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışma, Doğu Karadeniz Havzası kıyı kesiminde bulunan illerin merkezlerindeki yağış ve kuraklığın eğilim durumlarını incelemeyi amaçlamıştır. Birinci adımda havzanın kıyı şeridindeki şehir istasyonlarına Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) uygulayarak homojen olan istasyonlar belirlenmiştir. Homojen olmayan istasyonlar çalışma kapsamından çıkartılmıştır. İkinci adımda her bir istasyona bir ve üç aylık SYİ yöntemi uygulanmış ve üçüncü adımda istasyonlar için yıllık ve mevsimsel

yağışların eğilim analizi yapılmıştır. Eğilim analizinde m-MK ve YEA yöntemleri kullanılmıştır.

2. Çalışma alanı

Doğu Karadeniz Havzası, ortalama 1198 mm yağış yüksekliği ile Türkiye'nin en fazla yağış alan havzasıdır. Havza'da, ortalama kot 443 m ve havza alanı 24077 km^{2}olup ortalama sıcaklık 13-14 °C civarındadır. Havzadaki hidroelektrik santraller 2016 yılı verileri dikkate alındığında 2472 MW toplam kurulu gücü ile ülkemiz hidroelektrik kurulu gücünün yaklaşık %9'unu oluşturmaktadır (Akçay, 2018). Çalışma alanı ve istasyonlar Şekil 1'de ve Meteoroloji gözlem istasyonları (MGİ) özellikleri ise Tablo 1'de verilmektedir. Eğilim anallizlerinde Doğu Karadeniz kıyı şeridinde bulunan Giresun, Ordu, Trabzon ve Rize illeri merkezlerinde bulunan toplam dört istasyona ait veriler kullanılmıştır.



Şekil 1. Doğu Karadeniz Havzası genel görünümü

Tablo 1. Meteoroloji Gözlem İstasyonları özellikleri

Şehir	Veri aralığı	Enlem	Boylam	Min.	Ort.	Mak.	Standart sapma
Giresun	1966-2017	40.9227	38.3878	970.7	1274.2	1742.6	157.2
Ordu		40.9838	37.8858	787.2	1042.2	1433.8	133.2
Rize		41.0200	40.5200	1600.0	2249.7	2999.0	266.0
Trabzon		40.9985	39.7649	576.0	838.2	1117.0	111.8

3. Yöntem

3.1. Standart Normal Homojenlik Testi

Birçok hidrolojik çalışmada kullanılan Standart Normal Homojenlik Testi SNHT testi Alexandersson (1986) tarafından geliştirilmiştir. İlk aşamada incelenen zaman serisinin "k" noktasından seri ikiye bölünür ve test istatistiği olan T(k) değeri denklem 1 ile hesaplanır;

$$T(k) = k\overline{z_1}^2 + (n-k)\overline{z_2}^2 \qquad k = 1,2,3 \ldots . n \tag{1}$$

$$\overline{z_1} = \frac{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}(Y_i - \overline{Y})}{s} \quad (1a)$$

$$\overline{z_2} = \frac{1}{n-k}\sum_{i=k+1}^{n}(Y_i - \overline{Y})/s \quad (1b)$$

Denklem 1 de Y_i seri değeri , $\overline{Y}$ seri ortalaması ve s ise standart sapmadır. Eğer test istatistiği olan T(k), seride "k" yılında değişim varsa en büyük değerini alır ve Test istatistiği;

$$T_0 = maks_{1\leq k\leq n} T(k) \quad (2)$$

Test istatistiği T_0 tablo değerini aşması durumunda H_0 hipotezi (seri homojen) reddedilir. T_0 kritik değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Güven düzeyi ve veri sayısına bağlı kritik değerler

GS \ n	20	30	40	50	70	100
%99	9.11	10.15	10.77	11.19	11.73	12.22
%95	6.95	7.65	8.10	8.45	8.80	9.15

3.2. Standart Yağış İndeksi

Standart Yağış İndeksi (SYİ), kuraklık analizlerinde sadece yağış verilerini kullandığı ve hesaplaması kolay olduğundan oldukça sık kullanılmaktadır. SYİ pozitif değerleri nemlilik durumlarını gösterirken, negatif değerleri kuraklık durumlarını göstermektedir. SYİ sadece kurak durumları göstermeyip aynı zamanda nemli durumları göstermesi, taşkın durumlarına yol açan toprak doyma koşullarının gelişimini değerlendirmeyi sağlar. SYİ hesabı üç adımdan oluşmaktadır. İlk adım ilgilenilen zaman ölçeğinde toplanan yağışın göreceli frekans dağılımına uygun bir olasılık yoğunluk fonksiyonu seçilir ve uydurulur. İkinci adım, kümülatif olasılığı hesaplanır. Üçüncü adım, ters normal dağılım fonksiyonu kümülatif olasılıklara dönüştürülür ve sonuç olarak SYİ elde edilmiş olur. Burada standart sapma bir ve ortalama sıfırdır. Bu çalışmada, genellikle yağış verilerinin uygun olduğu gama dağılımı kullanılmıştır. SYİ ile ilgili detaylı hesaplamalara Guttman (1999)'dan ulaşılabilir. Kuraklık/nemlilik durumlarının sınıflandırılması Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Standart Yağış İndeksi Sınıflandırması (Guttman, 1999)

SYİ Değeri	Sınıf	Olasılık(%)	SYİ Değeri	Sınıf	Olasılık (%)
SYİ ≥ 2.00	Aşırı şiddetli nemli	2.3	-1.00 ≤ SYİ < 0.00	Hafif kurak	34.1
1.50 ≤ SYİ ≤ 2.00	Şiddetli nemli	4.4	-1.50 ≤ SYİ < -1.00	Normal kurak	9.2
1.00 ≤ SYİ < 1.50	Normal nemli	9.2	-2.00≤ SYİ < -1.50	Şiddetli kurak	4.4
0.00 ≤ SYİ < 1.00	Hafif nemli	34.1	SYİ < -2.00	Aşırı şiddetli kurak	2.3

3.3. Modifiye edilmiş Mann-Kendall

Parametrik olmayan eğilim testlerinden olan Mann-Kendall, eğilim durumunu kurulan H_0 hipotezine göre test etmekte ve H_0 hipotezi ile eğilimin olmadığı varsayımı yapmaktadır. $x_1, x_2, ...x_n$ zaman serisi iki gruba bölünür ve (x_i , x_j) çiftleri ayrılır. Ardından i<j iken $x_i < x_j$

ise serideki toplam veri sayısı P ve $x_i > x_j$ ise serideki toplam veri sayısı M olarak ifade edilirse test istatistiği S = P-M olarak tanımlanır. Kendall korelasyon katsayısı veri sayısı (n) ve test istatistiği (S) ye bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \tag{3}$$

Burada $n(n-1)/2$, (xi, xj) çiftlerinin toplam sayısı gösterir ve τ değeri -1 ile +1 arasında değişir. S değerinin varyansı $n > 10$ için

$$Var\ (S) = \left[\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}\right] \tag{4}$$

seride eşit gözlemler var ise;

$$Var\ (S) = \frac{[n(n-1)(2n+5) - \sum_i t_i\ (t_i-1)(2t_i+5)]}{18} \tag{5}$$

şekilde hesaplanır. Standart normal Z değeri

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var\ (S)}}, Eğer\ \ S > 0 \\ 0 \quad\quad , \ Eğer\ \ S = 0 \\ \frac{S-1}{\sqrt{Var\ (S)}}, \ Eğer\ \ S < 0 \end{cases} \tag{6}$$

ile hesaplanır. Hesaplanan Z değeri eğer seçilen α anlamlılık seviyesinde $|z| \leq z_\alpha$ ise H_0 hipotezi kabul edilir, aksi halde reddedilir. Hesaplanan S değeri negatif ise azalan eğilim, pozitif ise artan eğilim sonucuna varılır. Seri korelasyon etkisini kaldırmak için, parametrik olmayan bir eğilim tahmincisini X'in ilk zaman serilerinden çıkarmayı ve yeni zaman serileri arasındaki otokorelasyonu değerlendirmeyi önermektedir (Hamed ve Rao, 1998). %5 anlamlılık seviyesinde sıfırdan önemli ölçüde farklı olan seri korelasyon katsayıları (lag(i) $'$deki ρ_s(i)) S'nin değiştirilmiş varyansını değerlendirmek için kullanılır, düzeltilmiş varyans;

$$Var^*\ (S) = Var\ (S) Cor \tag{7}$$

şeklinde hesaplanır, Cor otokorelasyon içindeki doğrulamayı temsil eder ve

$$Cor = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-1)(n-i-1)(n-i-2)\ \rho_s(i) \tag{8}$$

şeklinde hesaplanır.

3.4. Yenilikçi Eğilim Analizi

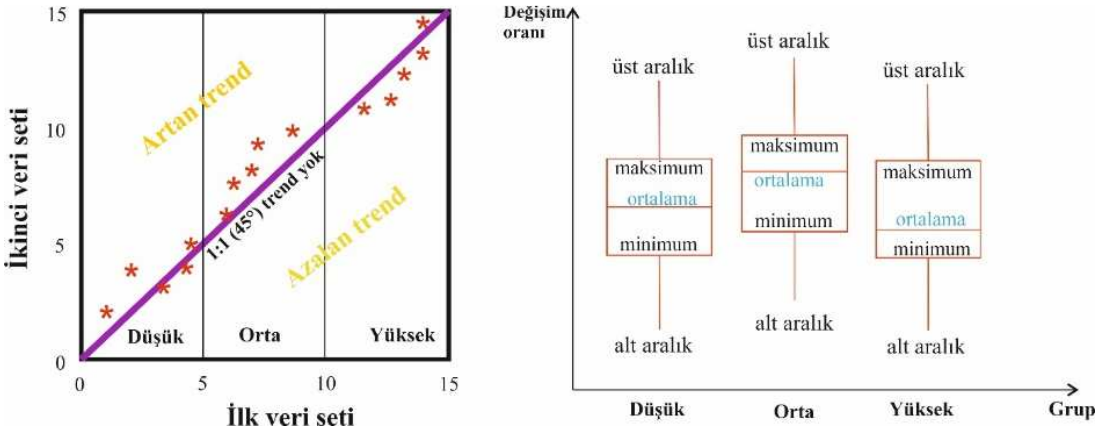
Şen (2012) tarafından önerilen yöntemde verilerin normal dağılım uymaması, verilerin içsel bağımlılığı bulunması, veri uzunluğunun kısa olması önemli değildir. Ayrıca bu yöntem

verileri farklı gruplarda incelememizi sağlar (düşük, orta, yüksek, kurak, nemli…). Yöntemin ilk aşamasında veriler eşit uzunlukta iki veri setine ayrılır ve her veri seti kendi içinde küçükten büyüğe sıralanır. İkici aşamada kartezyen koordinat sisteminde ilk veri seti yatay eksene, ikinci veri seti düşey eksene gelecek şekilde yerleştirilir. Üçüncü aşamada grafik üzerinde 1:1 (45°) doğrusu çizilir. Dördüncü aşamada veriler farklı guruplara uzman görüşü, iklim değişikliği raporları veya kaba bir hesap olarak ilk grup x; ortalaması $\overline{x}$, standart sapması s_x değerlerine bağlı olarak $x < \overline{x} - s_x$ ise düşük grup, $\overline{x} - s_x < x < \overline{x} + s_x$ ise orta grup $x > \overline{x} + s_x$ ise yüksek grup olarak belirlenebilir (Alashan, 2018). Eğer veriler doğru üzerinde ve yakın düşerse eğilim yoktur. Eğer veriler altına (üstüne) düşer ve sürekli eğriden uzaklaşacak şekilde azalıyor (artıyor) ise tekdüze azalan (artan) eğilim vardır. Küçük değerlerde sürekli bir azalış (artış) gözlenmezken, değerler büyüdükçe azalan (artan) durum gözlenen seriler de tekdüze olmayan azalan (artan) eğilim vardır (Dabanlı, 2017).

Eğilim durumları YEA ile grafik üzerinde gözlemlenebilmektedir. Gözlemlenen eğilim durumlarının yüzdelik değişimlerini sayısal olarak ifade etmek için Alashan (2018) tarafından YEA-Değişim Kutuları yöntemini önermiştir. Yöntemde YEA'nın ilk veri setine x, ikinci veri setine y olarak tanımlanır ve gruplar yukarıda öneriler ile yapılır. Yüzdelik değişimler,

$$\left(\frac{y_i - x_i}{x_i} * 100\right) \tag{9}$$

ile her grup için hesaplanır. Her grubun yüzdelik değişimleri hesaplandıktan sonra minimum ortalama ve maksimum yüzdelik değişim değerleri bulunduktan sonra her grup için kutu grafiğine aktarılır (Şekil 1).



Şekil 1. Yenilikçi Eğilim Analizi-Değişim Kutuları Yöntemi

4. Bulgular

Doğu Karadeniz kıyı şeridindeki dört adet yağış istasyonunun homojenlikleri SNHT ile %95 güven düzeyinde kontrol edilmiştir. Ordu, Giresun ve Rize istasyonlarının homojen, Trabzon istasyonunun homojen olmadığı belirlenmiştir (Tablo 4). SYİ hesaplamaları ve eğilim analizleri sadece homojen olan istasyonlarda yapılmış, dolayısıyla Trabzon istasyonu dikkate alınmamıştır.

Tablo 4. %95 güven düzeyinde Standart Normal Homojenlik Testi sonuçları

Şehir	Test İstatistiği	Değişim Yılı	Durum(H_0)
Giresun	7.40	-	Kabul
Ordu	3.60	-	Kabul
Rize	7.86	-	Kabul
Trabzon	20.22	1987	Red

Üç istasyonun yağış verilerinin %95 güven düzeyinde m-Mann-Kendall eğilim durumları hesaplanmıştır (Tablo 5). Sonuçlara göre yıllık toplam yağışlarda Giresun ve Rize istasyonları için artan eğilim gözlemlenmiştir. Giresun ve Rize'de sonbahar ve Ordu ilkbahar dönemlerinde artan eğilimler tespit edilmiştir.

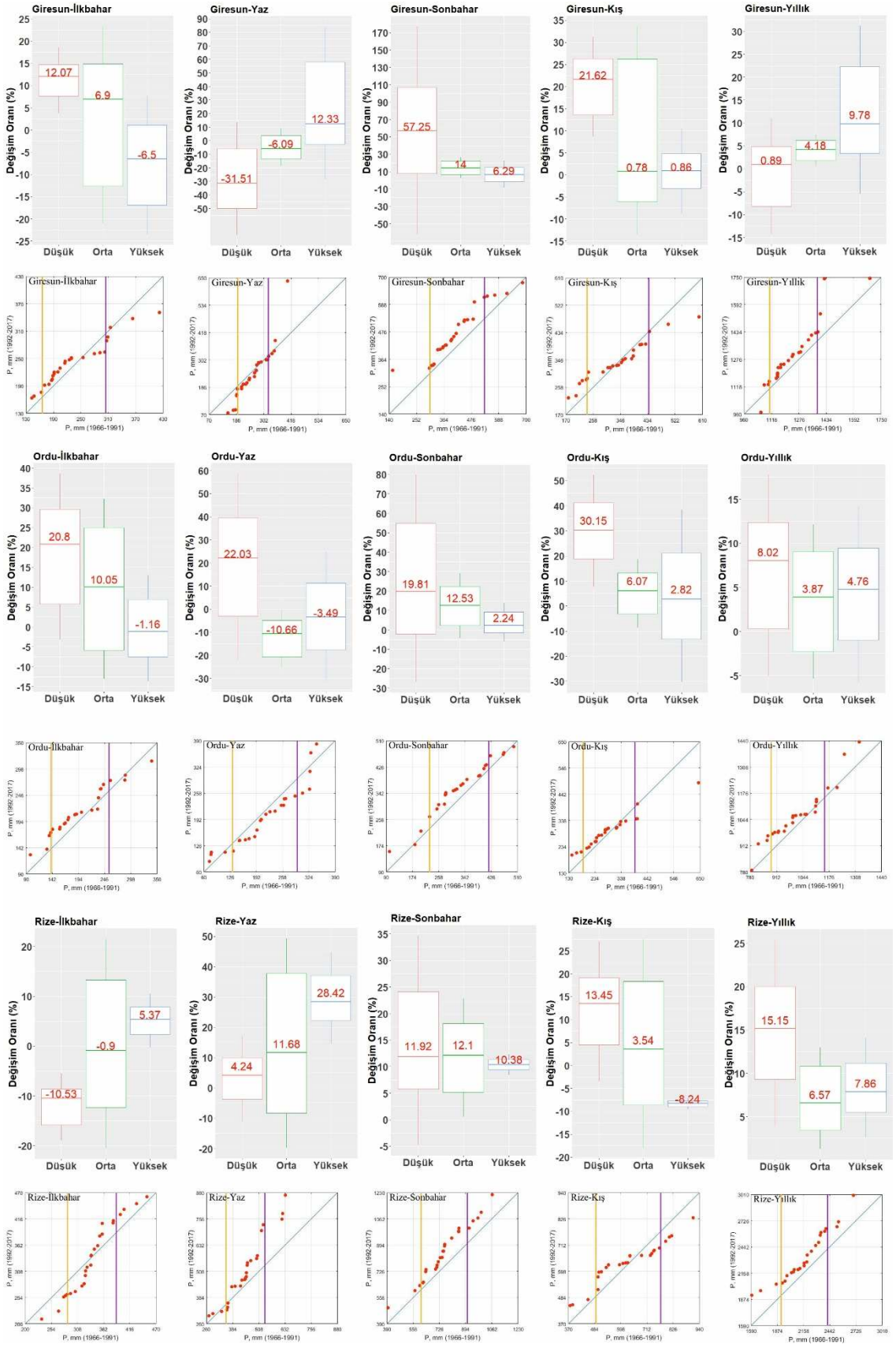
Tablo 5. %95 güven düzeyinde m-Mann-Kendall sonuçları

İstasyon	Dönem	Z	Test	Eğim	Eğilim
Giresun	İlkbahar	1.85	236		Yok
	Yaz	-0.55	-71		Yok
	Sonbahar	2.43	310	2.73	Artan
	Kış	0.25	32		Yok
	Yıllık	2.96	376	3.51	Artan
Ordu	İlkbahar	3.02	204	0.87	Artan
	Yaz	-1.21	-155		Yok
	Sonbahar	1.65	210		Yok
	Kış	1.14	99		Yok
	Yıllık	1.48	188		Yok
Rize	İlkbahar	0.51	46		Yok
	Yaz	1.75	223		Yok
	Sonbahar	2.08	291	2.91	Artan
	Kış	-0.08	-10		Yok
	Yıllık	2.45	311	6.20	Artan

Yağış verileri düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç grupta eğilim durumları YEA ile incelenmiş ve eğilimlerin yüzdelik değişimleri hesaplamıştır (Tablo 6, Şekil 2). Yıllık yağışlarda üç istasyonda da tüm gruplar için artan yönde eğilimler gözlemlenmiştir. Ortalama en büyük artış değer, %15.15 ile Rize istasyonundaki düşük değerlerde görülmüştür.

Tablo 6. Yağış verilerinin gruplara göre eğilimlerinin yüzdelik değişimleri

İstasyon	**Dönem**	**Düşük Grup (%)**				**Orta Grup (%)**				**Yüksek Grup (%)**			
		Min	**Ort**	**Mak.**	**Trend**	**Min**	**Ort**	**Mak.**	**Trend**	**Min**	**Ort**	**Mak.**	**Trend**
Giresun	İlkbahar	7.64	12.07	14.73	↑	-12.60	6.90	14.87	↑	-16.92	-6.50	1.11	↓
	Yaz	-50.06	-31.51	-6.00	↓	-13.23	-6.09	3.82	↓	-2.44	12.33	58.01	↑
	Sonbahar	7.62	57.25	106.87	↑	6.49	14.00	22.48	↑	-1.28	6.29	14.99	↑
	Kış	13.58	21.62	26.26	↑	-6.12	0.78	26.21	↑	-3.10	0.86	4.83	↑
	Yıllık	-8.15	0.88	4.88	↑	1.82	4.18	6.25	↑	3.41	9.78	22.31	↑
Ordu	İlkbahar	5.78	20.80	29.66	↑	-5.86	10.05	25.00	↑	-7.55	-1.16	6.92	↓
	Yaz	-3.00	22.03	39.49	↑	-20.68	-10.66	-4.96	↓	-17.63	-3.49	11.25	↓
	Sonbahar	-2.31	19.81	55.03	↑	2.26	12.53	22.42	↑	-1.45	2.24	9.05	↑
	Kış	18.83	30.15	41.15	↑	-3.15	6.07	13.14	↑	-13.17	2.82	21.14	↓
	Yıllık	0.30	8.02	12.39	↑	-2.28	3.87	9.05	↑	-0.97	4.76	9.46	↑
Rize	İlkbahar	-15.88	-10.53	-8.59	↓	-12.36	-0.90	13.29	↓	2.31	5.37	7.85	↑
	Yaz	-3.78	4.24	10.04	↑	-8.37	11.68	37.85	↑	22.25	28.42	37.07	↑
	Sonbahar	5.78	11.92	24.12	↑	5.12	12.10	18.19	↑	9.43	11.16	14.28	↑
	Kış	4.48	13.45	19.17	↑	-8.66	3.54	18.34	↑	-8.97	-8.24	-7.69	↓
	Yıllık	9.29	15.15	19.98	↑	3.43	6.57	10.82	↑	5.52	7.86	11.16	↑



Şekil 2. Yağış verilerinin Yenilikçi Eğilim Analizi-Değişim Kutuları

Mevsimlik incelemede ise, genellikle artan yönde eğilimler söz konusudur. Giresun ili ilkbahar yüksek değerler (%6.50) ile yaz düşük (%31.51) ve orta (%6.09) değerlerde azalan diğerlerinde artan yönde eğilimler görülmüştür. En yüksek artan yönde eğilim %57.25 değeri ile sonbaharın düşük veri grubunda meydana gelmiştir. Ordu ilinde ise ilkbahar yüksek değerler (%1.16), yaz orta (%10.66) ve yüksek (%3.49) değerlerde azalan yönde diğerlerinde artan yönde eğilimler tespit edilmiştir. En yüksek artış yüzdeler Giresun istasyonunda olduğu gibi yine düşük veri grubunda meydana gelmiştir. Son istasyon olan Rize'de ise ilkbaharın düşük (%10.53) ve orta (%0.90) değerleri ile kışın yüksek (%8.24) değerlerinde azalan yönde eğilim bulunmuştur. Artan yönde eğilimlerin yüzdeleri diğer iki istasyona göre daha düşüktür.

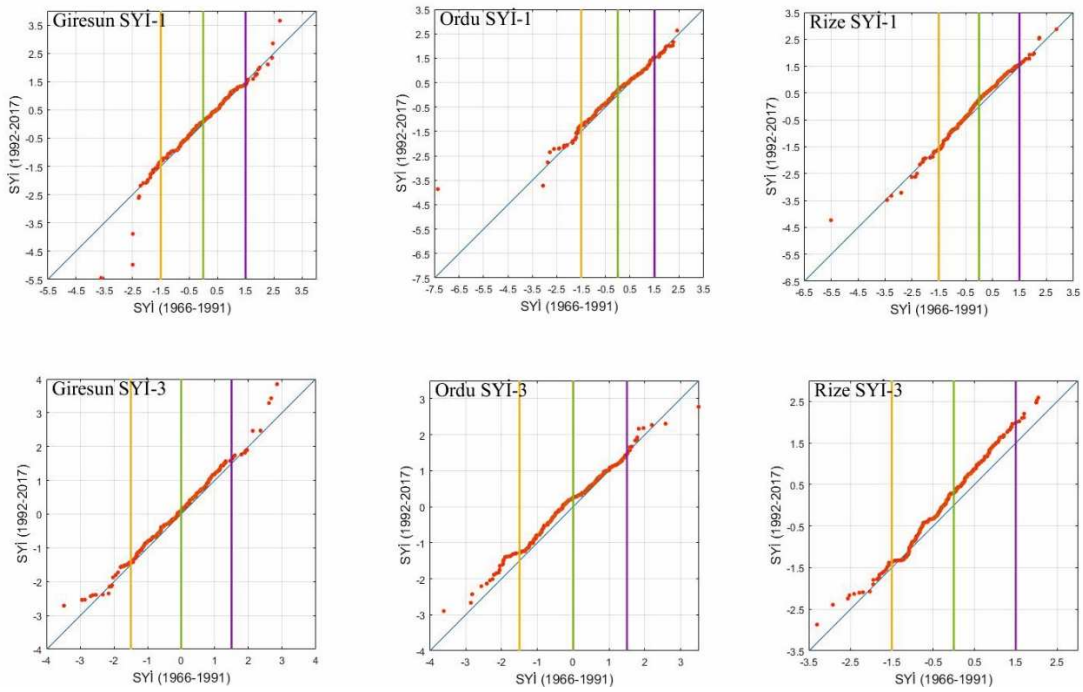
m-Mann-Kendall ve YEA-Değişim Kutuları yöntemleri yıllık veriler için birbiri ile kıyaslandığında; Giresun ve Rize istasyonlarında her iki yöntemde de artan yönde eğilimler tespit edilirken, Ordu istasyonunda m-Mann-Kendall yönteminde eğilime rastlanmazken YEA-Değişim Kutuları yönteminde her üç veri grubunda da artan yönde eğilim bulunmuştur. Mevsimlik değerlendirmede m-Mann-Kendall yönteminde Giresun ve Rize illerinde sonbahar mevsiminde istatistik olarak anlamlı bir artış gözlenmiştir. YEA-Değişim Kutuları yönteminde ise diğer yöntemden farklı olarak farklı veri grupları için değişik yönlü eğilimler belirlenmiştir. Ancak bu eğilimler genellikle artan yöndedir.

Bu çalışmada, kuraklık/nemlilik analizi için meteorolojik kuraklık olarak tanımlanan 1 ve 3 aylık SYİ kullanılmıştır. Kuraklık/nemlilik eğilim durumunu incelemek amaçlı m-Mann-Kendall eğilim analizi %95 güven düzeyinde bütüncül olarak (Tablo 7) ve YEA analizi ise dört farklı grupta incelenmiştir (Şekil 3 ve Tablo 8). Gruplar belirlenirken SYİ kuraklık/nemlilik sınırları, şiddetli durumları gösteren±1.5 ve kuraklık nemlilik sınırı olan 0 seçilmiştir. Kuraklık/nemlilik SYİ değerleri, 0 ve 0'a çok yakın değerler de ürettiği için denklem 9'da sıfıra bölünme hatası veya 0'a çok yakın değerlerde çok büyük yüzde değişimleri göstereceği için eğilim durumlarının yüzdelik değişimleri hesaplanmamıştır. Tablo 7 incelendiğinde SYİ kuraklık/nemlilik durumları tüm istasyonlarda artan bir eğilim göstermiştir. Şekil 3 ve Tablo 8 incelendiğinde, Giresun 1 aylık SYİ aşırı kuraklarda azalan eğilim varken diğer gruplarda herhangi bir eğilim görülmemektedir. Giresun 1 aylık SYİ aşırı kurak/nemli ve hafif kurak sınıflarında artan eğilim görülmektedir. Ordu 1 ve 3 aylık SYİ aşırı kurak sınıflarında artan eğilim görülürken aşırı nemli sınıflarında azalan eğilim görülmektedir. Ayrıca Ordu 1 ve 3 aylık normal kuraklıklarda artan eğilim görülmektedir. Rize 1 aylık SYİ aşırı kurak sınıfında azalan, hafif ve aşırı nemli sınıfında ise artan eğilim tespit edilmiştir. Giresun ve Rize 3 aylık SYİ tüm sınırlarda artan eğilim görülmektedir.

Yöntemler birbiri ile kıyaslandığında m-Mann-Kendall yönteminden tüm veriler için artan yönde eğilim tespit edilirken, YEA yönteminde ağırlıklı olarak ya eğilime rastlanmamış ya da artan yönde eğilim görülmüştür. Bunun yanında; Giresun ve Rize'nin 1 aylık SYİ değerlerinde şiddetli ve aşırı şiddetli kuraklık veri grubunda ve Ordu'nun iki SYİ değeri için de şiddetli ve aşırı şiddetli nemli veri grubunda azalan yönde eğilimlere rastlanmıştır.

Tablo 7. Standart Yağış İndeksi %95 güven düzeyinde m-Mann-Kendall sonuçları

Dönem	Z değeri	Test istatistiği	Eğim	Eğilim
Giresun-1	2.11	9457	0.0004	Artan
Giresun-3	2.60	18280	0.0008	Artan
Ordu-1	4.21	8185	0.0004	Artan
Ordu-3	2.68	12925	0.0006	Artan
Rize-1	2.86	12724	0.0006	Artan
Rize-3	3.50	22532	0.0010	Artan



Şekil 3. Standart Yağış İndeksi 1 ve 3 aylık meteorolojik kuraklık eğilim analizi

Tablo 8. Standart Yağış İndeksi'ne ait Yenilikçi Eğilim Analizi sonuçları

Kuraklık Sınıfı	**Giresun-1**	**Giresun-3**	**Ordu-1**	**Ordu-3**	**Rize-1**	**Rize-3**
Şiddetli ve Aşırı Şiddetli Kuraklık	↓	↑	↑	↑	↓	↑
Normal ve Hafif Kurak	↑	↑	↑	↑	↔	↑
Normal ve Hafif Nemli	↔	↑	↔	↔	↑	↑
Şiddetli ve Aşırı Şiddetli Nemli	↔	↑	↓	↓	↑	↑

5. Sonuçlar

Bu çalışmada Doğu Karedeniz Bölgesi kıyı şeridinde bulunan illerdeki meteoroloji istasyonları için yağış ve kuraklık verilerinin eğilim analizi yapılmıştır. Yağış verileri mevsimsel ve yıllık veriler, kuraklık verileri ise 1 ve 3 aylık Standart Yağış İndeksi (SYİ) değerleri dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Eğilim analizlerinde m-Mann-Kendall ve Yenilikçi Eğilim Analizi (YEA) yöntemleri kullanılmış ve yöntemler kendi içinde kıyaslanmıştır. Yağış verilerinin YEA yöntemi ile analizinde değişimin yüzdesel değişimini hesaplayan YEA-Değişim Kutuları yöntemi uygulanmıştır. Çalışma bölgesi olarak seçilen Doğu Karadeniz Havzası, Türkiye'nin en çok yağış alan havzası konumdadır. Eğilim analizi

için kıyı şeridinde bulunan illere ait Ordu, Giresun, Trabzon ve Rize istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır. Veriler %95 güven düzeyinde Standart Normal Homojenlik Testi yöntemine göre Trabzon istasyonu dışında homojen çıkmıştır.

Yıllık toplam yağış değerleri için m-Mann-Kendall Yöntemi ile yapılan analizde; %95 güven düzeyinde Giresun ve Rize istasyonlarında artan eğilimler gözlenmiştir. Mevsimlik incelemede ise Giresun'da sonbahar, Ordu'da ilkbahar ve Rize'de sonbahar mevsimlerinde artan eğilimler görülmüştür. Yağışlar için yapılan YEA-Değişim Kutuları analizinde ise Mann-Kendall Yöntemi'nin tersine, yıllık verilerde Ordu istasyonu içinde tüm veri gruplarında artan yönde eğilimler görülmüştür. Mevsimsel değerlendirmede Giresun ili için ilkbahar yüksek veri grubunda ve yaz mevsimi düşük ve orta veri grubunda azalan yönde diğer durumlar için ise artan yönde eğilimler ortaya çıkmıştır. Ordu ili için de mevsimsel değerlendirmede yüksek veri grubu dışında genellikle artan yönde bir eğilim söz konusudur. Yüksek veri grubunda ise sonbahar dışında azalan eğilim görülmüştür. Rize istasyonunda ise ilkbahar düşük ve orta veri grubu ve kış yüksek veri grubu dışında artan yönde eğilim söz konusudur.

SYİ verilerinin eğilimleri incelendiğinde, hem 1 aylık hem de 3 aylık verilerin tümünde m-Mann-Kendall yöntemine göre artan yönde eğilim tespit edilmiştir. Benzer şekilde YEA yönteminde de genellikle artan yönde eğilimler belirlenmiştir. Giresun ve Rize istasyonlarında 1 aylık SYİ değerleri için şiddetli ve aşırı şiddetli kuraklık veri grubunda, Ordu istasyonu için ise 1 ve 3 aylık SYİ değerleri için şiddetli ve aşırı şiddetli nemli veri grubunda azalan yönde eğilimler olduğu anlaşılmıştır. YEA yöntemi verileri farklı sınıf için analiz yapabiliyor olması bakımından eğilim konusunda daha ayrıntılı bilgilerin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

6. Kaynakça

1. Akçay, F. (2018). Doğu Karadeniz Havzası Aylık ve Yıllık Ortalama Akımlarının Eğilim (Trend) Analizi. (Yüksek Lisans), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
2. Alashan, S. (2018). An improved version of innovative trend analyses. Arabian Journal of Geosciences, 11(3), 50. doi:10.1007/s12517-018-3393-x
3. Alexandersson, H. (1986). A Homogeneity Test Applied to Precipitation Data. Journal of Climate, 6,6, 661–675.
4. Bacanli, U. G. (2017). Trend Analysis of Precipitation and Drought in the Aegean Region, Turkey. Meteorological Applications, 24(2), 239-249. doi:10.1002/met.1622
5. Dabanlı, İ. (2017). Türkiye'de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi ve Kuraklık Analizi: Akarçay Örneği. (Doktora), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
6. Du, J., Fang, J., Xu, W., & Shi, P. (2013). Analysis of dry/wet conditions using the standardized precipitation index and its potential usefulness for drought/flood monitoring in Hunan Province, China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27(2), 377-387. doi:10.1007/s00477-012-0589-6
7. Guttman, N. B. (1999). Accepting The Standardized Precipitation Index: A Calculation Algorithm. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 35(2), 311-322. doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x

8. Hamed, K. H., & Ramachandra Rao, A. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology, 204(1), 182-196. doi:https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X

9. Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wiihite, D. A., & Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index. Bulletin of the American Meteorological Society, 80(3), 429-438. doi:10.1175/1520-0477(1999)080<0429: MTDUTS>2.0.CO;2

10. Kahya, E., & Kalaycı, S. (2004). Trend analysis of streamflow in Turkey. Journal of Hydrology, 289(1), 128-144. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.11.006

11. McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology.

12. Partal, T., & Kahya, E. (2006). Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological Processes, 20(9), 2011-2026. doi:10.1002/hyp.5993

13. Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X. B., Epstein, P. R., & Chivian, E. (2001). Climate Change and Extreme Weather Events; Implications for Food Production, Plant Diseases, and Pests. Global Change and Human Health, 2(2), 90-104. doi:10.1023/A:1015086831467

14. Seiler, R. A., Hayes, M., & Bressan, L. (2002). Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. International Journal of Climatology, 22(11), 1365-1376. doi:10.1002/joc.799

15. Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. Journal of Hydrologic Engineering, 17(9), 1042-1046. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556

16. Şen, Z. (2015). Preface. In Z. Şen (Ed.), Applied Drought Modeling, Prediction, and Mitigation (pp. ix-xi). Boston: Elsevier.

Su Seviyelerinin Belirlenmesinde Deneysel Veri Toplama Araçlarının Karşılaştırması: Ultrasonik Sensör ve Görüntü İşleme

Kaan Dal[1], Ada Yılmaz[1], Burak Erdoğan[2], Selahattin Kocaman[1]

[1]Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
[2]Mustafa Kemal University, Hatay, Turkey
Email: kaan.dal@iste.edu.tr

Özet

Anlık su seviyesi değişimlerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar; öncesinde, yapıldığı sırada ve sonrasında veri toplama konusunda çeşitli zorluklar barındırmaktadır. Bu zorlukları maliyeti düşük ve uygulaması kolay yöntemlerle aşmak deneysel çalışmalar yapan araştırmacılar için önemli bir konudur. Ayrıca nümerik verilerini doğrulamak isteyen araştırmacılar için de deneysel verilerin doğruluğu göz ardı edilmemelidir. Bu çalışmada serbest yüzeyli akımlar konusunda yapılan deneylerde yaygın şekilde kullanılan iki deneysel veri toplama yöntemi (ultrasonik sensör ve görüntü işleme) literatür çalışmaları üzerinden karşılaştırılarak ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, ultrasonik sensör, deneysel çalışma, serbest yüzeyli akımlar

Comparison of the Experimental Data Acquisition Tools used to Determine the Water Levels: Ultrasonic Sensor and Image Processing

Abstract

Experimental studies to determine instantaneous water level variations have many challenges regarding the data acquisition during the study. Overcoming those challenges using low-cost and user friendly methods is important for the researchers. Also, accuracy of the experimental data must be considered by the numerical researchers to validate their data. In this study, two experimental data acquisition methods (ultrasonic sensor and image processing) which are widely used in the experimental studies on free surface flows were compared by discussing the literature.

Keyword(s): Image processing, ultrasonic sensor, experimental study, free surface flows

1. Giriş

Açık kanal akımlarının davranışını anlamak için yapılan laboratuvar deneylerinde ölçüm almak zorlu bir mücadele olabilmektedir. Ölçümün alınması bir yana, elde edilen verinin doğru olup olmadığı da önemli bir ayrıntıdır. Laboratuvar verileri, HAD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yazılımı geliştiren araştırmacılar için de yazılımın başarısını test etme amaçlı kullanıldığından, elde edilen verilerin güvenilirliği ve hassasiyeti son derece

önemlidir. Deneysel veri toplama yöntemi olarak son yıllarda ultrasonik sensörler ve görüntü işleme yöntemleri yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Literatürdeki deneysel çalışmalarda araştırmacıların sensörlerden [1-2], görüntü işlemeden [3-5] veya her iki yöntemden de faydalandığı çalışmalar [6-9] bulunmaktadır.

Bu çalışmada akımı rahatsız etmeyen (non-intrusive) ölçüm yöntemleri olan ultrasonik sensör ve görüntü işleme metotlarına ait deneysel sonuçlar literatür üzerinden incelenmiş ve iki deneysel veri toplama yöntemi karşılaştırılarak birbirlerine göre üstünlükleri ve zayıf yönleri araştırılmıştır.

2. Ölçüm Yöntemleri

2.1. Ultrasonik Sensörler

Sensörlerin çalışma prensibi, sensörden çıkan ses dalgasının bir yüzeye çarpıp sensöre dönmesi ve sensörün dalganın dönüş süresinden anlık olarak mesafe hesabı yapmasına dayanmaktadır. Bu bilgiler deney anında bir veri toplama cihazında işlenip bir bilgisayara aktarılmakta ve zaman-derinlik grafikleri elde edilmektedir. Sensöre ait bir görüntü Şekil 1'de bulunmaktadır.

Şekil 1 – Ultrasonik sensör [6]

Bu çalışmada karşılaştırmaya konu edilen 3 çalışmada da Microsonic™ marka Mic+25IU/TC model sensörler kullanılmıştır.

2.2 Görüntü İşleme Tekniği

Bu yöntemde temel olarak görüntüyü oluşturan pikseller bir birim olarak kullanılmakta ve pikseller üzerinden yapılan okumalar bir yazılım aracılığıyla veya elle metrik uzunluklara çevrilip akışkana ait zaman-derinlik ilişkisi elde edilebilmektedir. Görüntü işleme yöntemi ile anlık su seviyesi değişimlerinin elde edilmesinde, Kocaman [3] tarafından geliştirilen ve sanal derinlik ölçer olarak adlandırılan yöntem kullanılmıştır. Konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir [3,5-8].

3. Araştırma Bulguları

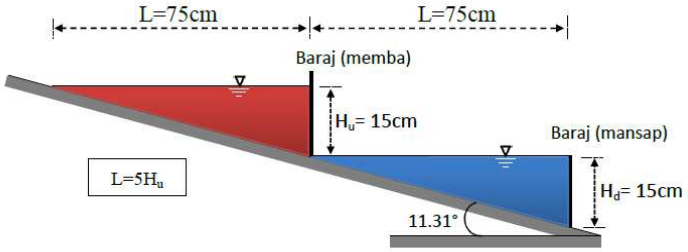
Bu çalışmada bulgular, serbest yüzeyli akım problemlerini ele alan üç farklı çalışmaya [6-8] ait deneylerin belli bir ölçüm noktasına ait sensör ve görüntü işleme sonuçlarının

karşılaştırılması üzerinden yapılmıştır. Bu karşılaştırma için başvurulan kaynakların seçimindeki en önemli etken birbirlerinden farklı deney düzenlerini incelemeleri, dolayısıyla hidrolik alanındaki farklı tip problemleri konu edinmeleridir. Bu konular baraj yıkılması, çalkantı ve akışkan-katı etkileşimidir. Konuların çeşitli olmasıyla karşılaştırılan yöntemlerin değişik problemler için performanslarının incelenmesi ve daha kapsamlı bir karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır.

Kıyaslama her kaynaktan ikişer grafik alınarak yapılmıştır. Ele alınan grafiklerden birinde uyum güçlü iken diğerinde ise uyumun az olduğu görülecektir. Böyle bir seçim yapılmasının sebebi ise yöntemlerin birbirleri ile uyumlu oldukları ve farklı ölçüm sonuçları verdikleri koşulları en iyi şekilde göz önüne koymaktır.

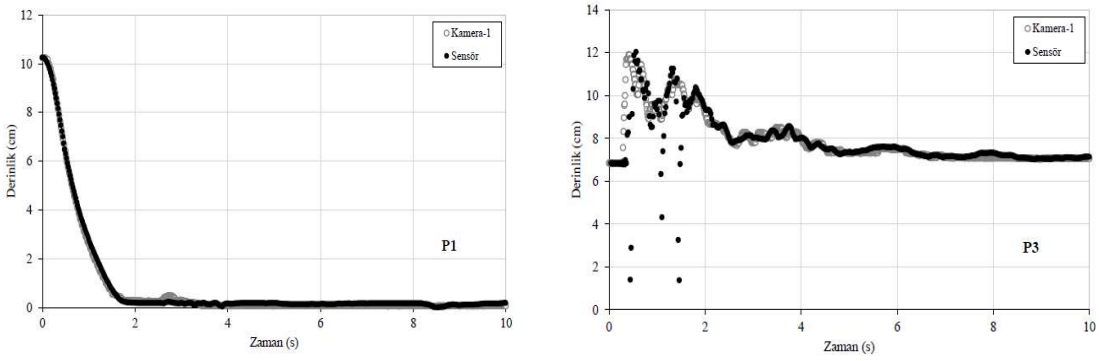
3.1. Baraj Yıkılması Problemi İçin Karşılaştırma

Karşılaştırmaya konu edilen çalışmada [6] eğimli bir kanalda baraj yıkılması deneyi yapılmış ve elde edilen deneysel sonuçlar nümerik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deney düzeneği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2 – Baraj yıkılması deney düzeneği [6]

Çalışma içerisinden karşılaştırma için seçilen grafiklerde biri barajı temsil eden kapağın hemen membasında (P1) ve diğeri ise hemen mansabında (P3) olmak üzere iki farklı noktadaki su seviyesi değişimleri Şekil 3'de verilmiştir.



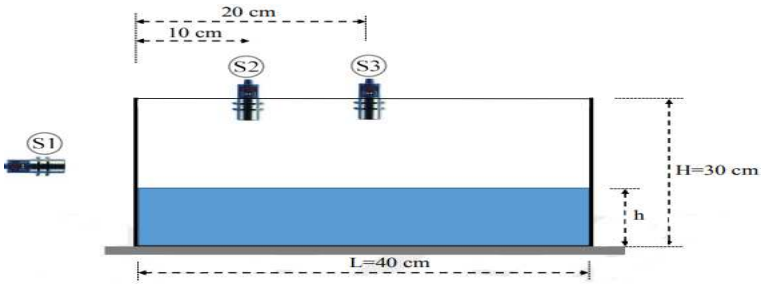
(a) (b)

Şekil 3 – Baraj yıkılması için görüntü işleme ve sensör verilerinin karşılaştırılması

Uyumun yakalandığı Şekil 3(a), kapağın kalmasıyla birlikte rezervuardaki su seviyesinin hızla düzenli bir biçimde düştüğü, deney düzeneğinin memba kısmından yapılan ölçümlere dayanmaktayken, Şekil 3(b) ise memba kısmında; taşkın dalgasının oluşumu, dalganın kırılması ile yayılmasının meydana geldiği ve su seviyesinde ani değişimlerin olduğu daha kaotik bir ortamda yapılan ölçümlere dayanmaktadır. Akımın sakin olduğu durumlarda uyum artarken, tersi durumlarda ise uyumun azaldığı ve ultrasonik sensörün hatalı okumalar yaptığı görülmektedir.

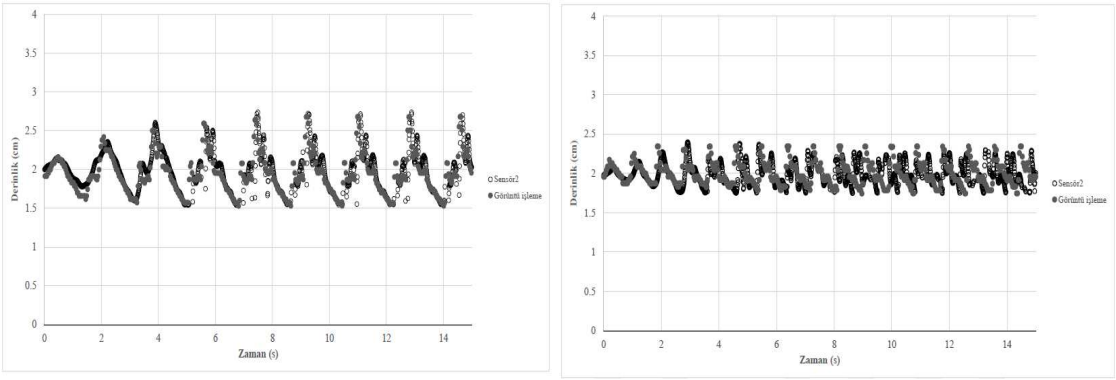
3.2. Çalkantı Problemi İçin Karşılaştırma

Çalışmada [7] bir tanka belli frekanslarda titreşim uygulanmış ve içindeki akışkanda oluşan çalkantı hareketi deneysel ve sayısal olarak incelenmiş, ayrıca farklı ölçüm yöntemleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Deney düzeneği Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4 – Çalkantı problemi deney düzeneği [7]

Çalışmada elde edilen grafikler ise Şekil 5'de verilmiştir.



(a) (b)

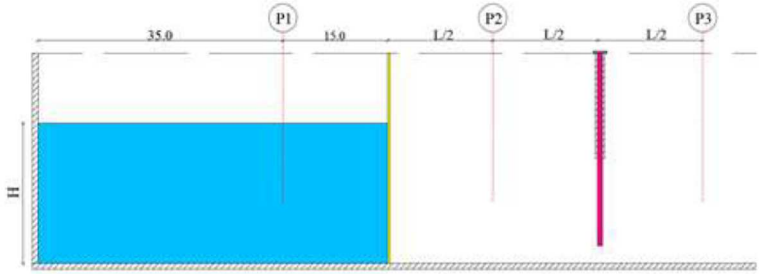
Şekil 5 – Çalkantı hareketi için görüntü işleme ve sensör verilerinin karşılaştırılması
a) S2 b) S3 ölçüm noktası

Şekil 5, çalışmada su derinliği (h) 2cm ve frekans (f) 0,55 hertz değerlerine ait verilere aittir. Şekil 5 (a,b) ise sırasıyla S2 ve S3 noktalarında alınan veriler ile oluşturulan eğrilerdir. Aynı noktalardan elde edilen görüntü işleme ve sensör verileri; zamansal uyum, genlik ve pik

değerleri üzerinden karşılaştırıldığında ise S2 noktasında S3 noktasına göre daha uyumlu sonuçların olduğu göze çarpmaktadır.

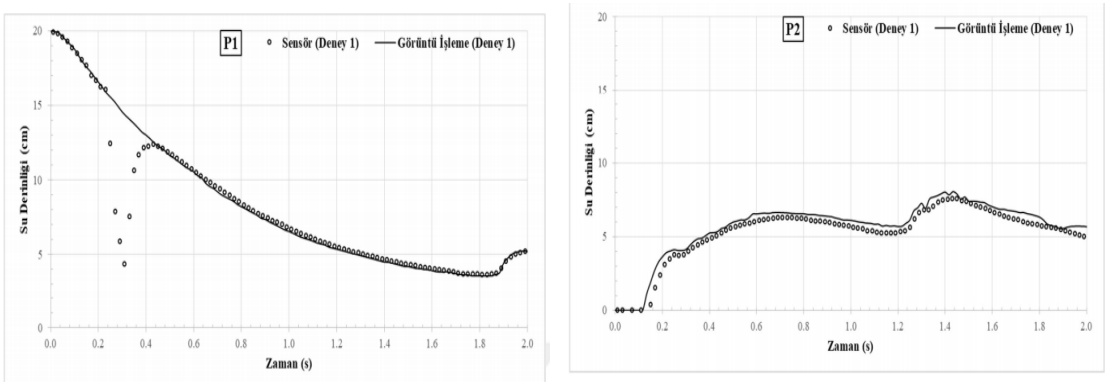
3.3. Akışkan-Katı Etkileşimi Problemi İçin Karşılaştırma

Bu çalışmada [8], akışkanın elastik katı bir cisimle etkileşimi sonucu meydana gelen davranış sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Deney düzeneği Şekil 6'da verilmiştir. Problem baraj yıkılması problemine benzemekle beraber taşkın dalgası mansapta bulunan elastik bir cisme çarpmakta ve sonrasında akımın bir kısmı kapak altından geçerek mansap doğrultusunda ilerlemekte bir kısmı ise yansıyarak memba yönünde ilerlemektedir.



Şekil 6 – Akışkan-katı etkileşimi deney düzeneği [8]

Çalışmada elde edilen su seviyesi değişimlerine ait grafikler Şekil 7'de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 7 – Akışkan-katı etkileşimi için görüntü işleme ve sensör verilerinin karşılaştırılması

Şekil 7(a)'da membada bulunan P1 noktasından ölçüm alınırken, (b)'de mansaptaki P2 noktasından alınmıştır. İki veri de L/H=2 (elastik malzemenin konumu/başlangıç su derinliği) oranında elde edilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde P1 verisinde sensörde bazı olağandışı okumalar görünürken P2 noktasından alınan verilerde ise genel bir uyum olduğu görülmektedir. Görüntü işleme yönteminde ise su seviyesi değişimlerinin kesintisiz bir biçimde belirlenebildiği göze çarpmaktadır.

4. Sonuçlar

Şekil 3,5 ve 7 incelendiğinde sensörlerin genel olarak akımın sakin olduğu ortamlarda görüntü işleme ile uyumlu sonuçlar verdiği ancak akımdaki karmaşıklık arttıkça uyumun azaldığı görülmektedir. Bu durumun sensörün çalışma prensibine bağlı olarak gönderilen ses dalgasının eğimli olan su yüzeyine çarpıp tekrar sensöre dönememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bunun dışında iki yönteminde de uygulanmasında çeşitli avantajlar ve dezavantajlar bulunmaktadır. Örneğin görüntü işleme yönteminde kameraların pozisyonu, zemine ve deney düzeneğine olan açısının düzgün şekilde ayarlanması ölçümleri önemli şekilde etki ederken, sensörlerin sadece su yüzeyine dik şekilde yerleştirilmesi yeterli olmaktadır. Ancak sensörler belli aralıklarda (3-25 cm) okuma yapabilmekte, derinlik bu aralıktan az ya da çok olduğu durumlarda okuma yapamamaktayken, görüntü işleme yönteminde ise böyle bir durum söz konusu olmamaktadır.

Sensörlerin tepki süresi de okumanın hassasiyetini etkilemektedir. Sensör okuma yapamadığında, sensörlerin tepki süresince hatalı okumalara devam ettiği görülmüştür. Bu nedenle düşük tepki süreli sensörler kullanılması daha uygun olacaktır. Ayrıca sensörlerden yüksek hertz değerlerinde veri alabilmek için buna uygun bir veri işleme cihazının da bulunması gerekmektedir. Buna karşın kameralarda da su seviyesinde ani değişimlerin olduğu problemlerde detayların kaçırılmaması için yüksek kare hızına sahip kameraların kullanılması gerekmektedir. Ayrıca iyi görüntü ve bu görüntülerden hassas veriler elde edilebilmesi için deney ortamının iyi aydınlatılması son derece önemli olmaktadır.

Ayrıca sonuçlar değerlendirilirken sensörlerin her üç çalışmada da kanal kesitinin tam ortasından ölçüm yapması, görüntü işlemenin ise deney kanallarının yan yüzeylerinden ölçüm yapması küçük de olsa bazı farklılıklara sebep olmaktadır.

Serbest yüzeyli akımları inceleyen deneylerde yaygın veri toplama yöntemi olarak kullanılan iki yöntem karşılaştırılmış, görüntü işlemenin daha başarılı veriler sağladığı ancak ultrasonik sensörlerin de bilinçli kullanılmaları halinde önemli bir alternatif olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

1. Murzyn, F., & Chanson, H. (2009). Free-surface fluctuations in hydraulic jumps: Experimental observations. Experimental Thermal and Fluid Science, 33(7), 1055-1064.
2. Dal, K., & Kocaman, S., (2018). Comparison of the experimental results with SPH method for sequential dam-break problem. 5th IAHR Europe Congress, Trento, Italy.
3. Kocaman, S. (2007). Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 305).

4. Liu, H., Liu, H., Guo, L., & Lu, S. (2017). Experimental study on the dam-break hydrographs at the gate location. Journal of Ocean University of China, 16(4), 697-702.
5. Kocaman, S., & Ozmen-Cagatay, H. (2015). Investigation of dam-break induced shock waves impact on a vertical wall. Journal of Hydrology, 525, 1-12.
6. Dal, K. (2018). Eğimli Kanalda Ardışık Baraj Yıkılmasının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun, Hatay, 81).
7. Erdoğan, B. (2018). Dikdörtgen Tank İçerisindeki Çalkantı Hareketinin Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun, Hatay, 86).
8. Yılmaz, A. (2019). Akışkan-Yapı Etkileşimi Problemlerinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun, Hatay, 100).
9. Zhang, G., Valero, D., Bung, D. B., & Chanson, H. (2018). On the estimation of free-surface turbulence using ultrasonic sensors. Flow Measurement and Instrumentation, 60, 171-184.

Tabanında Dikdörtgen Orifis Bulunan Bir Tankın Boşalma Süresinin Analizi

Hasan Güzel[1], Kardelen Duman[1], Ada Yılmaz[1], Kaan Dal[1], Selahattin Kocaman [1]

[1]İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun/Hatay

Özet

Yapılan çalışmada, dikdörtgen tanktaki akışkanın, dikdörtgen kesitli orifisten tahliye edilmesi problemi deneysel ve sayısal ve analitik çözüm kullanılarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda görüntü işleme yöntemi ile; sayısal çalışmada ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı ile elde edilen su seviyesinin zamana gore değişimleri karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra kullanılan orifise ait orifis katsayıları belirlenmiştir. Sayısal sonuçlar ile deneysel veriler arasında karşılaştırma yapıldığında; Hesaplamalı akışkanlar dinamiği yönteminin, bu tür problemlerin çözümünde faydalı ve etkili bir araç olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: tankın boşalması, orifis, görüntü işleme, HAD, sayısal analiz

Analysis of the Discharge Time of a Tank with Rectangular Bottom Orifice

Abstract

In this study, the problem of draining of a water-filled rectangular tank through an orifice having rectangular cross-section was investigated experimentally and numerically. Time evolution of the water level, obtained experimentally by using image processing technique and also numerically using a CFD software, was presented comparatively. In addition, orifice coefficients were determined for the orifice. Comparison between the numerical results and the experimental data showed that CFD can be used an effective tool for the determination of the main characteristics of the problem with reasonable accuracy.

Key Words: tank draining, orifice, image processing, CFD, numerical analysis

1. GİRİŞ

Su depolarında mevcut olan akışkanın, deşarjına yarayan, deponun tabanında veya yan cidarlarda bulunan açıklıklara orifis denilmektedir. Orifis, çeşitli akışkanların depo edilmesi için inşa edilen su tanklarında, barajların dip savak uygulamaları kapsamında ve buna benzer birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Dar bir kesit alanına sahip olan orifisten çıkan akışkanın debisi; akışkanın türüne, orifis kesitinin özelliklerine, depodaki suyun yüksekliğine ve kesit alanına göre değişim göstermektedir. (Lubin, 1967; Ali Underwood, Lee ve Wilson, 2016). Bu nedenle haznedeki akışkanın boşalma süresinin belirlenmesinde, bu etkilerin dikkatlice ele alınıp debi miktarının doğru olarak hesaplanabilmesi gerekmektedir.

Deşarj edilen akışkanın debisinin belirlenmesinde kullanılan analitik yaklaşımda, enerjinin korunumu prensibine dayanan Bernoulli denklemi kullanılmaktadır (Saleta, 2005). Bu denklemde, bazı kabullerin yapılması ile orifis kesitinden çıkan akışkan hızının, akışkanın ilk yüksekliğine bağlı olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda gerçek ve teorik debi değerleri arasında farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıklar orifis katsayısı (C) ile dengelenmektedir. Orifis katsayısı iki debi değerinin birbirine oranı olan bir katsayıdır ve birden küçük bir değer almaktadır. Akışkan türü, orifisin kesit özellikleri, orifis katsayısını belirleyen temel etmenlerdir. Orifis katsayıları hesaplanırken haznedeki su seviyesinin sabit olduğu kabul edilmektedir (Libii, 2003).

Bazı araştırmacılar farklı boyutta dairesel kesitli orifisler kullanarak debi değerlerindeki değişimi gözlemlemişleridir. (Libii, 2003; Bulut, 2013). Ayrıca, orifisten çıkan akışın özelliklerinin, farklı cidar kalınlıklarındaki orifisler ile etkileşimi araştırmacılar tarafından incelenmiştir (Oğuday, 2010). Bazı araştırmacılar ise aynı haznedeki iki farklı yoğunluktaki akışkanın orifis kesitinden deşarjını incelemişlerdir (Zhou ve Graebel, 1990). Gürsoy (1999); daralan orifis kesitinden çıkan akışkanın basınç kaybı, basınç dağılımı ve oluşan debi katsayısı gibi temel özelliklerinin araştırıldığı bir çalışma da gerçekleştirmiştir (Chanson ve ark. 2002). Son yıllarda hesaplamalı akışkanlar dinamiği esaslarına dayanan sayısal çözümler de problemin incelenmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, bu yazılımların hidrolik problemlerin çözümünde kullanılabilmeleri için deneysel çalışmalar ile doğrulanma ihtiyacı bulunmaktadır. Bu konudaki literatürde silindirik bir tankın orifisinden deşarjı sağlanan akışkanın sayısal olarak modellendiği bir çalışma da mevcuttur (Sakri, 2017).

Bu çalışmada, tankın boşalma süresi ve orifis katsayısı gibi temel parametreler; tabanında dikdörtgen kesitli bir orifis bulunan kare prizması şeklinde bir tank kullanılarak öncelikle deneysel olarak incelenmiştir. Su seviyesi değişimleri görüntü işleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler, Reynolds ortalamalı Navier Stokes denklemlerinin çözümüne dayanan 3-boyutlu sayısal sonuçlar ile karşılaştırılarak sayısal modelin bu problemi çözebilme kabiliyeti irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Teori

Torricelli'nin teoremi ve Bernoulli denklemi kullanıldığında bir tankın boşalma süresini veren ifade aşağıdaki formda elde edilebilir.

$$T = \frac{2AH}{Ca\sqrt{2gH}} \quad (1)$$

Burada *T* tankın boşalma süresini, *H* başlangıçta tanktaki su yüksekliğini, *A* tankın kesit alanını, *a* orifisin kesit alanını, *g* yerçekimi ivmesini ve *C*'de orifis katsayısını göstermektedir. *C* katsayısı ideal akışkan ile gerçek akışkan arasındaki enerji kayıplarını yansıtan bir düzeltme katsayısı olarak düşünülebilir. Bu ifade düzenlenirse tanktaki suyun başlangıçtaki seviyeden farklı bir seviyeye kadar azalması için geçen süre aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\mathrm{T} = \frac{2\mathrm{A}\left(\sqrt{\mathrm{H}}-\sqrt{h}\right)}{\mathrm{Ca}\sqrt{2\mathrm{g}}} \quad (2)$$

Bu durumda *h* herhangi bir andaki su seviyesini *T*'de bu su seviyesine ulaşılması için gereken süreyi verecektir. Buradan *C* orifis katsayısı bulunmak istenirse eşitlik aşağıdaki şekli alacaktır.

$$C = \frac{2A}{a\sqrt{2g}}\frac{\left(\sqrt{H}-\sqrt{h}\right)}{T} \quad (3)$$

Burada $2\mathrm{A}/\left(\mathrm{a}\sqrt{2\mathrm{g}}\right)$ değeri problem için sabit olacaktır. Eğer $\left(\sqrt{\mathrm{H}}-\sqrt{\mathrm{h}}\right)$ değerlerine karşılık gelen zaman değerlerinin grafiği çizilirse, bu grafik doğrusal olacaktır. Bu nedenle *C* katsayısı bu doğrunun eğiminin bir fonkisyonu olacaktır. Diğer bir ifade ile $\left(\sqrt{\mathrm{H}}-\sqrt{\mathrm{h}}\right)/\mathrm{T}$ = ***eğim*** olarak tanımlanırsa, bu durumda orifis katsayısı çizilecek bu grafiğin eğiminden yararlanılarak aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$C = \frac{2A}{a\sqrt{2g}} \times (\boldsymbol{e\check{g}im}) \quad (4)$$

Tankın boşalma süresinin hassas olarak hesaplanabilmesi için orifis katsayısının doğru tespiti gereklidir. Herhangi bir zamanda gerçek akışkan için tanktaki su seviyesini veren ifade Denklem 2'de *h* değerinin yalnız bırakılmasıyla bulunabilir.

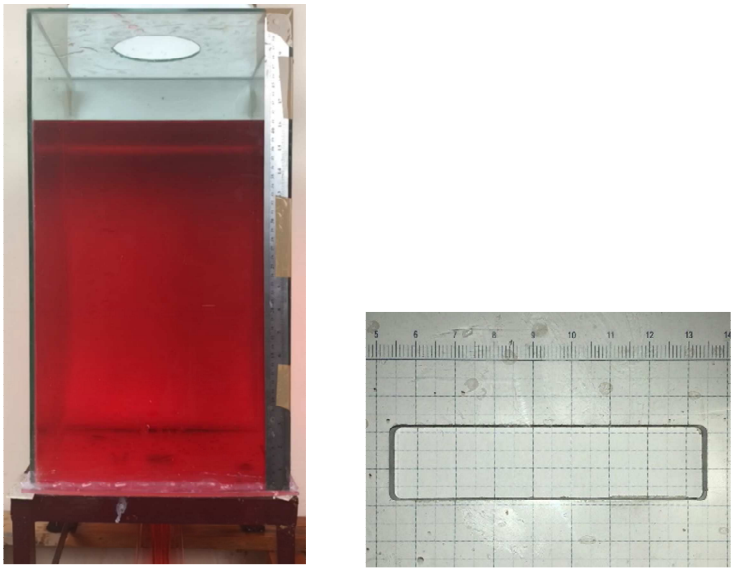
$$h = \left(\sqrt{H} - t\frac{Ca\sqrt{2g}}{2A}\right)^2 \quad (5)$$

İdeal akışkan için *C*=1 olacaktır ve analitik çözüme ait zamana bağlı su seviyesi değişimini gösterecektir.

2.2. Deney Düzeneği

Deney düzeneği olarak boyutları 30x30x50 cm (en, boy, yükseklik) olan kare prizması şeklinde, üst kısmı atmosfere açık, camdan yapılmış bir tank kullanılmıştır. Bu tank 45 cm yüksekliğe kadar su ile doldurulmuştur. Yapılan çalışmada; pleksiglas malzemeden yapılmış, cidar kalınlığı 0.5 cm olan ve ortasında dikdörtgen kesitli bir orifis bulunan plaka tank tabanına yapıştırılmıştır (Şekil 1). Kenar uzunlukları yaklaşık 2x8cm olan orifis kesiti plakayı tam ortalayacak şekilde konumlandırılmıştır. Orifis alanının doğruluğunun kontrolü ayrıca görüntü işleme tekniği ile sağlanmıştır.

Deneysel veriler için kullanılan görüntü işleme tekniğinde, su seviyesi değişiminin kolaylıkla izlenebilmesi ve sağlıklı sonuçlar elde edilebilmesi amacı ile su kırmızı renkli gıda boyası ile renklendirilmiştir. Video çekimlerindeki yansımayı engellemek için hazne arkasında beyaz bir fon kullanılmıştır ve ortam softboxlar kullanılarak aydınlatılmıştır. Deney koşullarının uygun şekilde oluşturulması sonrasında, saniyede 60 kare hızında video kaydedebilen bir akıllı telefon yardımıyla, 1280x720 piksel çözünürlükte deneyin video kayıtları gerçekleştirilmiştir.



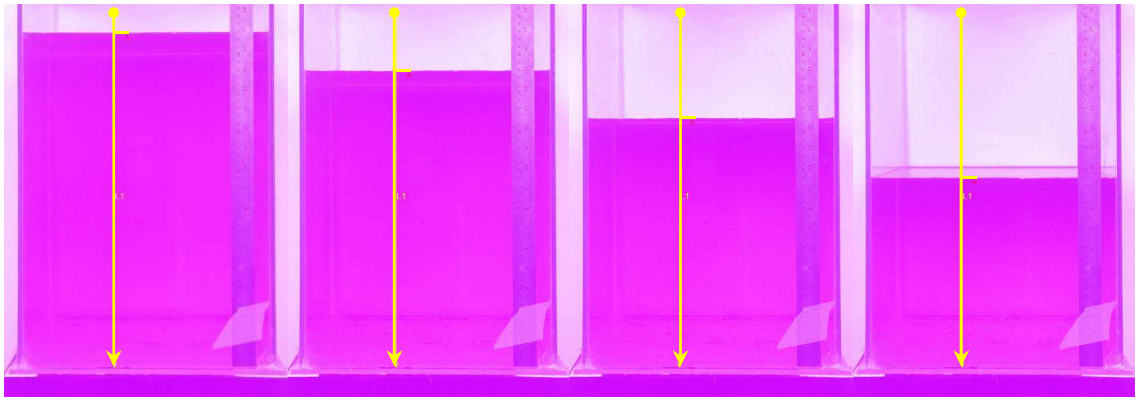
Şekil 1: Deney düzeneği ve tabanda kullanılan orifis kesiti

2.3. Su Seviyesi Değişimlerinin Sanal Derinlik Ölçer ile Belirlenmesi

Yapılan çalışmada orifisten suyun boşalması sırasında tanktaki su seviyesinin azalması görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Bu amaçla Kocaman (2007), tarafından geliştirilen ve “sanal derinlik ölçer” olarak tanımlanan bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem birçok araştırmacı tarafından kullanılmış ve baraj yıkılması, çalkantı (sloshing) gibi ani su seviyesi değişimlerinin olduğu problemlerde bile su derinliklerinin ölçümünde doğru ve

hassas sonuçlar alınabildiği ultrasonik sensör sonuçları ile karşılaştırılarak gösterilmiştir (Kocaman ve Ozmen-Cagatay, 2015; Dal, 2018; Erdoğan 2018; Yılmaz 2019).

Bu yöntemde su seviyeleri görüntü işleme tekniklerinden kenar tanıma fonksiyonu kullanılarak yapılmaktadır. Serbest su yüzeyinin diğer bir ifade ile su-hava arakesitinin bir kenar olarak tanımlanabilmesi için su içerisine gıda boyası katılarak renklendirilmektedir. Su-hava arakesitindeki keskin renk farklılığından kaynaklanan bu zıtlıktan yararlanılarak serbest su yüzeyinin yazılım tarafından bir kenar olarak algılanması sağlanmaktadır. Sanal derinlik ile ölçüm yapılmak istendiğinde, ilk olarak görüntü üzerinde koordinat girilerek Şekil 2'de görüldüğü gibi bir nevi cetveli temsil eden bir vektör görsel olarak tanımlanmaktadır. Ölçüm yeri belirlenen yerdeki bu vektör üzerinde ani renk değişiminin olduğu nokta kolaylıkla kenar olarak tanımlanabilmekte ve görüntüden bu noktanın piksel olarak konum değerleri alınabilmektedir. Metrik kalibrasyon ile piksel/uzunluk değeri bilindiğinden bu konum değerleri uzunluk değerlerine dönüştürülmektedir. Video kaydı alınan deney görüntülerinin arka arkaya oynatılması ve bu işlemlerin ardışık olarak tekrar edilmesiyle zamana bağlı su değişimleri sanal derinlik ölçer ile hassas bir biçimde elde edilmektedir.



Şekil 2. Sanal derinlik ölçer ile su seviyesi değişimlerinin ölçülmesi

2.4 Sayısal Yöntem

Yapılan çalışmada sayısal analizler Flow-3D yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu program özellikle açık kanallı akımlarda kullanılmakla birlikte; momentum, süreklilik ve enerji temel kanunlarına dayandığından akışkanlar mekaniği problemleri çözümünde oldukça kullanışlıdır. Program süreklilik ve hareket (RANS: Reynolds Averaged Navier Stokes) denklemlerinden oluşan üç boyutlu diferansiyel denklemleri sonlu hacimler yöntemiyle çözmektedir. Çözümler dikdörtgen ağlardan (mesh) oluşan sistem üzerinde yapılmaktadır. Yoğunluk, basınç ve hız vektörleri kontrol hacmi yardımı ile hesaplanabilmektedir. Her kontrol hacmini bir hücre olarak düşündüğümüzde bu hücrelere katı ve sıvı özelliği atanması ile laboratuvardaki deney düzeneği programa aktarılmaktadır. Hücrenin engellerle kapatılmasıyla oluşan katı maddenin; kontrol hacminin ne kadarını kapladığı ve kontrol hacminde ne kadar alan kapattığı hesaplanır ve birbirine oranlanır. Hücre tamamıyla katı ile dolu ise bu değer sıfır, tamamıyla boş ise 1 değerini almaktadır. Hücrenin kısmi dolu olması

halinde bu değer hacim oranına bağlı olarak sıfır ile 1 arası değer almaktadır. Ağlar sıklaştırıldığı takdirde daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Programda akışkan hacmi metodu (Volume of Fluid – VOF) ile serbest yüzeyler ve buradanda su seviyeleri tespit edilebilmektedir. Bu yöntemle, doluluk oranı ile çözüme ulaşılmasından dolayı FAVOR yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Bu metotta serbest yüzeyler tespit edilir. Tespit edilen arakesite sıfır kayma gerilmesi ve sabit sınır şartları uygulanır.

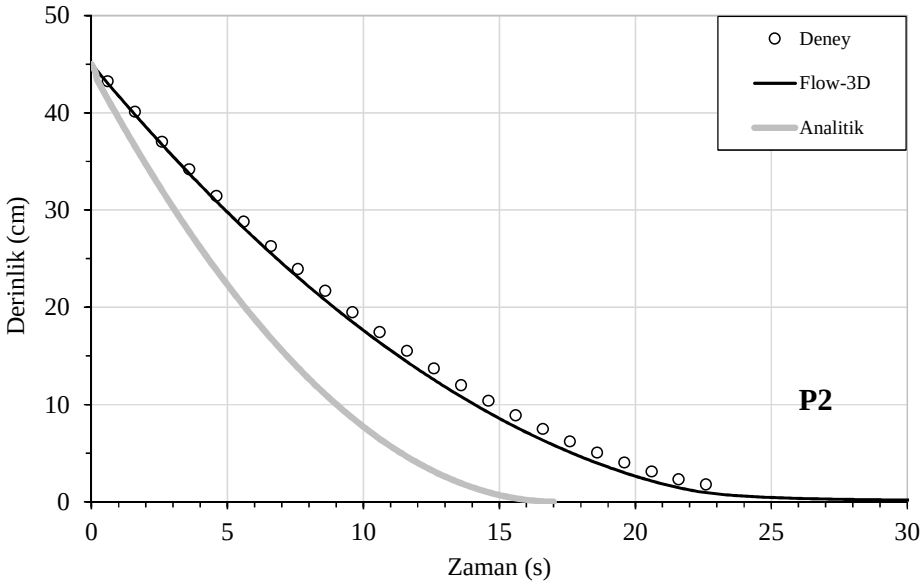
Çözüm ağını temsil eden elemanların sayısını azaltıp çözüm süresinden tasarruf sağlamak amacı ile model iki doğrultuda simetri ekseni kullanılarak ¼ oranında modellenmiştir. Modelin orifis kesitinin altında kalan kısmına, 5 cm uzunluğunda bir mesafe eklenerek orifisten çıkan akışkanın hareketinin takibi de amaçlanmıştır. Deney geometrisine uygun 3 boyutlu olarak oluşturulan sayısal modelde çözüm alanı, 0.01 m boyutlu kare şeklinde elemanlara sahip üniform ağ yapısı ile tanımlanmıştır ve bu ağ yapısı orifis kesitinde 0.0025 m ye düşürülerek ağ yoğunluğu artırılmış ve böylelikle orifis kesitinin düzgün tanımlanması ve çıkış kesitindeki hız ve türbülans değerlerinin hassas bir şekilde temsil edilmesi amaçlanmıştır.Bu çalışmada k-e türbülans modeli kullanılmıştır.

Sınır şartları olarak deney düzeneğinin cidar kısımları duvar (wall) olarak tanımlanmış ve kaymama (no-slip) sınır şartı tanımlanmıştır. Ayrıca deney düzeneğinin üst kısmı atmosfere açık, alt kısmı ise akışkanın serbest düşüm hareketini yansıtacak şekilde çıkış kesiti (outlet) olarak tanımlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Deneysel, analitik ve sayısal çalışma sonucu s elde edilen, tank içerisindeki su derinliğinin zamana göre değişimleri karşılaştırılmalı olarak Şekil 3'de gösterilmektedir.

Veriler incelendiğinde orifis kesiti üstündeki su yüksekliğine yani hidrostatik basınç değerine bağlı olarak, su derinliği değişim hızının hem deneysel hem de sayısal analiz sonuçlarında giderek düzenli bir biçimde azaldığı gözlemlenmektedir. Grafiğin ilk kısımlarında, deneysel ve sayısal analiz verileri arasında neredeyse birebir denebilecek bir uyum yakalanmışken, ilerleyen analiz süresince deneysel veriler ile sayısal analiz sonucu elde edilen veriler arasında bir miktar sapma meydana geldiği göze çarpmaktadır. Bu sapmanın sayısal analizde tankın boşalma sürelerinin deneye kıyasla bir miktar daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Analitik çözüm ideal akışkan bir başka ifade ile enerji kayıplarının, viskozite etkilerinin ihmal edildiği durumu temsil ettiğinden tankın boşalma süresinin bu çözümde oldukça hızlı olduğu görülmektedir.

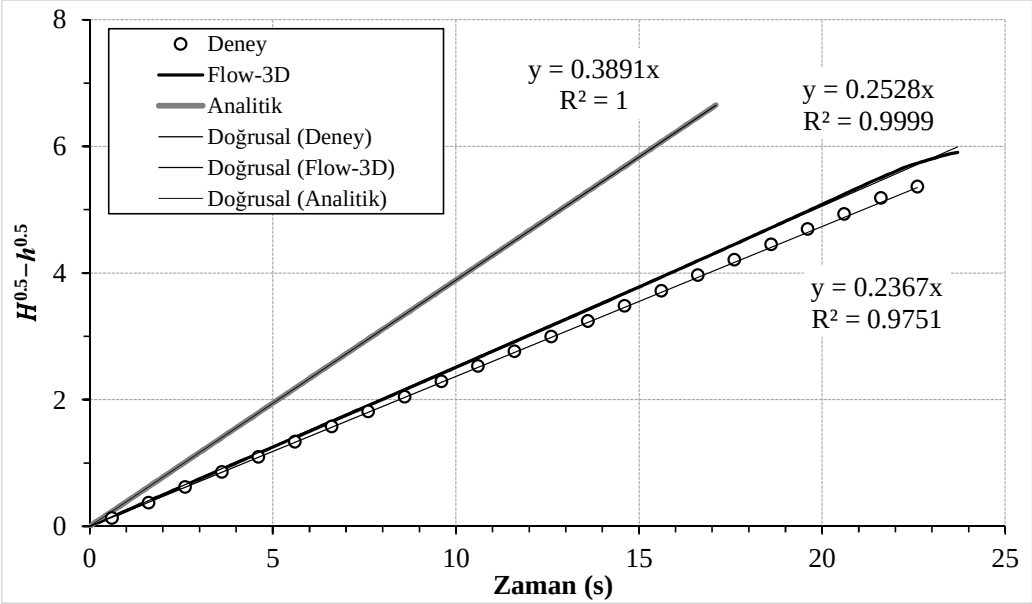


Şekil 3. Tank içerisindeki su derinliğinin zamana göre değişimi

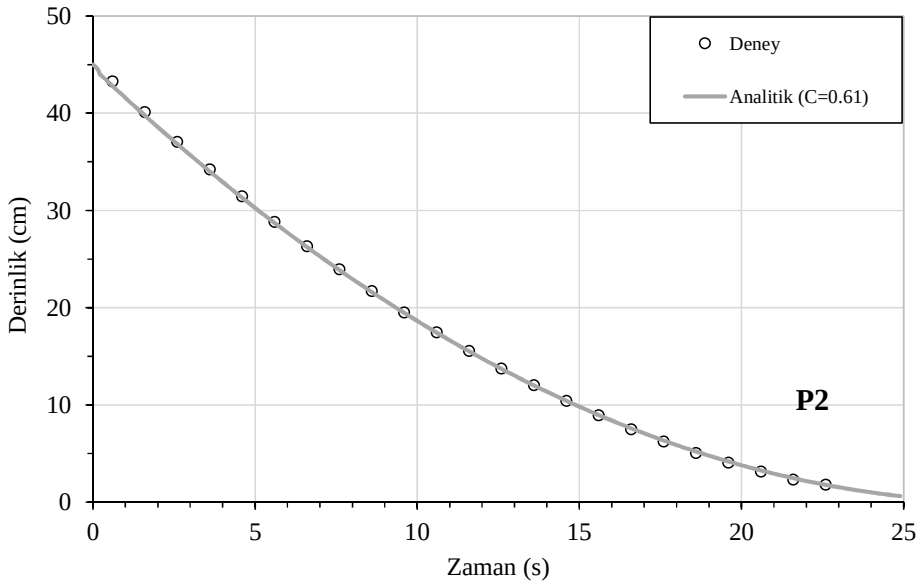
Enerji kayıplarının tam olarak modellenememesi nedeni ile deneysel ve sayısal veriler arasındaki bu sapmanın meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca sayısal modellerde ağ yapısının sıklık miktarının çözümün hassasiyeti üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, özellikle orifis kesitinin etrafı ve genel modelin daha sık ağ yapısı kullanılarak modellenmesi ile daha doğru sonuçlar elde edilebilecektir. Buna karşın bilgisayarda çözüm süresi uzayacaktır.

Şekil 4'de *C* katsayısının bulunması için deney, analitik ve sayısal çözümlerden elde edilen $\left(\sqrt{\mathrm{H}}-\sqrt{\mathrm{h}}\right)$ grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerin eğilim grafikleri çizildiğinde oldukça doğrusal bir yapıya sahip oldukları görülmektedir. Grafikler çizilirken su seviyelerinin 3 cm den aşağı olduğu değerler girdap oluşumu ve akımın son anlarda serbest yüzeyli davranmasından dolayı dikkate alınmamıştır. Bu eğrilere bakıldığında eğilim çizgisi denklemlerindeki katsayıların analitik çözümdeki denklemin katsayısına oranı *C* orifis katsayısını verecektir. Burada sayısal için orifis katsayısı *C*=0,2528/0,3891=0.65 ve deney için orifis katsayısı *C*=0.2367/0,3891=0.608 olarak bulunmuştur. Sayısal ve deneysel verilerden elde edilen orifis *C* katsayısı için mutlak bağıl hata yaklaşık %7 civarında çıkmıştır.

Şekil 5'de Analitik çözümün *C* katsayısı ile düzeltilmesi ile elde edilen su seviyesi değişimlerinin deney sonuçları ile kıyaslanması verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi *C* katsayısı ile düzeltilmiş analitik çözüm ile deney verileri oldukça uyumlu olmaktadır ve deneylerden elde edilen *C* katsayılarının kullanıldığı analitik çözümün tankın boşalma süresinin analizinde etkili bir şekilde kullanılabileceği söylenebilir.



Şekil 4 Elde edilen $\left(\sqrt{\mathrm{H}}-\sqrt{h}\right)$ - zaman değişimleri



Şekil 5. Analitik çözümün *C* katsayısı ile düzeltilmesi ile elde edilen su seviyesi değişimleri

4 .SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, bir tankın boşalması problemi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmalar sonucu elde edilen su derinliğinin zamana bağlı değişimi verileri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Sayısal modelin problemin doğasını yansıtmada ve deneysel veriler ile uyumda makul doğrulukta sonuçlar verdiği görülmüştür. *C* katsayısının doğru belirlenmesinin, tankın boşalma süresinin belirlenmesinde etkili olarak kullanılabileceği görülmüştür. Buna karşın, sayısal ve deneysel olarak elde edilen orifis katsayıları arasında yaklaşık %7 değerinde bir mutlak bağıl hata göze çarpmaktadır. Ayrıca ilerleyen çalışmalarda; deneysel çalışmanın farklı alan ve geometriye sahip orifis kesitleri kullanılarak, sayısal çalışmanın ise farklı ağ yapıları ve türbülans formülasyonları kullanılarak geliştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Ali, A., Underwood, A., Lee, Y. R., and Wilson, D. I. (2016). Self-drainage of viscous liquids in vertical and inclined pipes. Food and Bioproducts Processing, 99, 38-50.

Bulut, M. (2013). Hydraulıcs Of Circular Bottom Intake Orifices (Doctoral Dissertation, Middle East Technical University).

Chanson, H., Aoki, S. I., & Maruyama, M. (2002). Unsteady two-dimensional orifice flow: a large-size experimental investigation. Journal of Hydraulic Research, 40(1), 63-71.

Dal, K. (2018). Eğimli Kanalda Ardışık Baraj Yıkılmasının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun, Hatay, 81).

Erdoğan, B. (2018). Dikdörtgen Tank İçerisindeki Çalkantı Hareketinin Deneysel ve Nümerik Olarak İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun, Hatay, 86).

Gürsoy G., 1999. Lüle, orifis ve venturimetrede basınç kaybının araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi

Kocaman, S. (2007). Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 305).

Kocaman, S., & Ozmen-Cagatay, H. (2015). Investigation of dam-break induced shock waves impact on a vertical wall. Journal of Hydrology, 525, 1-12.

Libii, J. N. (2003). Mechanics of the slow draining of a large tank under gravity. American Journal of Physics, 71(11), 1204-1207.

Lubin, B. T., and Springer, G. S. (1967). The formation of a dip on the surface of a liquid draining from a tank. Journal of Fluid Mechanics, 29(2), 385-390.

Oğuday M., 2010. PIV tekniği kullanılan orifis etrafındaki akış karakteristiği. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi

Sakri, F. M., Ali, M. S. M., Salim, S. A. Z. S., and Muhamad, S. (2017, August). Numerical Simulation of Liquids Draining From a Tank Using OpenFOAM. In IOP Conference

Series: Materials Science and Engineering (Vol. 226, No. 1, p. 012152). IOP Publishing.

Saleta, M. E., Tobia, D., & Gil, S. (2005). Experimental study of Bernoulli's equation with losses. American journal of physics, 73(7), 598-602.

Yılmaz, A. (2019). Akışkan-Yapı Etkileşimi Problemlerinin Deneysel ve Sayısal İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İskenderun, Hatay, 100).

Zhou, Q. N., and Graebel, W. P. (1990). Axisymmetric draining of a cylindrical tank with a free surface. Journal of Fluid Mechanics, 221, 511-532.

Dikdörtgen Bir Tankın Çalkantı Etkisinin Deneysel ve Nümerik Olarak Incelenmesi

Burak Erdoğan[1], Selahattin Kocaman[2], Hakan T. Türker[3], Kaan Dal[2], Ada Yılmaz[2]

[1]Mustafa Kemal University, Antakya, Hatay, Turkey
[2] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, Turkey
3 Department of Civil Engineering, Uludag University, Bursa, Turkey

Corresponding author. Tel.: +90 326 221 33 17, mail address: erdoganburak@yandex.com

Özet

İçerisinde sıvı bulunduran nesneler belirli yüklere maruz kaldıklarında içerilerinde bulunan sıvıların sıvı yüzü profilleri değişmektedir. Sıvı yüzü profilinde meydana gelen değişim sıvının içerisinde bulunduğu nesne üzerinde dinamik etkiler doğurmasına neden olur. Bahsi geçen bu dinamik etkilere çalkantı adı verilmektedir. Çalkantının nesne üzerinde yaratacağı etkileri incelemek için Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RONS) denklemlerini esas alan 3 boyutlu sayısal çalışmalar yapılabilmektedir. Bu çalışmada İskenderun Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilen dikdörtgen kesitli bir tank içerisinde bulunan sıvının çalkantı deneyi 3 farklı sıvı derinliği için ele alınmıştır. Ele alınan çalışmanın deneysel sonuçları, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemlerinin sonlu hacimler yöntemi ile sayısal çözümüne dayanan FLOW-3D isimli hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı ile mukayese edilmiştir. Deney sonuçları ve sayısal model sonuçlarının ihmal edilebilecek boyutlarda yakın sonuçlar verdiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çalkantı, Flow-3D, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes(RONS)

Experimental and Numerical Investigation of the Sloshing Effect of a Rectangular Tank

Abstract

When the objects containing liquids are exposed to certain loads, the fluid face profiles of the liquids in them are changed. The change in the liquid face profile causes the fluid to have dynamic effects on the object in which it is contained. These dynamic effects are called sloshing. In order to examine the effects of sloshing on the object, 3D numerical studies based on the Reynolds Averaged Navier-Stokes (RONS) equations can be done. In this study, the sloshing test of the liquid in a rectangular tank at Iskenderun Technical University was studied for 3 different fluid depths.The experimental results of the study were compared with the computational fluid dynamics (HAD) software called FLOW-3D which is based on the numerical solution of the Reynolds Averaged Navier-Stokes equations by the finite volume method. The results of the experiments and the results of the numerical models were found to give close results in negligible dimensions.

Keyword(s): Sloshing, Flow-3D, Reynolds Average Navier-Stokes

1. Giriş

Çalkantı, bir nesne içerisinde bulunan sıvının serbest yüzeyinde gerçekleşen ve herhangi bir doğrultuda meydana gelen bir harekettir. Bu bağlamda çalkantı hareketinin oluşması için sıvının serbest yüzeyinin olması gerekmektedir. Çalkantı hareketi sonrası sıvının içerisinde bulunduğu nesneye uygulayacağı ek dinamik etkiler dikkate alınması gereken önemli bir problemdir. Serbest yüzey altında bir nesne içerisinde bulunan sıvı 3 farklı formda çalkantı davranışı sergilemektedir. Bunlar yanal çalkantı, rotasyonel çalkantı ve dikey çalkantı olmak üzere sıralanabilirler [1].

Çalkantı probleminin etkili olduğu bilim dalları sırasıyla uzay mühendisliği, inşaat mühendisliği, nükleer mühendisliğidir. Çalkantı hareketinin yaratacağı etkilerin ekseriyetle dikkate alınması gereken alanlardan biri taşımacılıktır. Doğalgaza artan talep, doğalgaz taşımacılığı için alternatif alanlar yaratmaktadır. Bu alanlardan bir tanesi de sıvı doğalgaz (LNG) taşımacılığıdır. LNG taşımacılığının büyük bölümü gemiler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Gemi içerisinde taşınan ve yanıcı özellikte olan bu maddenin taşınımı sırasında meydana gelecek kontrolsüz bir çalkantı hareketinin neden olacağı durum önlenemez boyutlarda olabilecektir. Çalkantı hareketinin dikkate alınması gereken alanlardan birisi de uzay çalışmalarıdır. Uzay çalışmalarında başarısız roket fırlatmaları irdelendiğinde, problemin kaynağının büyük ölçüde yakıt depolarında meydana gelen çalkantı hareketinin neden olduğu anlaşılmaktadır. Yukarıda söz edilen alanların dışında çalkantı hareketinin yaratacağı problemlerin önemli olacağı alanlar kara taşımacılığı, karada yer alan tanklar ve her türlü sıvı ihtiva eden tüm gemi tankları olarak sıralanabilir.

Sıvının içerisinde bulunduğu tanka uygulayacağı çalkantı etkisinin yaratacağı ek dinamik etkiler tank güvenliğini olumsuz yönde etkileyecektir. Kısmi dolu olan tank, üzerilerine etki eden kar yükü, rüzgar yükü ve deprem yükü gibi hareketli yükler neticesinde çalkantı kuvvetlerine maruz kalabilirler. Tank içerisinde bulunan sıvının doğal frekansı ile tankın hareket frekansının birbirlerine yakın olduğu anda, bahsi geçen çalkantı kuvvetleri çok büyük değerler alacaktır. Çalkantı kuvvetlerinin büyük mertebelere ulaşmaması için tankın veya su yapısının tasarımında tankın hareket frekasının sıvının doğal frekansından uzak tutulması amaçlanmaktadır [2].

Tank içerisinde bulunan sıvının çalkantı hareketi 3B'lu olduğu için çalkantı problemini matematiksel olarak ele almak, 3-boyutlu süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşan

Navier-Stokes denklemlerinin kullanılmasıyla mümkün olacaktır. Son dönemlerde bilgisayar alanında yaşanan hızlı gelişmeler sayesinde 3 boyutlu Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RONS) denklemlerini baz alan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımları popülerlik kazanmıştır. Tüm bunlara ilaveten Navier-Stokes denklemlerinin karmaşık yapısı ve çözümünün zor olması bu denklemlerin bazı kabuller yapılarak sığ su denklemlerine (shallow-water) veya Saint-Venant denklemlerine dönüştürülmesini zaruri kılar. Bu sayede çalkantı problemi gibi karmaşık problemlerde bilgisayarlar ağır hesap yüklerinden arındırılmış olup ekonomik açıdan tasarruf sağlanır.

Bilgisayar yardımıyla çalkantı probleminin çözülmesi kabul edilebilir sürelerde gerçekleşmesine karşın bilgisayar ile oluşturulan sayısal modellerde sonuçların ne kadar doğruyu yansıttığının kontrol edilmesi ancak laboratuvar ortamında elde edilmiş deneysel verilerle gerçekleştirilebilir.

Çalkantı hareketlerinin iyi bir şekilde anlaşılabilmesi, nümerik metotların ve deneysel çalışmaların koordineli bir şekilde yürütülmesine bağlıdır. Sıvı çalkantısının sahip olduğu nonlineer davranış, sıvı katı arasında bulunan etkileşim ve problemin serbest yüzeyli olması gibi nedenler nümerik metotların doğru sonuç verip vermediğinin sorgulanmasına neden olmaktadır. Nümerik metotların doğruluğunun sorgulanması deneysel yöntemler ile gerçekleştirilir. Çalkantı hareketinin anlaşılmasında deneysel metotlar, nümerik metotların doğrulanmasına gösterdikleri katkıdan dolayı bir hayli önem kazanmaktadır. Literatürde çalkantının neden olduğu etkilerin deneysel ve nümerik sonuçlar açısından ele alındığı birçok çalışma mevcuttur [3-9]. Akyıldız ve ark. [5], çalışmalarında tank içerisinde sıvının çalkantı hareketini kısıtlayacak engeller koyarak ve deney tankının farklı seviyelerde sıvı ihtiva etmesi durumları için çalkantının basınç etkisinin deneysel ve nümerik sonuçlar açısından karşılaştırılmasını gerçekleştirmişlerdir. Tank içerisine konulan ve sıvının çalkantı hareketini kısıtlayan engellerin çalkantı basıncını önemli ölçüde düşürdüğü ve deneysel ve nümerik sonuçların birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği çalışmada vurgulanmıştır. Çalkantı probleminin anlaşılması 2 değişkenin anlaşılmasına bağlıdır. Bunlardan ilki sıvı yüzeyinde meydana gelen seviye değişimleri ikincisi ise çalkantı hareketi sonrası tank yüzeylerinde meydana gelecek çalkantı basıncıdır. Bahsi geçen bu 2 değişkenin etkileri farklı metotlar kullanılarak belirlenebilmektedir. Sıvı yüzeyinde meydana gelen seviye değişimleri kapasitif dalga ölçerler, ultrasonik sensörler ve optik kameralar vasıtasıyla bulunurken tank

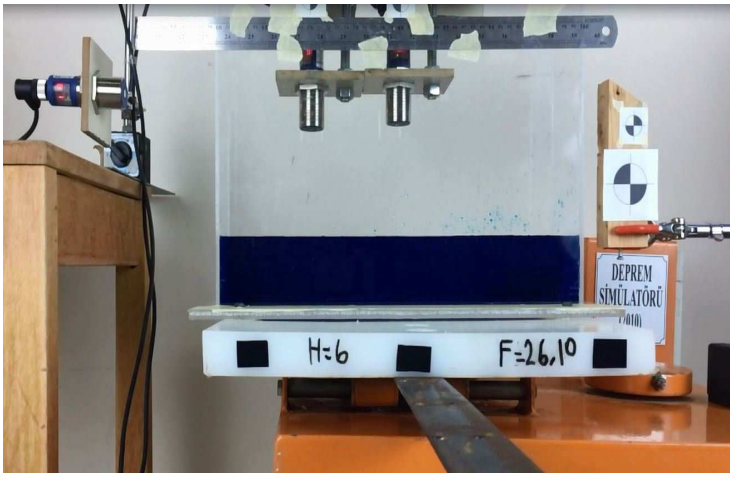
yüzeylerinde oluşan çalkantı basıncı ise yük sensörleri, optik kameralar ve basınç sensörleri sayesinde belirlenebilmektedir [10,11].

Bu çalışmada, dikdörtgen tank içerisinde bulunan suyun çalkantı etkisinin incelenmesi için bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar RONS denklemlerini baz alan ve serbest yüzeyli akım problemlerinin çözümünde başarılı sonuçlar veren FLOW-3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2.Materyal ve Metod

2. 1.Deney Düzeneği ve Yöntemi

Çalışmanın deney düzeneği İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarı'nda oluşturulmuştur. Deneylerde frekans kontrollü sarsma tablası üzerine konumlandırılan dikdörtgen kesitli ve tüm yüzeyleri pleksiglas olan bir tank kullanılmıştır. Sıvı tankının uzunluğu 40 cm, genişliği 10 cm ve yüksekliği 30 cm'dir. Deney tankı bu boyutlarda seçilerek çalkantının 3 boyutlu etkisi büyük ölçüde azaltılmıştır. Deneyler, deney tankında 2,4 ve 6cm su bulunan durumlar için tekrarlanmıştır. Tankın bağıl ve rölatif hareketlerini ve çalkantı etkisinin su seviyelerinde meydana getireceği değişimleri tespit edebilmek için bir adet tank ile birlikte hareket eden ve bir adette sabit olmak üzere iki adet kamera kullanılmıştır. Tank hareketlerinin görüntüler yardımıyla takip edilebilmesi için tank ve sarsma tablası üzerinde Şekil 1'de görülen izleme noktaları belirlenmiştir. Metrik kalibrasyonun gerçekleştirilmesi için de tank üzerinde çelik metre yapıştırılmıştır.



Şekil 1.-Deney düzeneği

Deney çalışmasında ele alınan sıvı tankına x yönünde sinüzoidal hareket verilmiştir. Deney tankına x doğrultusunda verilen hareketin genliği 0,5 cm'dir. Tank içerisinde bulunan sıvının doğal frekansı Eş. 2.1'de verildiği gibidir.

$$wn = \sqrt{\frac{n\pi g}{L}\tanh\left(\frac{n\pi h}{L}\right)} \qquad (1)$$

Eş. 2.1'de verilen g yerçekim ivmesi, L tank uzunluğu, h tank içerisinde bulunan sıvı yüksekliği ve n sıvının doğal frekansının mod sayılarıdır.

Deney tankı içerisinde bulunan sıvının doğal frekansıyla tank sistemine uygulanan frekans değerinin birbirlerine yakın olduğu durum rezonans durumu vermektedir. Çalkantı etkisinin en fazla gözleneceği rezonans frekans değerleri bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Çizelge 1.1. h=2 cm için doğal frekans değerleri

Mod sayıları (n)	**w_n (rad/sn)**	**f_r(hertz)**
1	3,46	0,55 (f_{r1})
2	6,84	1,09 (f_{r2})
3	10,07	1,60 (f_{r3})
4	13,10	2,09 (f_{r4})
5	15,89	2,53 (f_{r5})

Çizelge 1.2. h=4 cm için doğal frekans değerleri

Mod sayıları (n)	**w_n (rad/sn)**	**f_r(hertz)**
1	4,84	0,77 (f_{r1})
2	9,26	1,48 (f_{r2})
3	13,05	2,07 (f_{r3})
4	16,19	2,58 (f_{r4})
5	18,80	2,99 (f_{r5})

Çizelge 1.3. h=6 cm için doğal frekans değerleri

Mod sayıları (n)	**w_n (rad/sn)**	**f_r(hertz)**
1	5,82	0,93 (f_{r1})
2	10,65	1,70 (f_{r2})
3	14,33	2,28 (f_{r3})
4	17,16	2,73 (f_{r4})
5	19,45	3,10 (f_{r5})

Deneysel çalışmada her bir sıvı yüksekliği için çalkantının birinci moddaki doğal frekansı deney tankına uygulanmıştır. Bunun nedeni ise sıvının birinci modda diğer modlara kıyasla çok daha güçlü çalkantı etkisi göstermesidir. Çalkantı probleminin nonlineer özelliğinden dolayı rezonans etkiler sıvının doğal frekans değerlerinde olmak yerine bu değerlere yakın değerler de gözlenmektedir [12].

Bu bilgiler ışığında deney, her bir h/L oranı için sıvının birinci moddaki doğal frekansı ve bu doğal frekansa yakın bir frekans için tekrarlanmış ve deney tankının orta noktası için seviye değişimleri görüntü işleme ve nümerik yöntemle karşılaştırılmıştır.

2.2.Görüntü İşleme Yöntemi

Dijital görüntülerin video kamera, fotoğraf makinesi, tarayıcı gibi cihazlardan elde edilerek bilgisayar yazılımlarıyla işlenip analiz edilmesine görüntü işleme denilmektedir. Yöntem dijital görüntüsü mevcut olan herhangi bir cismin optik ve geometrik özelliklerinin belirlenmesine olanak sağlar. Görüntü işleme bunun yanında görüntü yakalama ve analizini gerçekleştirmek üzere kullanılan yazılım ve donanım birimlerinin kombinasyonu olarak da tanımlanabilir [13].

Çalışmada, elde edilen görüntülerin görüntü işleme yöntemiyle gerçekleştirilen analizinde “Image pro plus” ve Imagej” yazılımları kullanılmıştır. Son yıllarda çeşitli hidrolik problemlerin çözümünde görüntü işleme teknikleri bir ölçüm yöntemi olarak etkili bir şekilde kullanılmaktadır [14,15]. Kocaman (2007); görüntü işleme yazılımında mevcut bulunan kenar tanıma ve filtre işlevlerinden yararlanarak bir kod geliştirmiş ve bu kod sayesinde deney tankının serbest su yüzeyinin (x,y) koordinatı belirlenmiştir.

2.3.Nümerik Yöntem

Çalışmanın sayısal modeli, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemlerinin sonlu hacimler yöntemi ile sayısal çözümünü esas alan FLOW-3D isimli hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazılım serbest yüzeyli akımların modellemesinde başarılı sonuçlar vermesi bakımından ve neredeyse tüm akışkanlar mekaniği problemlerinde uygulanabilmesi açısından oldukça önemlidir. Yazılım serbest yüzeyin tanımlanmasında akışkan hacmi (Volume of Fluid, VOF) yöntemini kullanır. Akımın oldukça türbülanslı yapıya sahip olması ve literatürde türbülanslı yapıya sahip olan benzer çalışmalarda iyi sonuçlar verdiği görülen k-e türbülans yaklaşımı sayısal çözümde uygun görülmüştür. Sayısal hesaplar, dikdörtgen geometrisine sahip hücrelerden meydana gelen çözüm ağı üzerinde gerçekleştirilir ve problemin geometrisi daha sonra bu ağ üzerinde bulunan ilgili hücrelerin engellerle kapatılması yöntemiyle elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(u_i A_i\right) = 0 \tag{2}$$

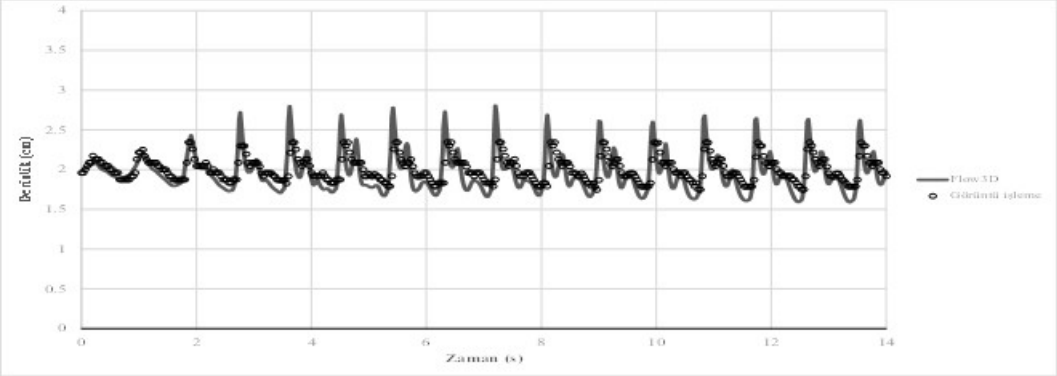
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + f_i \tag{3}$$

burada u_i i doğrultusundaki akım hızını, P akımın basıncını, A_i i doğrultusunda bulunan her bir hücredeki akışkanın alanı, V_F her bir hücredeki akışkanın hacmi, g_i kütlesel kuvvetleri, f_i herhangi bir türbülans modeli için Reynolds gerilmelerini ifade etmektedir.

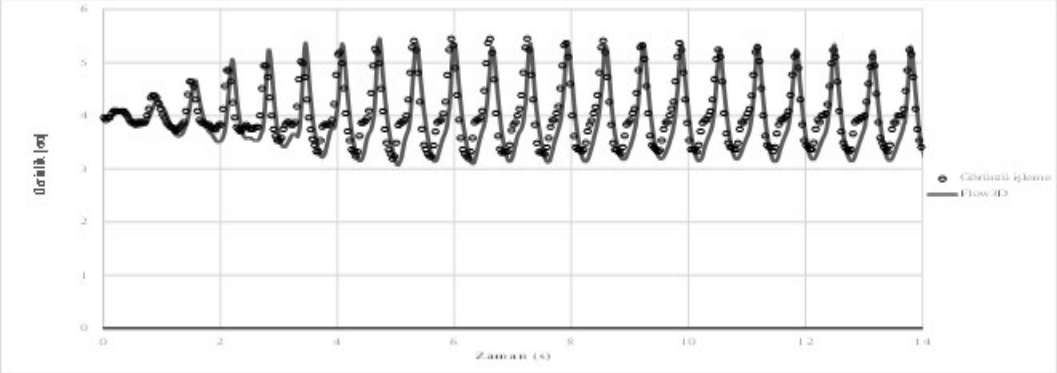
3.Bulgular ve Tartışma

Deney tankının farklı derinliklerde sıvı ile dolu olduğu durumlar için deney tankının orta noktasında meydana gelen sıvı seviye değişimleri Şekil 2,3,4'de gösterilmektedir. Çalkantı etkisinin meydana getirdiği seviye değişimleri deneysel ve nümerik veriler açısından mukayese edildiğinde sonuçların birbirleriyle genel olarak uyumlu oldukları söylenebilir. Bununla birlikte derinlik değişimlerinin pik değerleri yakalama zamanları deneysel ve nümerik sonuçlarda aynı anda gerçekleştiği için sonuçların kabul edilebilir olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Grafikler incelendiğinde nümerik sonuçlarda, seviye değişimlerinin pik değerleri deneysel sonuçlara kıyasla daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Nümerik çözümde farklı ağ aralıklarının kullanılması, farklı türbülans yöntemlerin seçilmesi

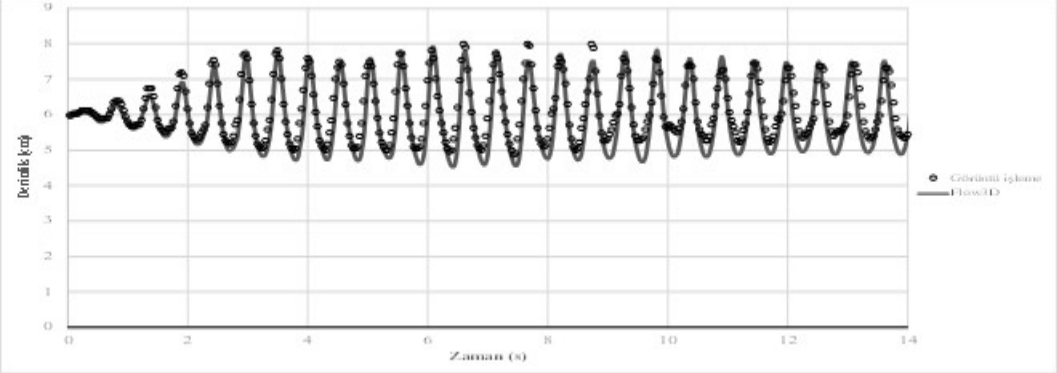
ve farklı nümerik yaklaşımların ele alınmasıyla sonuçlar daha uyumlu olacağı düşünülmektedir.



Şekil 2. h=2 cm ve f= 0,55 hertz için su seviyelerinin görüntü işleme ve nümerik sonuçlarla karşılaştırılması



Şekil 3. h=4 cm ve f= 0,77 hertz için su seviyelerinin görüntü işleme ve nümerik sonuçlarla karşılaştırılması



Şekil 4. h=6 cm ve f= 0,93 hertz için su seviyelerinin görüntü işleme ve nümerik sonuçlarla karşılaştırılması

4.Sonuçlar

Bu çalışmada çalkantı hareketine maruz bırakılan dikdörtgen bir tank içerisindeki çalkantı hareketi ele alınmıştır. Çalkantı probleminin deneysel çalışma kısmında görüntü işleme sisteminin kullanılabilmesi için yakın özelliklere sahip iki ayrı akıllı telefon kamerasından yararlanılmıştır. Deneyde kullanılan kameralardan bir tanesi deney tankına sabitlenmiş (hareketli kamera) diğeri ise deney tankından bağımsız konumlandırılmıştır (sabit kamera). Görüntü işleme analizi gerçekleştirilirken kameraların farklı konumlandırılmasındaki en önemli amaç bu durumun sonuçlara etkisinin yorumlanabilmesidir. Görüntü işleme yönteminin doğrulanması ise RANS denklemlerini esas alan ve serbest yüzeyli akımların çözümünde başarılı sonuçlar veren FLOW-3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Nümerik yöntemlerin çalkantı hareketinin incelenmesinde başarı yakalaması çalkantı davranışının gözlenmesinde gerçek verilerin sınırlı olması bakımından oldukça önemlidir.

Kaynakça

1. İtibar, M. D. (2015). Küre Biçimli Tanklardaki Çalkantının Modellenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

2. İnce, E. (2013). Dikdörtgen Kesitli Yükseltilmiş Su Tankındaki Su Çalkantısının Yapının Davranışı Üzerindeki Etkisi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

3. Kim, Y. (2001). Numerical simulation of sloshing flows with impact load. Applied Ocean Research, 23(1), 53-62.

4. Sames, P. C., Marcouly, D., & Schellin, T. E. (2002). Sloshing in rectangular and cylindrical tanks. Journal of Ship Research, 46(3), 186-200.

5. Akyildiz, H., & Ünal, E. (2005). Experimental investigation of pressure distribution on a rectangular tank due to the liquid sloshing. Ocean Engineering, 32(11-12), 1503-1516.

6. Bai, W., Liu, X., & Koh, C. G. (2015). Numerical study of violent LNG sloshing induced by realistic ship motions using level set method. Ocean Engineering, 97, 100-113.

7. Iranmanesh, A., & Passandideh-Fard, M. (2017). A 2D numerical study on suppressing liquid sloshing using a submerged cylinder. Ocean Engineering, 138, 55-72.

8. Cavalagli, N., Biscarini, C., Facci, A. L., Ubertini, F., & Ubertini, S. (2017). Experimental and numerical analysis of energy dissipation in a sloshing absorber. Journal of Fluids and Structures, 68, 466-481.

9. Grotle, E. L., Bihs, H., & Æsøy, V. (2017). Experimental and numerical investigation of sloshing under roll excitation at shallow liquid depths. Ocean Engineering, 138, 73-85.7

10. Tosun, U., Aghazadeh, R., Sert, C., & Özer, M. B. (2017). Tracking free surface and estimating sloshing force using image processing. Experimental Thermal and Fluid Science, 88, 423-433.

11. Souto-Iglesias, A., and Botia-Vera, E., Spheric benchmark test case, sloshing wave impact problem, https://wiki.manchester.ac.uk/spheric/index.php/Test10, erişim tarihi: 08 Eylül 2017.

12. Akyildız, H., & Ünal, N. E. (2006). Sloshing in a three-dimensional rectangular tank: numerical simulation and experimental validation. Ocean Engineering, 33(16), 2135-2149.

13. Kocaman, S. (2007). Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 305).

14. Ozmen-Cagatay, H., Kocaman, S., & Guzel, H. (2014). Investigation of dam-break flood waves in a dry channel with a hump. Journal of Hydro-environment Research, 8(3), 304-315.

15. Kocaman, S., Erdoğan, B., Türker, H.T. ve Dal, K., (2017). Genel Hareketli Obje Kullanarak Dikdörgen Bir Tank İçerisindeki Çalkantı Hareketinin Sayısal Modellenmesi. 1. Uluslararasi Ileri Araştirmalar Ve Mühendislik Kongresi,16-18 kasim 2017, Osmaniye, Türkiye.

HATAY İLİ GENELİNDE TAŞKIN RİSKİ OLUŞTURAN ETKENLERİN İNCELENMESİ

İnşaat Yüksek Mühendisi Hasan Ziya HAMİDİOĞULLARI, Hatay Büyükşehir Belediyesi, Turkey
Dr. Öğr. Üyesi Hasan GÜZEL, İskenderun Teknik Üniversitesi, Turkey
Doç.Dr. Selahattin KOCAMAN, İskenderun Teknik Üniversitesi, Turkey
Emails: hassan.ziya@gmail.com, hasan.guzel@iste.edu.tr, selahattin.kocaman@iste.edu.tr

ÖZET

Bir akarsuyun çeşitli nedenlerle doğal yolundan taşması sonucu çevresinde bulunan canlılara, altyapı tesislerine, yerleşim yerlerine ve arazilere zarar vererek bu alanlardaki normal ekonomik ve sosyal faaliyetleri sekteye uğratması taşkın olarak adlandırılmaktadır. Taşkınlar, dünyada ve ülkemizde, depremlerden sonra ikinci derecede can ve mal kaybına sebep olan doğal afettir. İnsanların suyun bol olduğu alanlara yerleşmeleri ve bu bölgelerdeki topraktan yararlanmaya başlamaları ile toplumsal hayata olan olumsuz etkisi ortaya çıkmıştır. Bu çalışma kapsamında, Hatay ili genelinde inşa edilmiş sanat yapıları ile dere yataklarına yapılan müdahalelerin sebepleri ve oluş biçimleri incelenmiştir. Son yıllarda il genelinde yaşanan can ve maddi kayıpları yüksek bazı taşkınlar irdelenerek dere yataklarına olumsuz müdahalelerin ve tekniğine uygun olmayan yapısal uygulamaların bu taşkınlardaki etkileri ve sonuçları mevzuata uyumluluğu da dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Afet, Taşkın, Sanat yapıları, Dere Yatakları

1.GİRİŞ

İklim değişikliği ile ilgili dünya genelinde son yıllarda yapılan araştırmalar, bu değişimin dünya üzerindeki olumsuz etkilerinin hemen hemen her alanda ortaya çıktığını göstermektedir. Bu etkilerin yanı sıra, insan kaynaklı etkenler de doğal dengeleri bozmakta ve bunun bir sonucu olarak son yıllarda, ülkemizde ve bütün dünyada erozyon ve buna bağlı olarak sel, çığ, heyelan ve taşkın olaylarında belirgin bir artışın olduğu gözlenmektedir. Sel ve taşkın olayları, dünya'nın gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkesinde ve Türkiye'de, günümüzde en sık görülen ve insanlığı tehdit eden en önemli ve yıkıcı doğal afetlerin başında gelmektedir. Farklı tanımlamalar olmakla beraber, sel, çeşitli nedenlerle ortaya çıkan büyük su kütlelerinin akarsu yataklarında, vadi yamaç ve tabanlarında, çukur alanlarda ve kıyılarda kontrolsüz bir biçimde akması ve yayılması olayıdır. Seller birkaç saat (ani seller-flash floods), birkaç gün (hızlı gelişen seller) veya bir haftadan fazla (yavaş gelişen seller) süren zaman dilimlerinde oluşabilir. Seller oluşum yerlerine ve bölgelerine göre de dere ve nehir selleri (taşkın), dağlık alan selleri

(kuru dere veya vahşi dere), kıyı selleri, şehir selleri ve baraj selleri olarak isimlendirilmektedir. Bunlar içinde en yaygın, sık ve etkili olanı dere ve nehir selleri olarak belirtilen "taşkın" lardır. Taşkın, doğal afet olarak; bir akarsuyun muhtelif nedenlerle yatağından taşarak, çevresindeki arazilere, yerleşim yerlerine, altyapı tesislerine ve canlılara zarar vermek suretiyle, etki bölgesinde normal sosyo-ekonomik faaliyeti kesintiye uğratacak ölçüde bir akış büyüklüğü oluşturmasıdır. Topoğrafya (jeomorfolojik), zeminin yapısı (jeolojik), iklim koşulları ve değişikliği (meteorolojik), toprağın bitki örtüsü ve insan gibi faktörler taşkın olaylarının oluşumunda rol oynayan temel etkiler olarak sıralanabilir. Bunlar içerisinde iklim etkileri ile birlikte en önemli etkiyi yaratan faktör insan aktiviteleridir.

Akarsuyun akım değeri, ani sağanak yağışlar, dolu yağışları, hızlı kar erimeleri gibi bazı nedenlerle artan su kütlesine bağlı olarak yükselerek su hızında artışa neden olup doğal akışı engellendiğinde taşkına dönüşebilir. Taşkın afetlerinin yalnızca meteorolojik oluşumlara bağlı olarak ifade edilmesi doğru bir yaklaşım değildir. Taşkının afete dönüşmesi ve ülkelerin doğal, beşeri ve ekonomik varlıklarına zarar vermesi, insanların çeşitli faaliyetleri için taşkına hassas alanları tercih etmeleri ile yakından ilgilidir. İnsanların yanlış arazi kullanımı sonucu akarsu yatakları ve taşkın alanlarına yapmış oldukları bilinçsiz müdahaleler buralardaki doğal akışı bozmakta ve zamanla özellikle de yağışın çok olduğu dönemlerde afete dönüşebilmektedir. Taşkın yataklarında yapılaşma ve daraltmalar sonucu akarsu yataklarının hidrolik özelliklerinin tahrip edilerek akarsu akış kesitinin yetersiz hale gelmesi, ormanların ve meraların yapılaşma, aşırı ve kontrolsüz kullanım sonucu tahrip edilerek zarar görmesi, anız yakılması, hatalı toprak işleme, toprak sıkışması, erozyon yerleşme ve sanayi alanlarının seçiminde yapılan yanlışlıkları içeren insan müdahaleleri, altyapı yetersizliği, hızlı nüfus artışı, sel ve taşkına karşı gerekli tedbirleri sağlayacak teknolojiyi kullanma imkânının olmaması gibi etkenler taşkınların oluşmasına ve taşkın etkilerinin daha şiddetli boyutlarda sosyolojik ve psikolojik sonuçlar doğurmasına sebep olmaktadır.

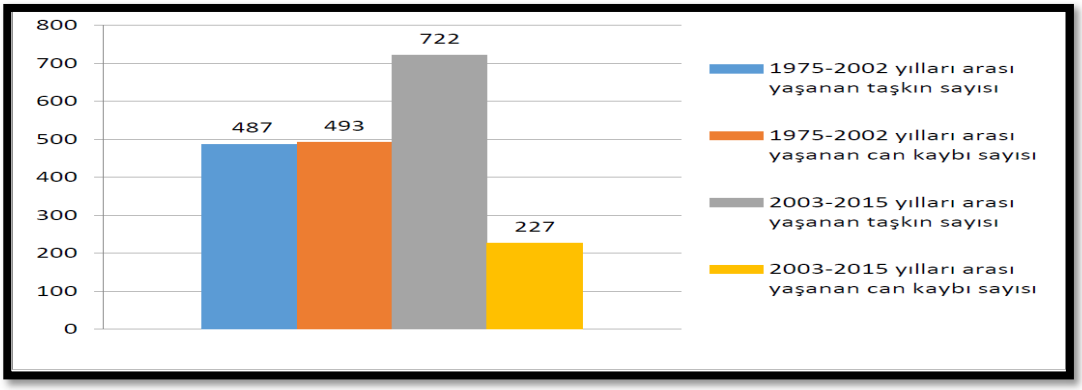
Ülkemiz, topoğrafik yapısının engebeli ve yüksek eğime sahip olması, jeolojik yapısı, toprak yapısı, yarı kurak iklimin karakteristik özelliklerinden dolayı sel, çığ, heyelan ve taşkına karşı oldukça duyarlı bir yapıya sahiptir. Bu durum havza bütünündeki bitki-toprak-su arasındaki sızma-buharlaşma-yüzeysel akış doğal dengesinin bozulması ile büyük miktarda can ve mal kaybına yol açan taşkın afetleri yaratabilmektedir. Ülkemizde 1975 yılından günümüze kadar yaklaşık olarak 1209 taşkın meydana gelmiş olup bu taşkınlarda 720 vatandaşımız hayatını

kaybetmiştir. Mevcut veriler itibari ile taşkınlardan kaynaklı maddi zarar ise yaklaşık yıllık ortalama 300 milyon Türk Lirası olmuştur (SYGM-2017). Çizelge 1'de Ülkemizde 1975-2015 yılları arasında meydana gelen taşkın olayları ve etkileri verilmektedir. 1975-2002 yılları arasında yaşanan toplam taşkın sayısı 487 olup, toplam can kaybı sayısı 493 tür. 2003-2015 döneminde değerlendirilen toplam taşkın sayısı 722, toplam can kaybı 227'dir (Şekil.1).

Yıl	Taşkın Sayısı	Can Kaybı	Su Altında Kalan Alan (ha)
1975	62	8	36 714
1976	29	5	22 536
1977	27	11	3 317
1978	21	0	13 850
1979	21	61	40 966
1980	44	6	83 016
1981	16	2	58 413
1982	10	0	784
1983	14	33	2 113
1984	12	0	29 140
1985	7	0	2 318
1986	8	4	679
1987	7	0	564
1988	24	17	3 910
1989	10	1	9 500
1990	26	57	7 450
1991	23	23	15 770
1992	14	1	690
1993	2	0	60
1994	9	4	1 680
1995	20	164	201 100
1996	4	1	11 000
1997	1	0	1 390
1998	2	57	7 000
1999	1	3	
2000	4	0	8 066
2001	42	8	43 297
2002	27	27	510
2003	21	7	64 200
2004	23	3	25 750
2005	25	14	13 855
2006	24	45	85 810
2007	22	11	1 050
2008	10	2	10
2009	84	59	3 250
2010	110	25	44 279
2011	56	13	202
2012	69	23	19 685
2013	38	7	17 569
2014	118	9	4 455
2015	122	9	7 985
TOPLAM	**1209**	**720**	**893 933**

Çizelge 1. Ülkemizde 1975-2015 yılları arasında meydana gelen taşkın olayları ve etkileri (DSİ)

Akarsu havzalarında taşkın kontrol tesisleri hizmete girdikçe taşkınların sıklığı ve oluşturduğu can kayıplarında önemli azalmalar olduğu görülmektedir. Taşkın sonucu oluşan zararların gerçek değeri tahminle yapılan değerin çok daha üzerindedir. Kayıpların çoğu kişisel ve kamusal alanlarda meydana gelmektedir ve bu kayıplar tahmin yöntemi ile tespit edilmektedir. Ama bu tahmin yöntemlerinde çoğu kayıplar (örneğin: taşkınla tahrip olan arazilerin değeri, taşınan toprağın ekonomik ve ekolojik değeri, suyun kirlenmesinin neden olduğu zarar, ulaşım



Şekil 1. 1975-2015 Döneminde Yaşanan Taşkınlar ve Can Kayıpları (SYGM,2017).

sektörüne ve buna bağlı ekonomiye etkisi, taşkına maruz kalan insanlar üzerinde meydana gelen başta ruhsal olmak üzere diğer etkiler vb.) dikkate alınmamaktadır. Akdeniz bölgesinde yağışlı dönemle kurak dönemler arasındaki farklar oldukça fazladır. Hem yıl içinde ve hem de yıllar arası dönemlerde oldukça düzensiz bir dağılım gösteren şiddetli yağışlar, yıkıcı sellere neden olabilmektedir. Akdeniz kıyı bölgesi nehir havzalarında bu şiddetli yağışların neden olduğu taşkınlar sıklıkla görülen ve ekonomik açıdan en çok zarar veren doğal afetlerdendir. Bu nedenle, ülkemizin artan nüfusunun ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için, akarsularımızın özelliklerinin incelenerek değerlendirilmesi ve sel/taşkın karakterinin belirlenmesi ve daha sonra planlamaların yapılması büyük önem taşımaktadır (Kadıoğlu, 2008).

Bu çalışmada, Hatay ili genelinde oluşan taşkınların sebep ve etkileri irdelenmiştir. Taşkına sebep olan sanat yapıları ile dere yataklarına yapılan müdahalelerin etkileri incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Son yıllarda, il genelinde yüksek can ve maddi kayıplara sebep olmuş bazı taşkınlar incelenerek dere yataklarına olumsuz müdahalelerin ve tekniğine uygun olmayan yapısal uygulamaların bu taşkınlardaki etkileri değerlendirilmiştir.

2.MATERYAL VE METOT

Hatay ili genelinde arazide yerinde yapılan çalışmalar sonucunda, yerleşim yerlerinde ve dışında dere yataklarına çeşitli amaçlarla müdahaleler olduğu tespit edilmiştir. Bu tespitler yapılırken ele alınan örnekler detaylı bir şekilde mevcut durum, muhtemel taşkın durumundaki davranışı ve yapılması gerekenleri içeren analizler yapılarak türüne göre gruplandırılmıştır.

3.GÖZLEM VE TESPİTLER

3.1. Dere yatağı içerisine yapılan yapılar (bina ve yol vb.)

Dere kesitleri, dere yatağının içine ya da üzerine bir takım yapıların yerleştirilmesi nedeniyle daralabilmektedir. Bu durum aynı zamanda 3194 sayılı İmar Kanununa aykırı olmaktadır. Yapıların temel kolonlarının dere içine yapılması ve evsel atıkların dere yatağına bırakılması halinde problem daha sıkıntılı bir duruma dönüşmektedir. Daralan dere kesitleri nedeniyle taşkınlar sırasında gelen büyük taş blokları, çalı, ağaç gövdesi vb. taşkın debisi ve rüsubatın geçememesi halinde taşkınların boyutları ve buna bağlı zarar oranı daha artmaktadır. Resim.1'de Dörtyol ilçesi Özerli Deresi içerisinde taşkın koruma bandı içerisinde İmar Kanununa aykırı bir şekilde yapılan 2 katlı konutun taşkın sonrasında aldığı hasar görülmektedir.

Resim 1. Dörtyol İlçesi Özerli deresi üzerinde dere içerisinde kalan ve hasar gören yapı

Aynı durum Resim 2'de Erzin ilçesi Sarıçay (İçmeler) deresi üzerinde yapılan yerleşim içinde görülmektedir. Ancak buradaki durum biraz daha ciddi hasarlar meydana getirmiş olup can kayıplarına sebep olmuştur. Binanın dere üzerinde yapılması sebebiyle taşkın durumunda binanın tahliye edilmesi mümkün olamamaktadır.

Bu duruma benzer yanlış uygulamalardan bir tanesi de Resim 3'te görüldüğü üzere Arsuz ilçesi Tülek deresi üzerinde yapılmıştır. Mevcut dere kesiti içerisinde yapılan binanın temel ve kolonları dere kesitinin içerisinde fenni açıdan uygun olmayan bir şekilde yapılmıştır. Yapılan bu yanlış uygulama dere kesitini daraltıldığından taşkın anında geçecek maksimum debiyi azaltarak hem binaya hem de çevreye zarar verilmesine sebep olacaktır. Bu nedenle mutlak surette dere yatağındaki kaçak yapılar yıkılmalı ve dere ıslah edilmelidir.

Resim 2. Erzin ilçesi İçmeler mevki dere üzerinde yapılan yapının taşkın sonrası durumu

Resim 3. Arsuz ilçesi Tülek deresi üzerinde yapılan ev

3.2. Dere yatakları üzerinin kapatılması

Genellikle evsel atık ve molozlar sebebiyle dere yataklarının üstü kapatılmaktadır. Resim 4a'da görüldüğü gibi kanalizasyon sisteminin bağlanması, derelere moloz ve hafriyatlarla endüstri ve evsel atıkların atılması gibi nedenlerle derelerde koku ve görüntü kirliliği oluştuğu gerekçesiyle kapatma işlemleri yapılmaktadır. Reyhanlı ilçesindeki Gültepe mahallesinde bulunan dere il genelinde yapılan tüm yanlış uygulamaların tamamının görülebileceği bir deredir. Bu dere üzerinde İmara aykırı yapılaşmalarla başlayan, kesit daraltmaları, yol geçişlerinin yapılması, kanalizasyon ve diğer atıkların deşarjı ile buna benzer tüm yanlış uygulamalar ve müdahaleler yapılmıştır. Şiddetli yağışlar sonrası muhtemel taşkın riski sebebiyle ivedi bir şekilde tüm aykırı müdahalelerin düzeltilerek, derenin ıslah edilmesi gerekmektedir. İnceleme sırasında görülen aykırılıkların giderilmesi ve önlenmesi amacıyla bu çalışmanın yazarı tarafından Hatay Büyükşehir Belediyesi aracılığıyla ilgili kurumlara gerekli uyarı ve yazışmalar yapılmıştır.

Resim 4b ‘deki Dörtyol ilçesi Özerli deresinde de benzer durum oluşmuştur. Bu derede ise diğer derelere göre geniş bir kesit bulunmasına rağmen molozların dere kesite atılması sebebiyle kesit daraltılmıştır. Aynı şekilde bu derede de gerekli bakım ve ıslah çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Resim 4. **a)** Reyhanlı ilçesinde Gültepe mahallesinde Dere kesiti içerisine atılan evsel atıklar ve kanalizasyon bağlantıları **b)** Dörtyol ilçesinde Özerli Çayı kesiti içerisine atılan molozlar ile kesit daraltılmış

Bunun yanı sıra özellikle kırsal yerleşim alanları olmak üzere genellikle şehir içi ulaşımı sağlamak amacıyla Resim 5’te görüldüğü gibi dere yatağı üzeri kapatılarak yol, kavşak ve köprü yapılmaktadır. Yerleşim merkezleri ve şehirlerarası yollar üzerinde içerisinden dere geçen güzergâhlarda, üzerinde alan kazanmak ve bu alanı da farklı kullanımlar için (otopark, işyeri vb.) değerlendirmek amacıyla kapatma işlemleri yapılmaktadır. Resim 6’da Belen ilçesinde işyeri olarak kullanılan alanın yanından geçen dere yatağının üzeri kapatılmıştır

Resim 5. Belen ilçesinde Ötençay Deresi üzerinde yapılan yol geçişi

Resim 6. Belen ilçesinde dere kesiti içerisinde yapılan işyeri ve otoparkı

Resim 7'de de Kırıkhan ilçesinde Delibekirli deresi üzerinde mevcut dere kesiti daraltılarak, işyeri yapıldığı görülmektedir. Buna benzer uygulamalar İmar Kanununa aykırı bir şekilde İl genelinde yapılmaktadır.

Resim 7. Kırıkhan ilçesinde Delibekirli deresi kesit içerisinde yapılan işyeri

3.3. Dere yatağına tekniğe aykırı menfez ve büz ile geçiş yapılarının yapılması

Hatay ili genelinde derenin üzerinden araç ulaşımı ile yaya geçişini sağlama amacıyla yanlış tekniklerle, hesap yapılmadan farklı kesitlerde menfezler ya da farklı boyutlarda büzler oluşturulduğu yapılan incelemeler neticesinde görülmüştür. Altyapı sistemlerinin inşasında kullanılabilen büzler oldukça kolay elde edilebilmektedir. Bu nedenle büzlü geçişler derelerde sık görülebilmektedir. İl genelinde ortaya çıkan bu durum aynı zamanda ülkemiz genelinde yerel idareler tarafından anlık çözüm amacıyla yapılan müdahalelerin bir sonucudur. Bu sebeple taşkın riskini arttıran yapıların denetlenerek uygunsuz yapıların kaldırılması kısa zamanda bir anda olamayacağından bu süreç devam ederken aynı zamanda derelerin periyodik temizlenmesi gerekmektedir.

Tekniğine uygun olmayan menfez ve büz yapılarıyla alakalı örneklerden Resim 8'de Arsuz ilçesi Gökmeydan deresi üzerinde tek kesitte geçiş yapılması gereken dereden kesiti yetersiz iki adet *farklı kotlarda menfez* imalatı yapılmıştır. Bu kesit dereye uygun olmayıp tıkanmalara sebep olacak boyuttadır. Acilen kesit tek ve yeterli boyuta getirilmelidir. Benzer durum aşağıda Resim 9'da bulunan Arsuz ilçesi Hacıahmetli mahallesinde bulunan köprü için geçerlidir. Dere kesitine uygun olmayan yetersiz boyutlardaki köprü benzer taşkın risklerine sebep olmaktadır. Bu nedenle ivedi bir şekilde kaldırılarak, mevcut dere kesitine uygun köprü yapılması gerekmektedir.

Resim 8. Arsuz ilçesi Gökmeydan deresi üzerinde tekniğine uygun olmayan menfez yapıları

Resim 9. Arsuz ilçesi Hacıahmetli mahallesi kesiti yetersiz köprü

Aşağıda Resim 10'de Erzin ilçesi Sarıçay deresi üzerinden dere kesitine uygun olmayan, prefabrik menfezlerin birleştirilmesi sonucu yapılan köprü görülmektedir. Ancak meydana gelen taşkın sonrasında köprü, kesiti yetersiz olduğu için taşkın debisini geçirememiş ve şekildeki gibi zarar görmüştür. Aşağıda Kırıkhan ilçesi Kurtlusoğuksu deresi üzerinde Resim 11'de görüldüğü üzere köprü, tekniğe aykırı bir şekilde birkaç sanat yapısının üst üste ilâvesi ile yapılmıştır. Yapılan inceleme neticesinde öncelikle dere üzeri geçişin sağlanması için mühendislik hesaplamaları yapılmadan betonarme köprü yapıldığı, akabinde kesitin yetersiz olduğu düşüncesiyle mevcut köprüyü yenilemek yerine üstüne bir köprü daha yapıldığı ve birkaç eklenti daha yapıldığı görülmüştür. Ancak son durumda köprü herhangi bir yağış sonrası meydana gelen taşkın debisini kesit yetersiz olduğu için geçirememektedir. Birkaç yerleşim yerine tek geçiş noktası olan bu köprü kış aylarında artan yağışlar neticesinde trafiğe kapanmaktadır. Bu nedenle ivedi bir şekilde mevcut köprünün yıkılarak, yeni yapılacak olan köprünün 50 ve 100 yıllık taşkın debisi hesaplamaları yapılarak yenilenmesi gerekmektedir.

Resim 10. Erzin ilçesi Sarıçay deresi üzerinde hasar gören köprü

Resim 11. Kırıkhan ilçesi Kurtlusoğuksu deresi üzerinde bulunan tekniğe aykırı köprü

3.5. Dere yatağı kesitini daraltan diğer faaliyetler

Yolların dere güzergâhlarını takip ettiği dağlık bölgelerde kazılardan çıkan malzemelerin dere yataklarına bırakılmaması ve yolların mümkün mertebe dere yatağı içinde kalmamasına özen gösterilmelidir. Buna aykırı olarak yapılan yol çalışmalarında göçmeler ve heyelânlar oluşabilirken, bu olumsuzluklar nedeniyle dere yatağı kesitleri yatakların dolduğundan daralabilmektedir. Bunun bir neticesi olarak da taşkınlar yaşanmakta ve böylelikle yapılan yollar da zarar görmektedir. Bunların dışında dere yatakları üzerine ya da içerisine yapılan izinsiz bentler, içme suyu ve kanalizasyon sistemleri ile rekreasyon tesisleri vb. altyapı sistemleri suyun akışını olumsuz etkilemekte ve taşkın riskini artırmaktadır. Aşağıda Resim 12 ve Resim 13'te İskenderun ilçesi Yarıkkaya Deresi üzerinde kesiti daraltan içme suyu ve boru hattı görülmektedir. Burada mevcut dere üzerindeki köprüden İçme suyu hattı ve boru hattı geçmektedir. Özellikle boru hattı kot olarak dere içerisinde kaldığından mevcut kesiti daraltmaktadır. Benzer durum aşağıda Arsuz ilçesi Soğanlık deresinde Resim 14'de görülmektedir. Daha öncede bahsedildiği ve resimlerden de görüldüğü üzere mevcut dere yatağı üzerinde yapılan sanat yapılarının kesitini daraltmakla birlikte derelerin ıslah edilmemiş olması sebebiyle her türlü çalı, ağaç ve rusübatın takılarak kesitin tıkanmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle muhtemel bir taşkına sebebiyet verilmemesi adına ivedi bir şekilde mevcut hatların deplâse edilmesi gerekmektedir. Dere üzerinde yaya geçişini sağlamak amacıyla ise Arsuz ilçesi Abuzed deresinde Resim 15'de görülen yaya köprüsü de derenin kesitini daraltarak suyun akışını engellemektedir.

Resim 12. Kırıkhan ilçesi Kurtlusoğuksu deresi üzerinde bulunan tekniğe aykırı köprü

Resim 13. İskenderun ilçesi Yarıkkaya deresi üzerinde kesiti daraltan içme suyu ve boru hattı

Resim 14. Arsuz ilçesi Soğanlık deresi üzerinde kesiti daraltan içme suyu borusu

Resim 15. Arsuz ilçesi Abuzed deresi üzerinde kesiti daraltan yaya köprüsü

3.6. Dere yataklarından kaçak kum çakıl alımı faaliyetleri

"Kum Çakıl ve Benzeri Maddelerin Alınması, İşletilmesi ve Kontrolü Yönetmeliği"nde;

1- Taşkın tesisleriyle her iki kıyısı da ıslah edilmiş olan mecralarda,

2- Mendereslerin sık olduğu mecraların dış kurblarında,

3- Dere ve akarsu yatakları üzerine yapılmış menfez, köprü vb. sanatsal yapıların bulunduğu durumlarda bu yapılara mansap yönünde 1000, memba yönünde 740 metreden daha yakın bir ara bırakılarak yaklaşılması gereken durumlarda,

4- Dere ve akarsu yatakları üzerine kum çakıl ocaklarının açılması istendiğinde yatağın herhangi bir sahili ile sahanın akış yukarısı ya da akış aşağısında konumlanmış olan ve taşkın açısından güvenli olan tarım arazileri ve yerleşim birimlerinin söz konusu ocaklar açıldıktan sonra taşkına maruz kalabileceğinin görüldüğü durumlarda, bu ocakların açılmasına ve işletilmesine müsaade edilmemesi ifade edilmektedir. Ayrıca bu duruma yönelik izleme ve ceza ile ilgili maddeler de bulunmaktadır. Aşağıdaki Resim 16 ve Resim 17'de Payas ilçesi Çağlalık mahallesinde bulunan Kuru deresi içerisinde asfalt şantiyesi, kum ocağı ve taş ocağı bulunmaktadır. Çağlalık Mahallesinde 4373 Sayılı "Taşkın Sulara ve Su Baskınlarına Karşı Korunma Kanunu"na göre, kuzeyindeki boğazdan itibaren denize kadar yatak mihverinden itibaren sağlı sollu 50 şer metre yapılaşma yasağı vardır. Ancak bahse konu dere girişinde asfalt şantiyesi, kum ocağı, taş ocağı olup, mevcut dere yol olarak kullanılmaktadır.

Resim 16. Payas ilçesi Çağlalık mahallesinde bulunan kuruderesi içerisinde asfalt şantiyesi, kum ocağı ve taş ocağı

Resim 17. Payas ilçesi Çağlalık mahallesinde bulunan kuruderesindeki kum ocağı

SONUÇ VE ÖNERİLER

Hatay ili genelinde taşkına sebep olan sanat yapıları ve uygulamalar arazi çalışmaları yapılarak yerinde incelenmiş ve taşkınların en önemli sebepleri ortaya çıkarılmıştır.

Akarsu vadileri boyunca yapılan incelemeler neticesinde, dere yataklarında yeni yerleşim alanları oluşturmak için konut, işyeri ve yol yapımı için müdahalelerin yapıldığı tespit edilmiştir. Dere yataklarının bitişiğindeki verimli alüvyal arazilerin tarım dışı amaçlarla kullanıldığı tespit edilmiştir. Özellikle kırsal alanlarda evsel ve kanalizasyon atıklarının derelere deşarj edildiği, lokal geçişler için tekniğe aykırı büz ve menfezlerin kullanıldığı, dere yatakları içerisine veya üzerine rekreasyon tesisleri ile kanalizasyon ve içme suyu sistemleri gibi altyapı tesislerinin dere kesitini daraltarak yapıldığı, kuru dere olarak tabir edilen dereler içerisinde kaçak kum ve çakıl faaliyetlerinin yapıldığı, il genelinde muhtelif kazılardan çıkan malzemelerin dere yatağına bırakıldığı tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra akarsu yatakları üzerinde hidrolik hesaplar yapılmadan tekniğe aykırı gelişigüzel hazırlanan ve kesit daralmasına sebep olan köprü ve menfezlerin bulunduğu görülmüştür. Arazi kullanım ilkesine uygun drenaj kanallarının yapılmadığı, çiftçiler tarafından kısmen yapılmış olan drenaj kanallarının ilgisizlik nedeniyle tahrip olduğu ve işlevini yerine getiremediği ve özellikle yerleşim alanlarında bulunan dere üstlerinin kapatılması, periyodik olarak her yıl yapılması gerekli olan rüsubatın temizliği gibi bakım onarım çalışmalarının gerçekleşmesini zorlaştırdığı tespit edilmiştir.

Ülkemizde ve Hatay ili genelinde yapılan araştırma ve gözlemler sonucunda taşkınların önlenmesi ve olumsuz etkilerinin azaltılması, uygulamada görülen aksaklıkların giderilmesi için aşağıda sıralanan çalışma ve düzenlemelerin yapılması gerektiği belirlenmiştir (Uşkay ve Aksu, 2002: Gürer, 2012; Yüksek, 2016);

- Taşkın konusunda yetkili ve uzman kişilerin, araştırmacı, teknik eleman ve akademisyenlerin, mahalli ve mülki idare yönetici ve temsilcilerinin, kamu ve özel kurum ve kuruluş temsilcilerinin ve sivil toplum örgütleri temsilcilerinin bir araya gelmesinin ve taşkın olayının her yönüyle tartışılmasının sağlanması
- Erozyon, heyelan ve taşkın kontrolü ile bütünleşik havza ıslah projeleri gerçekleştirilerek toprağın korunması için havza yönetimi sağlanmalı
- Kaynak ve yağış sularının akış rejiminin düzenlenmesi sağlanarak taşkının havza içerisinden geçerken yıkıcı ve aşındırıcı etkisinin en aza indirilmesi
- Yukarı Havzalarda can ve mal güvenliğini sağlamaya yönelik yapılar için çalışma usul ve esasları belirlenmeli, uygulama yönetmelikleri çıkarılmalı
- Taşkın kontrolü için taşkın kontrol rezervuarları (geciktirme havuzları) ve diğer yapısal önlemlerin (sel kapanları, ıslah ve taşkın kontrol yapıları, sedde, duvarlı taş tahkimat) oluşturulması: Taşkın yatağı kontrolü, ve drenaj sistemi gibi yapısal olmayan önlemlerin alınması.
- Kazı işleri denetimsiz yapılmamalı (yol, bina yeri vb.), drenaj faaliyetleri ile uygun drenaj sağlayan yapılar teşvik edilmelidir.
- Doğal bitki örtüsünün korunarak tarım arazilerinin dönüştürülmesi ve dağınık yapılaşmasının engellenmesi; ağaçlandırma ve teraslama yaparak yamaçların korunması ve nehir yatağına paralel kanallarla yüzey suyunun kontrollü drenajı yapılmalı.
- Ulaşım ağının kontrolsüz yüzey drenaj sistemi oluşturmasının engellenmesi.
- Taşkın riski bulunan alanlardaki altyapılara yönelik düzenlemeler yapılması; taşkın tesislerine ve dere yataklarına her türlü müdahalenin önlenmesi ve yerel yönetimlerin bu konudaki etkinliğinin arttırılması (dere yataklarında kaçak yapılaşma kontrolü, vb.)
- Dere yataklarından aşırı, kontrolsüz malzeme alımlarının ve buralarda kıyı oyulmalarına meydan verecek ve yatak stabilitesini bozacak tarzda çakıl ve kum ocaklarının açılmasının önlenmesi,

- Yöre insanlarının taşkın konusundaki bilgi ve hassasiyetlerinin gelişmesini sağlamak ve halkı taşkın konusunda bilinçlendirmek.

KAYNAKÇA

DSİ. (2015). DSİ 2014 yılı Resmi Su Potansiyeli İstatistikleri. Aralık 12, 2015 tarihinde 2014 Yılı Verileri: http://www.dsi.gov.tr/dsi-resmi-istatistikler/2014-yili-verileri adresinden alındı.

DSİ. (2015). DSİ 2014 yılı Resmi Su Potansiyeli İstatistikleri. Aralık 12, 2015 tarihinde 2014 Yılı Verileri: http://www.dsi.gov.tr/dsi-resmi-istatistikler/2014-yili-verileri adresinden alındı.

GÜRER, İ. 2012. Türkiye'de Doğal Afet Olarak Taşkın ve Önleme Yöntemleri. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Proje ve Proje Fizibilite Eğitimi. 12-15 Mart 2012 Çorum.

JMO, 2014 "Hatay- Erzin'de Meydana Gelen Sel Felâketi Yerinde İncelendi"konulu haberi,18.05.2015 http://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=7257&tipi=2&sube=0

KADIOĞLU, M., 2008: Sel, Heyelan ve Çığ için Risk Yönetimi; Kadıoğlu, M. ve Özdamar, E., (editörler), "Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri"; s. 251-276, JICA Türkiye Ofisi Yayınları No: 2, Ankara.

ÖZCAN, E (2006). Sel Olayı ve Türkiye. GÜ, Gazi Eğitim Fak. Dergisi, Cilt 26, Sayı 1, 35-50.

SYGM, 2014 Taşkın Direktifi'nin Uygulanması için Ulusal Uygulama Planı Taslağı. Çevrim içi, erişim tarihi 10.12.2018 http://taskinyonetimi.suyonetimi.gov.tr/taskin/Files/Outputs/TD_Ulusal_Uygulama_ Plani_Taslagi.pdf

UŞKAY, S. ve AKSU, S. Ülkemizde Taşkınlar, Nedenleri, Zararları ve Alınması Gereken Önlemler. Türkiye Mühendislik Haberleri. Sayı 420-421-422/2002/4-5-6.

YÜKSEK, T., 2018. Küresel İklim Değişimi ve Arazi Bozulumu Perspektifinden Doğu Karadeniz Sel-Heyelan Olaylarına Genel Bir Bakış. II. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Ankara.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) (2017). Taşkın Yönetimi Kitabı, Ankara, Sayfa 1-6,19-21, 24-25, 177-180.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Yukarı Havza Sel Kontrolü Eylem Planı, 2013-2017.

Üç boyutlu baraj yıkılması deneyinin OpenFOAM kullanılarak modellenmesi

Ada YILMAZ, Kaan DAL, Selahattin KOCAMAN, Mustafa DEMİRCİ

Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
Email: ada.yilmaz@iste.edu.tr

Özet

Bir baraj yıkılması olayı gerçekleştiğinde, taşkın dalgaları rezervuardan mansaba doğru ani bir şekilde yayılmaya başlar. Su derinliği ve dalga önü yayılım hızı gibi baraj yıkılması akımlarının ana karakteristiklerinin belirlenmesi, efektif bir risk yönetim planı hazırlanabilmesi için gereklilik arz etmektedir. Son yıllarda çeşitli teorilere dayanan sayısal metotlar baraj yıkılması akımlarının karakteristiklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaya başlamıştır. Bu çalışmada, üç boyutlu ve kuru yataklı bir tanktaki baraj yıkılması akımı, açık kaynak kodlu bir yazılım olan OpenFOAM ile modellenmiş ve deneysel ve sayısal modelden elde edilen farklı noktalardaki su derinliklerinin zamana bağlı değişim değerleri karşılaştırılarak sayısal modelin çözüm yeteneği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baraj yıkılması, ultrasonik sensör, serbest yüzeyli akımr, sayısal model

Abstract

When a dam-break event occurs, catastrophic flood waves start to propagate suddenly from the reservoir into the downstream. Determination of the main characteristics of the dam-break flows such as water depth and wave front propagation velocity is necessary for preparing an effective risk management plan. In recent years, numerical methods based on various theories have been started to use frequently in the determination of the dam-break flow characteristics. In this study, a dam-break flow in the 3D tank with a dry bed was modeled using OpenFOAM which is an open source software and, solution ability of the numerical model was investigated comparing numerical and experimental data of the time evolution of the water level in different points.

Keyword(s): Dam-break, ultrasonic sensor, free surface flow, numerical model

1. Giriş

Bir baraj yıkılması olayı gerçekleştiğinde, baraj haznesindeki yüksek miktardaki su kütlesi ani bir şekilde mansap kısmına doğru yayılamaya başlar. Çeşitli noktalardaki su derinliği değerleri ve dalga önü yayılma hızı gibi baraj yıkılması akımlarının temel karakteristiklerinin yüksek doğrulukta saptanabilmesi, hazırlanacak efektif risk yönetim planları için yol gösterici bilgilerin elde edilmesi bakımdan hayati bir öneme sahip olacaktır.

Baraj yıkılması akımları literatürde analitik, sayısal ve deneysel yöntemler kullanılarak birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Ritter [1] bir boyutlu, kuru yataklı bir baraj

yıkılması problemlerinde akış karakteristiklerinin belirlenmesi için analitik çözüm önermiş ve bu çözüm yöntemi Dressler [2] tarafından geliştirilerek eğimli yataklı problemlere uygulanmıştır. Ancak analitik yöntemlerin sadece idealize edilmiş şartlar altında geçerli olması, baraj yıkılması akımlarının inceleme metotları arasındaki deneysel ve sayısal çalışmaların önemini arttırmaktadır.

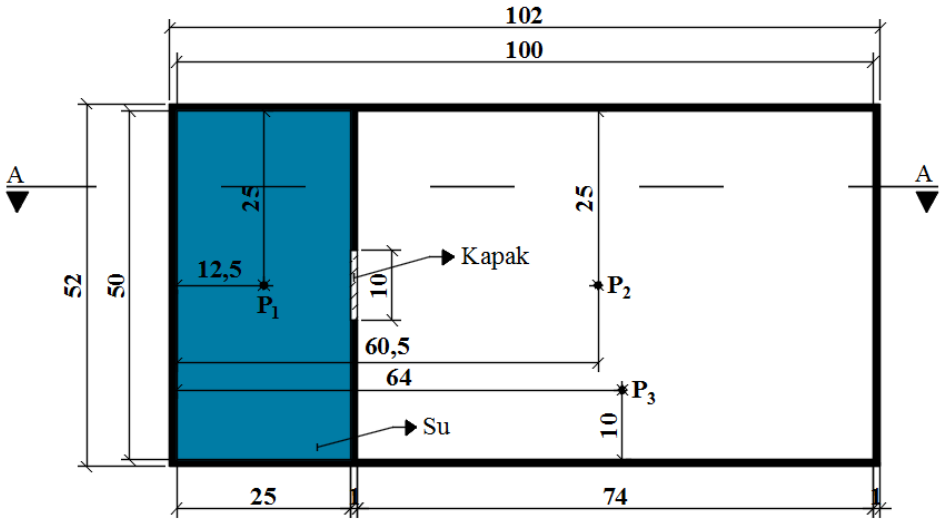
Bell [3] baraj yıkılması sonucu oluşan akımı dalga önünün gelişimini ve noktasal su derinliklerinin zamana bağlı değişimlerini incelediği bir deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Bazı araştırmacılar yatak eğiminin baraj yıkılması sonucu oluşan akımlar üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişken [4-5], Bazı araştırmacılar ise baraj yıkılması problemlerinde engel varlığına vurgu yapan ve ölçüm tekniği olarak görüntü işlemenin kullanıldığı deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [6-9,20]. Baraj yıkılması akımlarının sayısal olarak incelenmesinde gerçekleştirilen ilk çalışmalar ise akışkan hareketinin tanımlanmasında sığ su denklemlerinin (SWE) kullanıldığı modeller ile gerçekleştirilmiştir [10-11]. Gelişen bilgisayar teknolojileri sayesinde k-ε, LES, RNG gibi çeşitli türbülans modellerini bünyesinde barındıran ve Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) denklemlerini kullanan sayısal modellerin kullanımını yaygınlaştırmıştır [12-14]. Ayrıca son yıllarda bazı araştırmacılar Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) gibi parçacık temelli metotları baraj yıkılması problemlerine uygulamış ve başarılı sonuçlar elde etmişlerdir [15-17]. Ayrıca bilgisayarların çözüm kabiliyetlerinin artması üç boyutlu baraj yıkılması akımlarının çeşitli sayısal metotlar kullanılarak incelendiği çalışmaların gerçekleştirilebilmesini mümkün kılmıştır [18-19].

Bu çalışmada üç boyutlu bir tank içerisindeki kuru yataklı bir baraj yıkılması problemi, Sonlu Hacimler Metodu (FVM) temelli ve açık kaynak kodlu OpenFOAM yazılımı kullanılarak sayısal olarak modellenmiş ve bu modelden elde edilen veriler deneysel veriler ile karşılaştırılıp sayısal modelin çözüm kabiliyeti araştırılmıştır.

2. Deney Düzeneği

Bu çalışmada esas alınan deneyler İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün Hidrolik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin genel plan ve boyutları ile birlikte ölçüm noktaları Şekil 1'de gösterilmiştir. Genişliği 0,5 m, uzunluğu 1 m ve yüksekliği 0,35 m olan tank cam malzeme kullanılarak imal edilmiştir. Barajı temsil eden ve 0,1 m genişliğinde olan kapak rijit plastik maddeden yapılmıştır. Başlangıç durumunda memba kısmı 0,1 m yüksekliğinde su ile doldurulmuş ve mansap kısmının kuru kalması sağlanmıştır. Kapağın ani olarak kaldırılması ile baraj yıkılması akımı oluşturulmuş ve taşkın dalgasının 3 boyutlu olarak yayılması gözlenmiştir.

Su seviyesinin zamanla değişim verilerini elde etmek amacıyla ultrasonik mesafe ölçer sensörler kullanılmıştır. Veriler toplayıcı cihaz (Testbox2010) aracılığı ile bilgisayara aktarılmıştır. Böylece belirli noktalarda su derinliğinin zamanla değişimi elde edilmiştir.



Şekil 1 - Deney düzeneği genel görünümü ve ölçüm noktaları (P1, P2, P3)

3. Sayısal Model

Bu çalışmada OpenFOAM yazılımı ile oluşturulan modelde kullanılan Reynolds ortalamalı süreklilik (1) ve momentum (2-4) denklemleri diferansiyel formda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{\partial \bar{u}}{dx}+\frac{\partial \bar{v}}{dy}+\frac{\partial \bar{w}}{dz}=0 \tag{1}$$

$$\bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{dx}+\bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{dy}+\bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{dz}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{dx}+g_x+\nu\left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}\right)-\left(\frac{\overline{\partial u'^2}}{\partial x}+\frac{\overline{\partial v'u'}}{\partial y}+\frac{\overline{\partial w'u'}}{\partial z}\right) \tag{2}$$

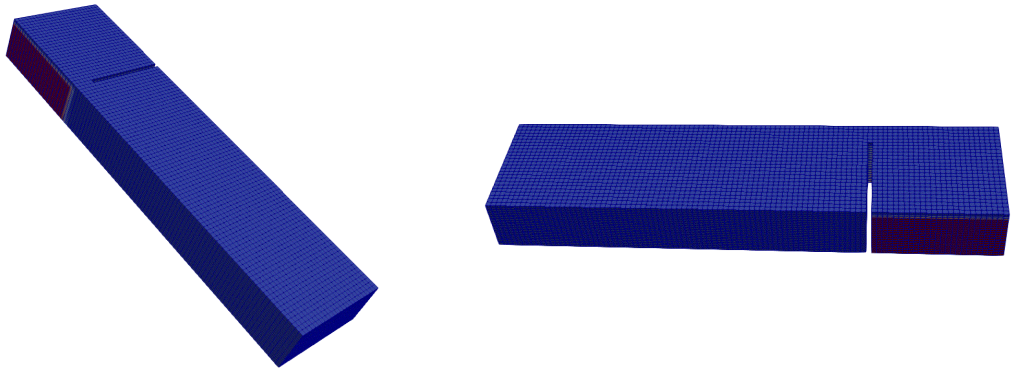
$$\bar{u}\frac{\partial \bar{v}}{dx}+\bar{v}\frac{\partial \bar{v}}{dy}+\bar{w}\frac{\partial \bar{v}}{dz}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{dy}+g_y+\nu\left(\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial z^2}\right)-\left(\frac{\overline{\partial u'v'}}{\partial x}+\frac{\overline{\partial v'^2}}{\partial y}+\frac{\overline{\partial w'v'}}{\partial z}\right) \tag{3}$$

$$\bar{u}\frac{\partial \bar{w}}{dx}+\bar{v}\frac{\partial \bar{w}}{dy}+\bar{w}\frac{\partial \bar{w}}{dz}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{dz}+g_z+\nu\left(\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial z^2}\right)-\left(\frac{\overline{\partial u'w'}}{\partial x}+\frac{\overline{\partial v'w'}}{\partial y}+\frac{\overline{\partial w'^2}}{\partial z}\right) \tag{4}$$

burada $u(t)=\bar{u}+u'$, $v(t)=\bar{v}+v'$ ve $w(t)=\bar{w}+w'$ olmak ile birlikte $\bar{u}$, $\bar{v}$ ve $\bar{w}$ değerleri ortalama hız büyüklüklerini temsil etmektedir.

Modelde süreklilik ve momentum denklemlerinin çözümü için gerekli kapatmalar k-ε türbülans modeli formülasyonu kullanılarak sağlanmıştır. Deney düzeneğine uygun, 3 boyutlu olarak modellenen çözüm alanı 0.005 m boyutlarında ağ yapısı elemanları kullanılarak tanımlanmıştır. Çokfazlı ve VOF temelli bir çözüm yöntemi kullanarak oluşturulan bu sayısal modelde su derinliği değerleri α değerleri üzerinden hesaplanmaktadır. Burada α, 0 ile 1 arasında bir değer almakta ve her ağ yapısı elemanı için malzeme (su) doluluk oranını temsil etmektedir.

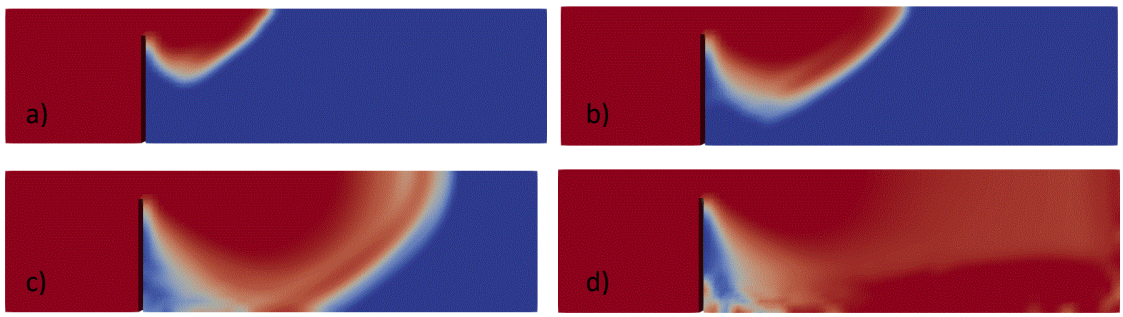
Deney düzeneğinin simetri barındırması sayısal modelde simetrik bir çözüm gerçekleştirilebilmesini mümkün kılmış ve böylece analiz süresinin kısaltılması amaçlanmıştır. Deney düzeneğine uygun oluşturulan sayısal model içerisinde başlangıç durumdaki 0,1 m derinliğindeki su kütlesi memba kısmına tanımlanmış ve 4 s süre için sayısal analiz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2 – Sayısal model genel görünümü

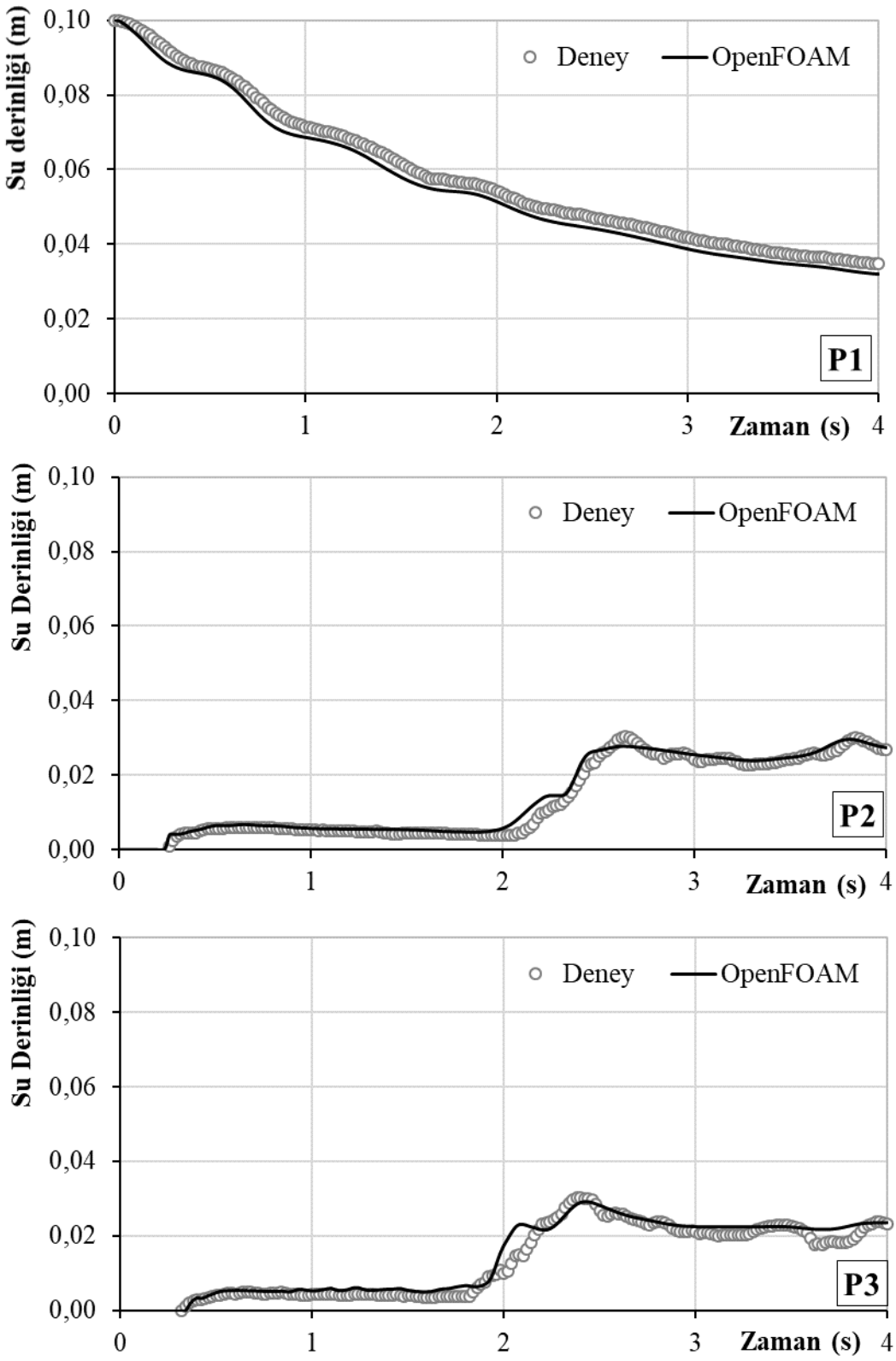
4. Araştırma Bulguları

Oluşturulan model ile sayısal analiz gerçekleştirilmiş olup belirli zaman adımlarındaki görselleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Ölçüm noktalarında, ultrasonik sensör ve numerik analiz ile elde edilen su derinliği değerleri karşılaştırılmış, karşılaştırma sonuçları Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3 – Çeşitli zaman adımlarına ait sayısal analiz sonuçları

a)0.2s b)0.3s c)0.5s d)1s



Şekil 4 - Deneysel ve sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4 incelendiğinde kapağın kalkması ile birlikte memba noktasındaki (P1) su seviyesinin de hızla düşmeye başladığı ve 4. saniye sonunda seviyenin %70 mertebesinde azaldığı görülmektedir. Ayrıca bu noktadaki düşüm hızının, membadaki su seviyesi ile paralel olarak giderek azaldığı da dikkat çekmektedir. Mansap kısmındaki akım, mansap sonundaki duvardan yansıması sonucu oluşan yansıma dalgası ile iki farklı karakteristik davranış göstermektedir. Ölçüm noktalarında, kapağın ilk kalktığı an ile yansıma dalgası oluşumunun öncesi durumda akım sakin bir karakter göstermiş ve sayısal analiz sonuçları ile yüksek uyum yakalanmıştır. Mansap duvarından yansıyan dalganın ölçüm noktalarına ulaşması ile bu noktalarda ani su seviyesi yükselmeleri gözlemlenmiştir. Akabinde yansıma dalgası ile memba tarafından akan akımın karşılaşması ile ölçüm noktalarında kaotik durum baskın bir hal almıştır. Bu noktadan sonra ölçüm noktalarında su seviyeleri neredeyse yatay bir seyir izlese de, anlık dalgalanmalar dikkat çekmektedir. Bu durum mansap kısmındaki her iki ölçüm noktasında da (P2-P3) sayısal analiz sonuçları ile deneysel veriler arasında ufak farklılıklar yarattığı anların oluşumuna neden olmuşsa da, genel olarak sayısal analiz sonuçlarının deneysel verileri yakalamadaki başarısının devam ettiği görülmektedir.

5. Sonuçlar

Yapılan çalışmada, dikdörtgen bir tank içerisinde 3 boyutlu ve kuru yataklı bir baraj yıkılması problemi deneysel ve sayısal olarak ele alınmıştır. Tank ortasına yerleştirilen düşey bir kapağın ani olarak kaldırılması ve rezervuar kısmında bulunan suyun ani olarak mansap kısmında yayılması ile baraj yıkılması olayının temsil edilmesi amaçlanmıştır. Ele alınan problem, güçlü hidrolik sıçramaların, yansımaların olduğu zamanla ani değişen oldukça türbülanslı yapıya sahip karmaşık bir akım barındırmaktadır. Akımı rahatsız etmeden temassız ölçüm sağlayan ve tank üzerine yerleştirilen ultrasonik sensörler yardımıyla su seviyesi değişimleri belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler, 3 boyutlu sonlu hacimler yöntemine dayanan Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes formülasyonu kullanılarak OpenFOAM çözücüsü tarafından gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sayısal çözümün şok dalgası yayılma hızlarını ve su seviyesinde meydana gelen değişimleri yeterli hassasiyet ile belirleyebildiği sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

1. Ritter, A., (1892). “Die Fortpflanzung der Wasserwelle ((Generation of the waterwave))”. ZeitschriftVereinDeutscher Ingenieure 36 (2), 947-954 (in German).
2. Dressler, R.F., (1958). “Unsteady non-linear waves in sloping channel”. Proc. R. Soc. Lond. Ser. A. 247 (1249), 186-198.
3. Bell, Stoner W., Robert C. Elliot, & M. Hanif Chaudhry (1992). "Experimental results of two-dimensional dam-break flows." Journal of Hydraulic Research 30.2, 225-252.
4. Lauber, G., Hager, W. H., (1998). “Experiments to dambreak wave: Sloping channel”. Journal of Hydraulic research, 36(5), 761-773.
5. Nsom, B., Debiane, K., & Piau, J. M., (2000). “Bed slope effect on the dam break problem”. Journal of Hydraulic Research, 38(6), 459-464.
6. Soares-Frazao, S., (2007). “Experiments of dam-break wave over a triangular bottom sill”. J. Hydraul. Res. 45 (Extra Issue), 19-26.
7. Aureli, F., Maranzoni, A., Mignosa, P., Ziveri, C., (2008). “Dam-break flows: acquisition of experimental data through an imaging technique and 2D numerical modelling”. J. Hydraul. Eng.-ASCE 134 (8), 1089-1101.
8. Ozmen-Cagatay, H., Kocaman, S., (2011). “Dam-break flow in the presence of obstacle: experiment and CFD Simulation”. Eng. Appl. Comput. Fluid Mech. 5 (4), 541-552.
9. Ozmen-Cagatay, H., Kocaman, S., Guzel H., (2014). “Investigation of dam-break flood waves in a dry channel with a hump”. Journal of Hydro-environment Research 8.3 (2014): 304-315.
10. Mohapatra, P.K., Bhallamudi, S.M., (1996). “Computation of a dam-break flood wave in channel transitions”. Adv. Water Resour. 19 (3), 181-187.
11. Garcia-Navarro, P., Fras, A., Villanueva, I., (1999). “Dam-break flow simulation: some results for one-dimensional models of real cases”. J. Hydrol. 216 (3-4), 227-247.
12. Kocaman, S., Ozmen-Cagatay, H., (2012). “The effect of lateral channel contraction on dam break flows: Laboratory experiment”. Journal of hydrology, 432, 145-153.
13. Ozmen-Cagatay, H., Kocaman, S., (2012). “Investigation of dam-break flow over abruptly contracting channel with trapezoidal-shaped lateral obstacles”. Journal of Fluids Engineering, 134(8), 081204.
14. Mofrad, B. M., Barnjani, S. H. R., Safari, A., (2017). “Modeling of Turbulent Flow Due to the Dam Break Against Trapezoidal Barrier”. Journal of Civil Engineering and Materials Application, 1(1), 22-27.

15. Crespo, A. J., Gómez-Gesteira, M., Dalrymple, R. A., 2008. "Modeling dam break behavior over a wet bed by a SPH technique". Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, 134(6), 313-320.
16. Chang, T. J., Kao, H. M., Chang, K. H., Hsu, M. H., 2011. "Numerical simulation of shallow-water dam break flows in open channels using smoothed particle hydrodynamics". Journal of Hydrology, 408(1-2), 78-90.
17. Dal, K., & Kocaman, S., (2018). Comparison of the experimental results with SPH method for sequential dam-break problem. 5th IAHR Europe Congress, Trento, Italy.
18. Dal, K., Kocaman, S., (2017) "Dikdörtgen Bir Tank İçerisindeki 3 Boyutlu Baraj Yıkılması Akımının Etkileşimli Parçacık Hidrodinamiği ile Simülasyonu". 2nd International Mediterranean Science and Engineering Congress. Adana, Türkiye.
19. Kocaman, S., Dal, K., & Yılmaz, A., (2017) "Dikdörtgen Bir Tank İçerisindeki Baraj Yıkılması Akımının İncelenmesi: Deney ve Sığ Su Denklemleri". V. Uluslararası Baraj Güvenliği Sempozyumu. İstanbul, Türkiye.
20. Kocaman, S., Dal, K., & Yılmaz, A., (2017) "Üçgen Bir Eşik Üzerinden Geçen Baraj Yıkılması Akımının OpenFOAM ile Sayısal Analizi". V. Uluslararası Baraj Güvenliği Sempozyumu. İstanbul, Türkiye.

DANIŞMANIN, YAPIM AŞAMASI ÖNCESİ BIM SİSTEMİNDEKİ ROLÜ

Abdulkadir BUDAK[1], İbrahim KARATAŞ[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Osmaniye Korkut Ata University, Turkey
Emails: abudak@osmaniye.edu.tr, ibrahimkaratas@osmaniye.edu.tr

Özet

Günümüz yapı üretimi, üretimde yer alan bütün disiplinlerin aynı platform üzerinde çalışmasını gerektirmektedir. Bu kapsamda, özellikle gelişmiş ülkelerde, danışmanlık hizmetlerinin ve BIM sisteminin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Ancak, ülkemizde danışmanlık – BIM ilişkisi ekseninde yetersiz çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, projelerin yaşam döngüsündeki, yapım aşamasına kadar olan bölümünde, danışmanlık hizmetlerinin BIM sistemi kapsamındaki görev ve sorumlulukları literatür kapsamında irdelenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmanın; danışmanlık hizmetlerinin dahil olduğu proje teslim sistemlerinde, teorik olarak ve yapı üretim uygulamalarında, danışmanlık hizmetinin, inşaat projelerinde BIM entegrasyonuna ve konuyla ilgili diğer akademik çalışmalara katkısı olacağı umulmaktadır.

Anahtar Kelime(ler): Danışmanlık hizmetleri, BIM (Building Information Modelling), Yapı Bilgi Modellemesi

Abstract

Nowadays, building production requires that all disciplines involved in the production work on the same platform. In this context, the use of construction management (CM) services and Building information modeling (BIM) system is of great importance, especially in developed countries. However, in our country, there is not enough work in the axis of CM - BIM relationship. Therefore, in this study, in the life cycle of the projects, until the construction phase, the duties and responsibilities of the CM services within the scope of the BIM system are examined. As a result; in project delivery systems including CM services, theoretically and in building production applications, it is expected that the CM service will contribute to BIM integration in construction projects and other academic studies on the subject.

Keyword(s): CM services, BIM, Building Information Modeling

1 Giriş

Literatüre bakıldığında gün geçtikçe BIM sisteminin önemi ve uygulamaları artmaktadır (Jung and Joo, 2011). Özellikle ABD ve İngiltere başta olmak üzere çoğu Avrupa ve Asya ülkeleri BIM sistemini benimsemiş ve kullanmaya devam etmektedir (Bryde, Broquetas, & Volm, 2013; Howard & Björk, 2008). Ülkemizde ise son yıllarda kullanılmaya başlanan BIM sistemi, bazı büyük ölçekli projelerde kullanılmıştır. Bunlardan bazıları Adana Entegre Sağlık Kampüsü, Ok Meydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Kabataş-Mecidiyeköy-Mahmutbey

Metro Hattı ve İstanbul Yeni Havalimanı projeleridir (Aladag, Demirdögen, & Isık, 2016; Özorhon, 2018). BIM sisteminin kullanılmasıyla birlikte bu sistemin kullanıldığı projelerdeki tarafların görev ve sorumlulukları farklılaşmaktadır (CMAA, 2010; Eastman, Liston, Sacks, & Liston, 2008; Yalcinkaya & Arditi, 2013). BIM sistemin etkin olarak uygulanmasında, bu farklılaşmanın etki ettiği en önemli taraflardan birisi de danışmandır. Ancak ülkemizde, bu konuda akademik anlamda çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada BIM sistemi kullanılan projelerdeki danışmanın görev ve sorumlulukları literatür yardımıyla belirlenmiştir. Bu çalışmada ilk olarak BIM sistemi, daha sonra ise danışmanlık sistemi ve geleneksel projelerdeki danışmanın görev ve sorumlulukları genel olarak özetlenmiştir. Son olarak ise, yapım aşamasına kadar, danışmanların BIM sistemindeki görev ve sorumlulukları literatür kapsamında irdelenmiştir.

2 BIM (Building Information Modeling) Sistemi

İnşaat sektöründe rekabetin artması, değişen teknoloji, işveren ve yüklenicilerin istekleri yapıların daha büyük ve farklı tasarlanmasına neden olmaktadır. Bu da yapıları, daha karmaşık ve projenin her aşamasında hata yapmaya elverişli hale getirmektedir. Proje yaşam döngüsü boyunca bu hataların azaltılması maliyet ve zamanın optimum düzeyde olması için yaklaşık 40 yıl önce ortaya çıkan ancak daha çok 2000'li yıllarda uygulamaları hızlanan BIM sistemi yapının geometrisini, malzeme özelliklerini, grafik analizlerini ve simülasyonlarını göstererek yapının sanal olarak inşa edilmesini sağlayan bir sistemdir (Azhar, Khalfan, & Maqsood, 2015; Bergin, 2013). Ulusal BIM Standardına (NBIMS-National BIM Standarts) göre ise BIM sistemi bir yapının tüm özelliklerinin sayısal bir şekilde gösterilmesidir. Ayrıca proje yaşam döngüsü boyunca yapının en az hatayla, en uygun maliyet ve zamanda ve güvenilir bir şekilde inşa edilebilmesini sağlayan bir sistemdir (NBIMS, 2007). BIM sistemi projelerde yaşam döngüsü boyunca farklı paydaşlar tarafından kullanılmaktadır. Bu paydaşlar ise BIM sistemini her aşamada farklı amaçlar için kullanmaktadırlar (Deutsch, 2011). Bu yüzden de BIM sisteminde farklı amaçlar için kullanılmak üzere BIM sisteminin temeli olarak bilinen n boyutlu modelleme sistemleri ortaya çıkmıştır. BIM sisteminde ortaya çıkan bu çoklu boyutlar ve özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir (Akkoyunlu, 2015).

Tablo 1 – BIM sisteminde çoklu boyutlar ve özellikleri

BIM Boyutları	Özellikleri
3D BIM	Tasarım, parametrik modelleme, 3 Boyutlu görselleştirme
4D BIM	3D+Zaman, İnşaat planlanması ve İnşaat süresi tahmini, Disiplinler arası iletişim, Çakışma analizi ve simülasyon, Şantiye kurulum planı
5D BIM	4D+Maliyet, Otomatik metraj ve maliyet tahmini, Kaynak yönetimi, Değişikliklerin otomatik algılanması, Proje kontrolünün kolaylaştırılması
6D BIM	Sürdürülebilirlik, Binaların enerji performansları, Uluslararası yeşil bina değerlendirme sistemi LEED ve BREEAM gereksinimlerini karşılanması
7D BIM	Tesis Yönetimi, İnşaat bittikten sonra arıza tespiti, bakım ve onarım için bilgi kaynağı
8D BIM	Binanın güvenliği ve acil yönetimi

BIM sistemi kullanılan projelerde 3D tasarım aşamasından sonra, 4D iş programlaması ve 5D maliyet yönetimi boyutları ile birlikte BIM sisteminin önemli bir özelliği olan paydaşların birlikte çalışabilirlik özelliği de kullanılmaya başlanılmaktadır (Dilsizoğlu Özperçin, 2016). İnşaat endüstrisinde birlikte çalışabilirlik, proje boyunca paydaşlar arasındaki bilgi alışverişi ve iletişim için son derece önemlidir (Deutsch, 2011; Eastman et al., 2008). Proje de yaşanan iletişimsizlik ve bilgi alışverişindeki sorunlar, projeye zaman ve maliyet açısından zarar verebilmektedir. BIM sistemi ile tasarlanan bir inşaat projesinde işveren, tasarımcı, yüklenici ve danışman gibi paydaşların sorumlulukları ve aralarındaki birlikte çalışabilirliğin ve koordinasyonun kuvvetli olması projenin optimum bir şekilde tamamlanması için önemlidir. Bu paydaşların BIM projelerindeki sorumlulukları ise kısaca şu şekildedir (CMAA, 2010; McKean, 2011; Özorhon, 2018; Thomassen, 2011):

- İşveren; Tasarım şartnamesinin oluşturulması, tasarımın değerlendirilmesi ve onaylanması,
- Tasarımcı; Tasarımın yapılması, geliştirilmesi, bitirilmesi ve gerekirse güncellenmesi,
- Yüklenici; Tasarımın değerlendirilmesi, inşaat modelinin oluşturulması, inşaat yapım yönetimi ve uygulama modelinin oluşturulması,
- Danışman; İşverenin BIM süreci hakkında eğitilmesi ve bu sürecin uygun kullanımının sağlanması, BIM hedeflerini ve takım sorumluluklarını yapım yönetim planına eklemesi, projeye bağlı maliyet ve tahminler, iş programı, yapılabilirlik incelemeleri ve koordinasyon için model oluşturulması, BIM standartlarına ve proje uygulama prosedürlerinin yerine getirilmesi, paydaşların proaktif katılımının sağlanması ve projenin eksiksiz bir şeklide devir teslimin yapılması.
- BIM yöneticisi; BIM sistemi ile yapılacak projelerde, BIM modelini etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve BIM modelinin bir sonraki aşamaya sorunsuz bir şekilde geçişinin sağlanması, bununla birlikte BIM modeli üzerinde diğer paydaşlardan gelen bilgileri güncellemesi ve modeller arasında birlikte çalışabilirliğinin sağlanması, BIM modelinin

uygulanmasının her aşamasında, önceden hazırlanan proje prosedür kılavuzu ve BIM şartnamelerine uygun inşa edilmesi. BIM yöneticisi; BIM konusunda uzmanlaşmış danışman, mimar, mühendis, yüklenici ve diğer şahıslar tarafından seçilir.

BIM sisteminde proje yaşam döngüsü boyunca bu paydaşların projenin hangi bölümlerinde yer alacağı, görev ve sorumlulukları ve diğer paydaşlarla birlikte çalışabilirliği projenin önceden belirlenen teslim sistemine göre değişir (Eastman et al., 2008; Karataş, 2018). Ülkemizde BIM sistemi yeni gelişen bir sistem olduğu için belirlenen herhangi bir proje teslim sistemine göre hangi paydaşın projenin hangi bölümlerinde yer alacağı ya da görev ve sorumluluklarının tanımı ve diğer paydaşlarla işbirliği konusunda zorluklar yaşanmaktadır. Literatürde belirlenen BIM sisteminde karşılaşılan zorlukların bazıları şunlardır (Azhar et al., 2015; Ku & Taiebat, 2011):

- BIM sistemi için standart ve mevzuatın olmaması.
- Telif hakkı ve güvenlik sorunları.
- Farklı aşamalardaki projenin farklı kişiler tarafından sahiplenilmesi.
- BIM konusunda uzman teknik eleman eksikliği.
- Uygulama maliyetinin yüksek olması.
- Yazılımlar ile ilgili sorunlardır.

BIM sisteminde karşılaşılan bu zorluklar neticesinde geleneksel olarak inşa edilen yapılarda da olduğu gibi, BIM sistemi konusunda da işverenlerin zorlukların üstesinden gelebilmeleri için, bu konuda uzman olmaları veya danışmanlık hizmeti almaları gerekmektedir.

3 Yapı Üretiminde Danışmanlık Hizmeti

Yapı üretiminde işverenin inşaat konusunda yeteri kadar teknik bilgi ve tecrübeye sahip olmadığı durumlarda projenin ilerleyebilmesi için işverenin kendisini temsil etmek üzere teknik bilgi ve tecrübeye sahip kişi veya kişilerden destek alması gerekmektedir (Budak, 2016; Haltenhoff, 1999; Öcal, 2014). Bu desteği sağlamak için günümüzde danışmanlık hizmeti veren kişi veya tüzel kişilikler bulunmaktadır. Türk Müşavir Mühendisler ve Mimarlar Birliği (TürkMMMB) danışmanlık hizmetlerini "Mühendislik ve mimarlığın bir veya birkaç dalında tecrübesi, yeterli teorik ve pratik bilgisi olan bilgi ve düşünceye dayalı fikir hizmeti veren kişi veya kuruluş" olarak tanımlar. TürkMMMB'ye göre danışmanların iş alanlarının kapsamı şunlardır (TürkMMMB, 2018):

- Planlama/Değerlendirme,
- Zemin Etüdleri,
- Fizibilite (Olabilirlik) Etütleri,
- Mimarlık-Mühendislik Tasarım İşleri,
- İhale Dokümanlarının Hazırlanması,
- İhale Değerlendirme ve Sözleşme Akdine Yönelik Teknik Yardım Hizmetleri,

- İnşaat Yönetimi,
- Proje Yönetimi,
- İşletmeyi Devreye Alma Danışmanlığı (Commissioning),
- Personelin Teknik Eğitimi,
- Anlaşmazlıkların Giderilmesi.

Yapı üretiminde danışmanın gerekliliği konusunda inşaat projelerinde sözleşme yönetimi adlı kitapta (Öcal, 2014) "işverenin yüklenici ile sözleşmenin imzalanması aşamasına kadar bir danışmandan hizmet alması mutlaka gereklidir" ifadesi yer almaktadır. Ancak işin beklenildiği gibi sonuçlanması için sadece sözleşme aşamasına kadar değil yapı üretiminde tüm aşamalarda danışman desteği almak gerekmektedir. Projenin tüm aşamalarında danışmanın diğer paydaşlarla olan ilişkisi ve görevlerinin kapsamı işverenin danışmandan alacağı hizmetin niteliğine göre ve yapının hangi proje teslim sistemine göre inşa edileceğine göre değişmektedir (Öcal, 2014). Yapı üretiminde danışmanın belli başlı görevleri kısaca şu şekildedir (Budak, 2016; CMAA, 2010; Öcal, 2014):

- Arsa seçimi ve gerekli belgelerin temini.
- Projeyi tasarlayacak mimar ve mühendisin seçimi ve sözleşmelerin hazırlanması.
- Teknik şartnamenin hazırlanması ve uygulanacak sözleşme türünün belirlenmesi.
- Sözleşme tasarısının, ihale şartnamesi ve dosyasının hazırlanması ve ihale aşamasının yönetilmesi.
- Yapım sürecinin yönetimi.
- Sözleşme değişiklikleri ve anlaşmazlıklarının yönetimi.
- Yapının teslim sürecinin yönetilmesidir.

Danışmanlık hizmetlerinde ve inşaat proje yönetiminde gerçekleşecek görevlerin kategorilere ayrılması bu görevlerin daha kolay ve doğru anlaşılması için önemlidir. Bundan dolayı inşaat yönetimi uygulamaları da proje yönetim fonksiyonları adı altında alt kategorilere ayrılmıştır. Proje yönetim fonksiyonları ve tanımları aşağıda açıklanmıştır (CMAA, 2010; Haltenhoff, 1999; McKean, 2011; Muratoğlu, 2015; Sorguç & Kuruoğlu, 2002).

- Proje Yönetimi fonksiyonu; projenin organizasyonunu, inşaat projesi yönetim planının oluşturulması ve onu oluşturan unsurların belirlenmesi, tasarım dokümanlarının incelenmesi, sözleşmeler ve şartnamelerin incelenmesi, toplantıların düzenlenmesi, maliyet ve süre kontrolleri, ihale süreci, şantiyenin kurulması, yönetimi ve mal sahibine yapının teslim edilmesini kapsar. Yani proje yönetimi fonksiyonu genel anlamda inşaat projelerinin yönetimi ve denetimini ana hatlarıyla ortaya koymaktadır.
- Maliyet Yönetimi fonksiyonu; proje ve yapım bütçelerini, maliyet analizleri, keşifler, maliyet kontrolleri, değer analizleri, tekliflerin incelenmesi ve müzakereleri, hakediş çizelgeleri, ek mali talepler ve maliyet raporu gibi uygulamaları kapsar. Yani maliyet yönetimi fonksiyonu işveren ile belirlenen proje bütçesi dahilinde projenin maliyet yönetimi ile birlikte en ekonomik şekilde planlanmasını ve yapımını sağlar.

- Zaman Yönetimi fonksiyonu; işgücünü, malzemeyi, araçları ve parayı verimli bir şekilde kullanmayı amaçlamaktadır. Projenin yaşam döngüsü boyunca planlanması, iş programını ve koordinasyonunu kapsar.
- Kalite Yönetimi fonksiyonu; ilgili kaynak ve işlemleri koordine ederek yönlendiren prosedür ve sistemi planlama, örgütleme, izleme ve kaydetme sürecidir. Kalite yönetimi fonksiyonu, kalite yönetim programı ve planının hazırlanması, işin amacının ve kapsamının belirlenmesi, tasarım prosedürleri, evrak ve kalite kontrolü ve onayı, yapılabilirlik ve değer mühendisliği incelemeleri, kalite yönetim şartnameleri, denetleme ve kalite yönetim raporlarının oluşturulmasını kapsar.
- Sözleşme Yönetimi fonksiyonu; projenin yürürlükte olduğu dönem boyunca üstlendiği yönetimsel görevlere ve tüm yapım sözleşmelerinde gerekli olan raporlamaya açıklık getirmektedir.
- İş Güvenliği Yönetimi fonksiyonu; proje yaşam döngüsü boyunca sağlanan güvenlik yönetimi hizmetlerinin sunulması ile ilgilidir. İş güvenliği yönetimi fonksiyonu, iş güvenliği yönetim programı ve organizasyonunu, acil durum yönetimini, iş güvenliği uygulama ve yaptırımları, iş güvenliği denetimleri ve personele iş güvenliği eğitiminin verilmesini kapsar.
- Bilgi Yönetimi fonksiyonu; projenin sözlü ve tasarımı ile ilgili bilgilerin toplanmasını, belgelendirilmesini, yayılmasını, güvenli tutulmasını ve aktarılmasını kapsar. Proje sorumluluğu amacıyla ve ekip üyelerinin karar alma, proje kontrolünü sağlayan bilgi yönetimi, belirli bir raporlama yapısı ve verimli bir bilgi alma ve depolama sistemi gerektirir.

4 Materyal ve Metot

Bu çalışmada danışmanların BIM sistemindeki görev ve sorumlulukları literatür kapsamında incelenmiştir. Çalışma kapsamının çok geniş olmasından dolayı, bu çalışmada, proje yaşam döngüsü kapsamında sadece yapım aşamasına kadar olan kısım irdelenmiştir. Bu kısım; tasarım öncesi aşaması, tasarım aşaması ve yapım öncesi aşaması olarak tanımlanmıştır.

5 Danışmanlık Hizmetlerinin BIM Sistemi Kapsamındaki Görev ve Sorumlulukları

Geleneksel inşaat projelerinde danışmanlar çeşitli görev ve sorumluluklar üstlenmektedir. Bunlar 3. Bölümde kısaca özetlenmiştir. BIM sistemi ile tasarlanıp inşa edilen projelerde ise danışmanların görev ve sorumlulukları geleneksel projelere göre değişkenlik göstermektedir. Ancak bu konuda çok kısıtlı çalışmalar bulunmaktadır. Bu konuyla alakalı en kapsamlı çalışma CMAA (Construction Management Association of America) tarafından yapılmıştır. Bu nedenle bu çalışmada, öncelikle CMAA tarafından hazırlanan Construction Management Standart of Practice kitabı ve diğer akademik çalışmalar esas alınarak BIM sistemi kapsamında danışmanlık hizmetlerinin görev ve sorumlulukları incelenmiştir. Proje yaşam döngüsünde yapım aşaması öncesine kadar belirlenen görev ve sorumluluklar maddeler halinde açıklanmıştır.

İlk olarak BIM sisteminde danışmanların tasarım öncesi aşamasında görev ve sorumlulukları devamında BIM sisteminde danışmanların tasarım aşamasında görev ve sorumlulukları ve son olarak ise BIM sisteminde danışmanların yapım öncesi aşamasında görev ve sorumlulukları aşağıda ayrı ayrı belirtilmiştir (CMAA, 2010; Deutsch, 2011; Haltenhoff, 1999; Hergunsel, 2011; McKean, 2011; Özorhon, 2018; Yalcinkaya & Arditi, 2013).

BIM Sisteminde Danışmanların Tasarım Öncesi Aşamasında Görev ve Sorumlulukları

- Danışman, proje paydaşları arasında BIM rolleri ve sorumlulukları ile beklentilerin uyuşmasını sağlamak için projedeki BIM sisteminden beklentileri ve BIM ekibinin niteliklerini mümkün olduğunca erken belirlemelidir.
- Danışman; BIM sistemi ile tasarım yapacak tasarım ekibinin seçiminde BIM deneyimi ve yeterliliği konusunda uygun olan tasarım ekiplerini araştırmalı ve proje teklifinde bulunmalıdır.
- Danışman, projenin tüm aşamaları için BIM sistemi ile ilgili prosedürleri ele alan bir kılavuz geliştirmelidir. Proje prosedür kılavuzu BIM sistemi için modelleme kriterleri oluşturacaktır. Böylece model tüm projedeki BIM sisteminin hedefleri için kullanılabilir. BIM prosedürleri teklif ve sözleşme belgeleri ile koordine edilmelidir.
- Danışman, proje boyunca BIM sisteminin kullanımındaki amaç ve hedefleri belirlemek için işveren ile birlikte çalışacaktır.
- Danışman, işvereni BIM süreci hakkında eğitmeli ve uygun kullanımı için desteklemelidir. Ayrıca projeyi etkileyebilecek sonuçların yanı sıra projeyle ilgili BIM teknolojisinin eksiklerini net bir şekilde belirlemelidir.
- Tüm proje için ayrıntılı bir modelin danışman tarafından geliştirilmesi iyi bir yatırım değilse, danışman, projenin her bir bölümünün modellerine özgü projenin başarısını artıracak uygun fonksiyonları açığa çıkararak olumlu yatırım getirisi sağlamalıdır.
- Danışman; tasarım ekibine yönelik sözleşmeyi geliştirmek için işverenin hukuk danışmanı ile birlikte çalışmalıdır. Sözleşme ile BIM sisteminin yapısını ve formatını ele alması gerekmektedir. Bu sözleşme ayrıca, tasarım ekibi tarafından oluşturulan modelin uygunluğu ve BIM sisteminin kullanımı konusunda danışman ve inşaat ekibi de dahil olmak üzere diğer proje ekibi üyeleri tarafından da anlaşılabilecek bir dil ile yazılmalıdır.
- Danışman, BIM sistemi uygulamalarının seçilen teslim sistemine göre önemli ölçüde değiştiği konusunda bilgi sahibi olmalıdır. Ayrıca teslim sistemi bir proje üzerinde BIM sisteminin benimsenmesini etkileyecektir.
- Eğer proje BIM sistemi ile tasarlanmadıysa danışman, BIM araçlarını kullanarak modeli geliştirmeyi ve BIM sistemini kullanmayı düşünmelidir. Buna göre danışman projenin türü ve büyüklüğü, modelin maliyet ve detay seviyesi ve modelden elde edilecek faydalara bağlı olarak; bütçe ve ayrıntılı tahmin, 4D programlama, yapılabilirlik incelemeleri, belirli saha lojistiği ve koordinasyon konularında bir model oluşturabilir.

BIM Sisteminde Danışmanların Tasarım Aşamasında Görev ve Sorumlulukları

- Danışman, BIM standartlarını ve proje üzerindeki uygulama prosedürlerinin daha çok anlaşılabilmesi ve uygunluğunun kabul edilmesi için bir "BIM başlangıç" toplantısı düzenlemelidir.
- Danışman; belge kontrolünden sorumlu olmalıdır ve tüm disiplinlerin, belge dağıtımını ve diğer belge kontrol protokollerini takip etmesini sağlamalıdır. Bu protokol ayrıca BIM modellerine erişme ve revizyon yapma prosedürlerini de tanımlamalıdır.
- Danışman, projeyi toplulukla ve projeden etkilenecek taraflara iletmek üzere, halkla ilişkiler faaliyetlerine yardımcı olmalıdır.
- Proje için oluşturulan BIM hedeflerine bağlı olarak danışman, model tabanlı bütçeleme ve tahmin kullanımını en üst seviyeye çıkarmaya çalışmalıdır. Ayrıca danışman, bu tahminlerin geliştirilmesini sağlamak için model geliştirme kriterlerini tanımlamak üzere tasarım ekibi ile iş birliği yapmalıdır.
- Danışman modelden en iyi şekilde yararlanmak için projenin maliyet yapısını geleneksel bir projeden daha önce geliştirebilir. Bunun sebebi danışman, tasarımı bütçeye uyacak şekilde değiştirerek, model tabanlı bütçe ve tahmin uygulamaları ile BIM sistemini, seçenek analizi ve değer mühendisliği için kullanabilir.
- Danışman, BIM sisteminin görselleştirme özelliğinin tüm avantajlarını kullanarak, böylece işveren ve diğer disiplinler, projelerini sanal olarak görebilecek ve bina inşa edildikten sonra potansiyel değişiklikler en aza indirilmiş olacaktır.
- Çakışma tespiti uygulamaları; tasarımcılar ve danışman tarafından fiziksel çakışmalar, mekânsal kısıtlamalar ve çeşitli disiplinler arasında daha iyi bir koordinasyon sağlamak için gerçekleştirilmelidir.
- Danışman; belge kontrolünden sorumlu olmalıdır ve belge kontrol protokollerinde herhangi bir revizyon tespit edilirse danışman, BIM sistemi prosedür belgesinin güncellenmesini sağlamalıdır.
- Danışman ve tasarım-inşaat ekibi çoklu tasarım projelerinin incelenmesini gerçekleştirmek için BIM modelini kullanmalıdırlar. Bu modelin kullanılması danışman ve tasarım-inşaat ekibinin mekân ve uygulamaları görselleştirmesine, tasarımı optimize etmesine ve uygulamalar hakkında karar verme sürecini kolaylaştırmasına ve hızlandırmasına yardımcı olur.

BIM Sisteminde Danışmanların Yapım Öncesi Aşamasında Görev ve Sorumlulukları

- Danışman; projeyi teklif öncesi veya ön teklif toplantısındaki muhtemel teklif eden ya da teklif verene iletmek ve tekliflerin sunulmasından önce yükleniciler tarafından yorum ve soru üretilmesini kolaylaştırmak için modeli kullanacaktır. Danışman ayrıca bu toplantıda projenin BIM sistemi gerekliliklerini vurgulamalı ve açıklamalıdır.
- Danışman, projeyi genel olarak pazarlamalıdır ve BIM sistemi konusunda tecrübesi ve bilgisi olan nitelikli kuruluşların yapım öncesi aşamasında yer almasını sağlamalıdır.

- Danışman, çeşitli teslim yöntemleri için yapım öncesi aşamasında BIM sisteminin uygulanması hakkında bilgi sahibi olmalıdır. Teklif verme sürecini de kapsayan bu aşamada BIM kullanımı, teslim yöntemlerine göre önemli ölçüde değişecektir.
- BIM modeli; ihale belgelerinin bir parçası olarak projeye dahil edilmelidir. Bu yaklaşım; tüm disiplinlere projeyi tam olarak anlamaları sağlamak için maksimum bilgiyi sağlar. İşveren ve tasarımcı modelleme belgelerini ihale belgelerinin bir parçası olarak projede içermemesini tercih ederse; danışman verilen belgelerin, öncelik sıralamasını uygun bir şekilde belirtmeli ve referans belgeler olarak kullanılmasını sağlamalıdır.
- Danışman; işvereni sözleşme belgelerinde yazılı olan BIM sistemi şartlarına sahip olmaya teşvik etmelidir.
- Danışman; BIM modelinin ve bu modelin parçalarının veya alt modellerinin tümü ve veri tabanlarının uygulanan şartlarını yansıtacak şekilde güncellenmesi ve revize edilmesi gerektiğini doğrulamalıdır. Sözleşme, uygulanan modellerin ve bu modellere ait veri tabanlarının belgelerinin projenin sonunda bir araya getirilmesini ve teslim edilmesini sağlamalıdır.
- Bir tasarla-ihale et-inşa et teslim sistemi sürecindeki yüklenicilerin seçiminde, danışman; yüklenicinin BIM deneyiminin olup olmadığını ön yeterlilik faktörlerinden biri olarak kullanabilir. Teklifler alındıktan ve değerlendirildikten sonra düşük teklif veren ile ön teklif toplantısı düzenlenecektir. Danışman, yüklenicinin sözleşme belgelerinde belirtilen projenin BIM gerekliliklerine uyup uymadığı konusunda yükleniciyi kontrol etmelidir.
- Risk üstlenimli danışman veya tasarla-yap proje teslim sisteminde seçim süreci muhtemelen yazılı tekliflerin ve mülakatların gözden geçirilmesini içerecektir. Danışman; BIM gerekliliklerine uygunluk için teklifi gözden geçirirken merkezi bir rol oynayacaktır. Mülakatlarda danışmanın BIM ile ilgili kuruluşların yaklaşım ve kabiliyetlerini açıkça ifade etmesini ve bu yaklaşım ve kabiliyetlerin seçimdeki faktörlerden biri olarak kabul edilmesini sağlamalıdır.

6 Sonuç ve Öneriler

Günümüzde inşaat projelerinde BIM sisteminin verimli ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi için bu konuda uzman, bilgi ve deneyime sahip teknik elemanlara ihtiyaç vardır. Bu kapsamda BIM konusunda uzman teknik elemanların inşaat projelerinde danışmanlık yapması projenin en optimum şekilde tamamlanmasını sağlayacaktır. Ancak danışmanlık-BIM ekseninde çok az akademik çalışma bulunmaktadır. Bunun için bu çalışmada danışmanın BIM sistemi kapsamındaki görev ve sorumluluklarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada; danışmanın BIM sistemi kapsamındaki görev ve sorumlulukları, proje yaşam döngüsünde yapım aşamasına kadar; tasarım öncesi aşaması, tasarım aşaması ve yapım öncesi aşaması olarak 3 başlık altında incelenmiştir.

Özetle, ilk olarak, tasarım öncesi aşamasında, BIM sistemi ile ilgili prosedürler ve oluşturulan modelin uygunluğu ve BIM sisteminin kullanımı önem arz etmektedir. Ayrıca BIM sistemi uygulamalarının seçilen teslim sistemine göre farklılaştığı ve seçilen teslim sistemine göre bir yol izlenmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Sonra, tasarım aşamasında, BIM modellerine erişme, revizyon yapma prosedürlerinin ve projenin maliyet yapısının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada özellikle danışman ve tasarım-inşaat ekibi BIM modelini etkin kullanabilmeli ve etkin bir koordinasyon kurabilmelidirler. Böylece çakışma analizi ve değer mühendisliği süreçlerinin verimli olabileceği belirtilmektedir. Daha sonra, yapım öncesi aşamasında, BIM sisteminin teslim sistemleriyle uygulanması ve ilişkisi hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Bununla birlikte, bu aşamada, BIM sisteminin sözleşme kapsamında projenin bir parçası olması gerektiği ve bütün bu süreçlerde merkezi bir rol görevinin yerine getirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak; her aşamada BIM sisteminin dahil olduğu projelerde danışmanlık hizmetlerinin görev ve sorumluluklarının BIM sistemi kapsamında oldukça farklılaştığı görülmektedir. Örneğin, BIM sisteminin tam olarak etkin ve verimli bir şekilde yerine getirmek için BIM yöneticisi rolü ortaya çıkmıştır. BIM yöneticisinin danışmanla birlikte bu görev ve sorumlulukları yerine getirebilmesi gerekmektedir. Danışmanın, BIM yöneticisi ile birlikte bu farklılaşan görev ve sorumlulukları yerine getirebilmesi için profesyonel anlamda bilgi, tecrübe ve eğitimin gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle; yapı üretiminde BIM sisteminin entegre olabilmesi için profesyonel danışmanlık hizmetleri önem arz etmektedir. Ancak bu danışmanlık hizmetlerinin verilebilmesi için danışmanlık-BIM sistemi ekseninde eğitilmiş ve uzman kişilerin yetiştirilmesi gerekmektedir. Böylece yeterince bilgi ve deneyim sahibi danışman aynı zamanda BIM yöneticisi rolünü de üstlenebilecektir.

Bu çalışmanın devamı olarak, yapım ve yapım sonrası aşamalarda danışmanın görev ve sorumluluklarının BIM ekseninde hem teorik ve hem de uygulamalı olarak irdelenmesi akademik bir boşluğu dolduracaktır. Ayrıca BIM yöneticisinin farklı teslim sistemleriyle olan ilişkisi ve işveren organizasyonuna nasıl entegre olabileceğinin akademik olarak incelenmesi önerilebilir. Böylece, çalışmanın konu ile ilgili diğer akademik çalışmalara ve pratik uygulamalara katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Referanslar

1. Akkoyunlu, T. (2015). Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
2. Aladag, H., Demirdögen, G., and Isık, Z. (2016). Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry. Procedia Engineering, 161, 174–179. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.520
3. Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2015). Building information modelling (BIM): now and beyond. Construction Economics and Building, 12(4), 15–28. https://doi.org/10.5130/ajceb.v12i4.3032
4. Bergin, M. S. (2013). History of BIM. Erişim adresi http://www.architectureresearchlab.com/arl/2011/08/21/bim-history/%5Cnhttp://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim/

5. Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). International Journal of Project Management, 31(7), 971–980. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001
6. Budak, A. (2016). İnşaat Proje Yönetiminde Danışmanlık ve İşveren Temsilciliği Sisteminin Yeri, Önemi ve Türkiye'de Uygulanabilirliğinin İrdelenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
7. CMAA (2010). Construction Management Standards of Practice, Advancing Professional Construction and Program Management Worldwide, ABD.
8. Deutsch, R. (2011). BIM and Integrated Design Strategies for Architectural Practice. John Wiley & Sons, Inc, Canada.
9. Dilsizoğlu Özperçin, G. (2016). Integrated Project Delivery Method Using BIM to Support of Sustainable Design and Construction, Yildiz Technical University Graduate School of Natural And Applied Sciences, Istanbul.
10. Eastman, C., Liston, K., Sacks, R., & Liston, K. (2008). BIM Handbook Paul Teicholz Rafael Sacks. https://doi.org/2007029306
11. Haltenhoff, C. E. (1999). The CM Contracting System Fundamentals and Practices: Prentice-Hall Inc. USA
12. Hergunsel, M. F. (2011). Benefits of Building Information Modeling for Construction Managers And BIM Based Scheduling. Worcester Polytechnic Institute, ABD.
13. Howard, R., and Björk, B. C. (2008). Building Information Modelling –Experts' Views On Standardisation And Industry Deployment. Advanced Engineering Informatics, 22(2), 271–280.
14. Jung, Y., and Joo, M. (2011). Building information modelling (BIM) framework for practical implementation. Automation in Construction, 20(2), 126–133. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.010
15. Karataş, İ. (2018). Danişmanlik Hizmetlerinde Yapi Bilgi Modelleme (Building Information Modeling-BIM) Sisteminin Uygulanabilirliğinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Universitesi, Osmaniye.
16. Ku, K., & Taiebat, M. (2011). BIM Experiences and Expectations: The Constructors' Perspective. International Journal of Construction Education and Research, 7(3), 175–197. https://doi.org/10.1080/15578771.2010.544155
17. McKean, J. J. (2011). *Becoming a Construction Manager*. New Jersey, ABD: John Wiley & Sons Inc.
18. Muratoğlu, H. (2015). BIM Kullaniminin Tasarim Aşamasindan Kaynaklanan Uyuşmazliklar Üzerine Etkileri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
19. NBIMS. National Institute of Building Sciences, National BIM Standard. (2007). Erişim adresi: https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/02_nbims-us_norway_20130124.pdf
20. Öcal, M. E. (2014). İnşaat Projelerinde Sözleşme Yönetimi. Birsen Yayınevi. İstanbul.
21. Özorhon, B. (2018). Yapi Bilgi Modellemesi Building Information Modelling, Abaküs Yayınevi, İstanbul.
22. Sorguç, D., and Kuruoğlu, M. (2002). İnşaat (Proje) Yönetiminin Hizmet ve Uygulama Standartlar. İstanbul.
23. Thomassen, M. (2011). BIM & Collaboration in the AEC Industry. Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, Aalborg University, Denmark. https://doi.org/10.1038/nn.3935
24. TürkMMMB. (2018). TürkMMMB Tüzüğü.
25. Yalcinkaya, M., & Arditi, D. (2013). Building Information Modeling (BIM) and the Construction Management Body of Knowledge. IFIP International Federation for Information Processing, 619–629. Tarihinde adresinden erişildi https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-41501-2_61.pdf

Adana İli Özelinde Binalarda Enerji Verimliliği Konusundaki Bilinç Düzeyinin Belirlenmesine Yönelik Bir Çalışma

Ecem ÖNEN[1], Abdullah Emre KELEŞ[2], Emel LAPTALI ORAL[3]
[1, 2] Department of Civil Engineering, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Turkey
[3]Department of Civil Engineering, Çukurova University, Turkey
Emails: ecemonen3@gmail.com, aekeles@atu.edu.tr, eoral@cu.edu.tr

Özet

Tüm dünyada binalarda enerji tüketimini azaltma yönünde çalışmalar yapılmakta ve Türkiye de bu ülkeler arasında yer almaktadır. 2008 yılında Resmi Gazete' de yayınlanan "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nce tanıtılan "Enerji Kimlik Belgesi" ile binaların enerji tüketimlerini azaltmak amaçlanmıştır. Çalışmanın amacı enerji kimlik belgeli binalarla enerji kimlik belgesi bulunmayan mevcut binalarda ikamet eden kişilerin yeşil bina, sürdürülebilirlik, enerji kimlik belgesi vb. konularda ne kadar bilgi sahibi olduğunu ölçebilmek olmuştur. Çalışma Adana ili özelinde yapılmış olup enerji kimlik belgeli ve belgesiz binalardan son kat, ara kat ve giriş katı daireleri seçilmiştir. Kişilerin tüketilen enerji ile ilgili konulardaki düşüncelerini belirleyebilmek için anket soruları hazırlanmıştır. Anket, belirlenen dairelerle yüz yüze görüşülerek uygulanmıştır. Analiz kısmında Veri Madenciliği algoritmalarını bünyesinde barındıran WEKA programı kullanılmış olup sonuçlar elde edilmiştir.

Keyword(s): Enerji kimlik belgesi, sürdürülebilirlik, yeşil bina, birliktelik kuralları.

Abstract

Researches have been conducted to decrease the energy consumption of buildings around the world and Turkey is one of the included countries among them. "Energy Performance on Buildings Regulation, which was published in the Official Gazette in 2008, was submitted to the" Energy Identity Certificate' and this certificate was aimed at reducing energy consumption. The aim of the study is to measure how much people have knowledge about green building, sustainability, energy identity document, etc. in the buildings which have energy identity certificate and those who do not have energy identity certificate. The study was carried out in the province of Adana and the last floor, intermediate floor, and entrance floor apartments were selected from the buildings with and without energy certificate. Questionnaire questions were prepared in order to determine the thoughts of the people on the energy-related subjects. The survey was conducted by face-to-face interviews with the designated departments. In the analysis section, WEKA program which includes Data Mining algorithms have been used and results have been obtained.

1. Giriş

İnşaat sektörü karbon ayak izi artışında lider konumdadır. Türkiye'nin karbon salınımı ise %80 oranlarına ulaşmaktadır. Karbon salınımı ve benzeri faktörlerle iklimsel değişikliğe en büyük katkıyı inşaat sektörü sağlamaktadır [1]. Bu durumun önüne geçebilmek için ise

çevresel sürdürülebilirlik kapsamı altında bazı değişiklikler gerekmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik doğada olan ve kendini yenileyebilecek kaynakları kullanarak yaşamın sürdürülebilmesidir. İçinde bulunduğumuz inşaat sektörü açısından sürdürülebilirlik konusu ele alınırsa kaynakları en az biçimde tüketen, çevresiyle ve iklimiyle uyumlu, insan sağlığına zarar vermeyen bina sürdürülebilir inşaat diyebiliriz [2].

Tanımlanan bu kavram 'Yeşil Binalar' olarak adlandırılmaktadır. Ancak yeşil binalar sadece bunlardan ibaret değildir. Atık yönetimi, su kullanımını azaltılması ve yönetilmesi, iç hava kalitesinin artırılması gibi her açıdan çevreye duyarlı ve insan sağlığı için olumlu etkileri olan bir bina tipidir. Yeşil binalar olarak hayatımıza giren sürdürülebilirlik, sektöre farklı bir bakış açısı getirmiştir. Bu bina türlerinin nasıl yapılacağına dair ise tüm dünyada sertifika programları geliştirilmiştir. Dünyada en çok bilinen sertifikalardan örnek verilirse; Amerika Birleşik Devletleri'nde LEED (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik), Birleşik Krallık 'ta BREEAM (Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Yöntemi), Türkiye'de ise ÇEDBİK'in (Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği) hazırladığı B.E.S.T. Konut Sertifikası gösterilebilir [3].

1.1.Yasal Gelişmeler

Bu gelişmelerin dışında tüm dünyada enerji verimliliği üzerine yapılan çalışmalar kanunlar ile devletler tarafından desteklenmiştir. 2012'de enerji verimliliği üzerine Avrupa Birliği bir direktif hazırlamıştır. Direktifte bütün Avrupa Birliği ülkelerinin 2020'ye kadar %20 oranında bir enerji verimliliğine ulaşmasını talep eden bağlayıcı maddeler bulunmakta ve bu enerji verimliliği üretimin başından son aşamasına kadar olması gerektiği belirtilmektedir. 30 Kasım 2016 tarihinde Avrupa Komisyon'u enerji verimliliği direktifine bir güncelleme yapılmasını talep etmiş ve 2030'a kadar verimliliğin %30'a kadar çıkmasını ve bu taleplerin karşılandığını kontrol eden güncellemelerin yapılmasını önermiştir [4].

Dünya çapında yaşanan bu gelişmeler içinde zamanla Türkiye de yer almaya başlamış ve ülke çapında farkındalık yaratılmaya çalışmıştır. Türkiye Birleşmiş milletlerin 1992' de resmi olarak imzaya açtığı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesinin hem Ek-1 hem de Ek-2 listesinde yer almıştır. Diğer bir ifadeyle ülkemiz; hem tarihsel sorumluluk hem de maddi sorumluluk gereği bu listede yer almayı tercih etmiştir. Ancak Türkiye 1995'ten 2000 yılına kadar gerçekleştirilen taraflar konferanslarında gelişmekte olan ülke olması nedeniyle bu listelerden çıkmak istemiştir. 2000 yılında Ek-2 listesinden çıkıp, Ek-1 'de özel şartlara sahip ülke listesinde yer almamız için öneri sunulmuştur. 2001' de Marakeş' te yapılan taraflar konferansında şartlar kabul edilmiş ve 2004 yılında da sözleşmeye katılan 189. ülke olmuştur [5, 6].

Türkiye'nin resmi olarak sözleşmeye katılması ile Türkiye' de sürdürülebilirlik alanında adımlar atılmaya başlanmıştır. Bu çerçevede ülkemiz de, 18/04/2007 tarihli 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu' nu çıkartmıştır. Madde 1'de bu kanunun amacı 'Enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında

verimliliğin artırılması' olarak açıklanmıştır [7]. Kanunun 3.maddesinin 1.fıkrasının (i) bendinde enerji kimlik belgesi şu şekilde tanımlanmıştır:

"Enerji kimlik belgesi: Asgarî olarak binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içeren belge" [7]. Çıkartılan bu kanuna bağlı olarak 05/12/2008 tarihinde 'Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği' çıkartılmıştır. Çıkartılan bu yönetmelikte kanunda kısaca açıklanan enerji kimlik belgesi detaylıca açıklanmıştır [8].

1.2. Enerji Kimlik Belgesi

2008 yılında çıkartılan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nin 4. maddenin birinci fıkrasının (i) bendinde enerji kimlik belgesi, asgari olarak binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri ve ısıtma ve/veya soğutma sistemlerinin verimi ile ilgili bilgileri içeren belge olarak tanımlanmıştır [8].

Klimalar, çamaşır makineleri, buzdolapları gibi elektrikli ürünlerin üzerlerinde enerji performans sınıflandırılmaları yapılmaktadır. Bu sınıflandırmalar A'dan G'ye kadar yapılmıştır. A sınıfı en verimli seviyeyi belirtirken, G sınıfı en düşük verimli seviyeyi belirtmektedir. Binalarda bu sınıflandırmayı gösteren belgeye "*Enerji Kimlik Belgesi"* denmektedir [9].

Enerji kimlik belgesi verilirken binalar; mevcut ve yeni binalar olmak üzere ikiye ayrılmıştır. "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" uygulamaları için bu yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarih olan 05.12.2009 tarihinden sonra yapı ruhsatı alan binalar yeni bina, öncesinde yapı ruhsatı alan binalar mevcut bina olarak değerlendirilir [8].

Yönetmelikte, yeni yapılacak veya yapılmakta olan binaların enerji kimlik belgesi sınıfı en düşük C sınıfı olarak belirlenmiştir. C sınıfından daha düşük seviyede çıkan yeni yapılacak veya yapılmakta olan binalar kanunen iskân ruhsatı alamamaktadır. Mevcut binalar için enerji kimlik belgesi asgari sınıflandırma seviyesi koşulu yoktur. Mevcut binalar; hâlihazırdaki ısı yalıtımı, pencerelerin ısı yalıtımı, ısıtma-soğutma ekipmanları verimi, aydınlatma armatürleri verimliliği gibi parametrelere bağlı olarak A sınıfından G sınıfına kadar her sınıf enerji kimlik belgesi alabilmektedir [9].

1.3. Anket Çalışması ve İçeriği

Çalışma, Adana ilinde ikamet edenlerin enerji kimlik belgesi başta olmak üzere enerji ve sürdürülebilir inşaat konuları hakkında farkındalık düzeylerinin ölçülmesini amaçlamıştır. Yapılan bu çalışma kapsamında enerji kimlik belgeli ve belgesiz binalarda ikamet eden daire sakinlerine toplamda 252 adet anket yapılmıştır. Anketler daire sakinleriyle yüz yüze görüşülerek yapılmıştır. Yapılan bu anketlerden 4 tanesi kendi içinde tutarsız olması nedeniyle analiz dışı bırakılmıştır.

Anket cevapları 1, 2, 3 olarak Excel programına girilmiş olup, sırasıyla Evet, Hayır, Kararsızım/Fikrim yok cevaplarını temsil etmektedir. Bu ön hazırlık aşaması tüm anket sorularına verilen cevaplar uyarınca tek tek hazırlanmış olup ardından arff formatına çevrilerek WEKA programında analize için hazır hale getirilmiştir.

2. Çalışmanın Metodolojisi

Bu çalışmada, sınıflandırma aşamaları için WEKA yazılımı kullanılmıştır. WEKA [10], "*W*aikato *E*nvironment for *K*nowledge *A*nalysis" kelimelerinin kısaltılmasıdır. Yeni Zelanda Waikato Üniversitesi'nde geliştirilen Java tabanlı bir veri madenciliği yazılımıdır. Oluşturulan veri kümeleri üzerinde; önişleme, sınıflandırma, kümeleme, birliktelik kuralı çıkarımları, özellik seçimi ve görselleştirme işlemlerini bünyesinde barındırmaktadır. WEKA arff (*A*ttribute *R*elationship *F*ile *F*ormat) dosya formatı ile çalışan bir makine öğrenme yazılımdır. Bu dosya formatı yukarıda sayılan işlemlerin yapılabilmesi adına özel olarak tasarlanmış, metin yapısında tutulan bir dosya formatıdır [11].

Veri madenciliğinin en büyük problemlerinden biri büyük oranda olan veri kümeleri ve bunların analizidir. Büyük veri kümelerinin analizinde kullanılan WEKA açık kaynak kodlu bir yazılımdır ve kolay kullanılan bir ara yüze sahiptir. WEKA programı 20'nin üzerinde farklı kural ve fonksiyon sunmaktadır [12].

WEKA programının ilk kullanım amacı tarımsal verilerin analiziyken, zamanla makine öğrenme, eğitim gibi alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır [10]. WEKA programının kullandığı bu çalışmaya benzer bir örnek, 2018 yılında Tayvan'da yapılmıştır. Yapılan anket çalışması ile Tayvan'daki marketlerin enerji tüketimlerini ve bunu etkileyen faktörler incelenmiştir. Elde edilen anket verilerinin ayıklanması, sınıflandırılması ve analizi WEKA programı kullanılarak yapılmıştır. Sınıflandırma, kümeleme ve regresyon yöntemleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir [13].

Veri tabanlarındaki veriler kümesinin, bir başka veri kümesi ile ilişki bağlantısını açıklayan analizi birliktelik kuralları oluşturarak çözümlenebilir. Birliktelik kuralları basit bir şekilde açıklanırsa bir elektronik mağazasından alışverişi yapan müşteriler ve aldıkları farklı türden veri kümelerini oluşturur. Oluşturulan bu kümelerin bağlantısı birliktelik kuralları ile şöyle açıklanabilir; yaşı 20-30 arasında olan, cinsiyeti de erkek olan müşteriler LCD televizyon alır. İki farklı veri kümesi arasındaki bağlantıyla müşterinin alabileceği ürünü belirtmesi birliktelik analizi ile çözümlenir [14].

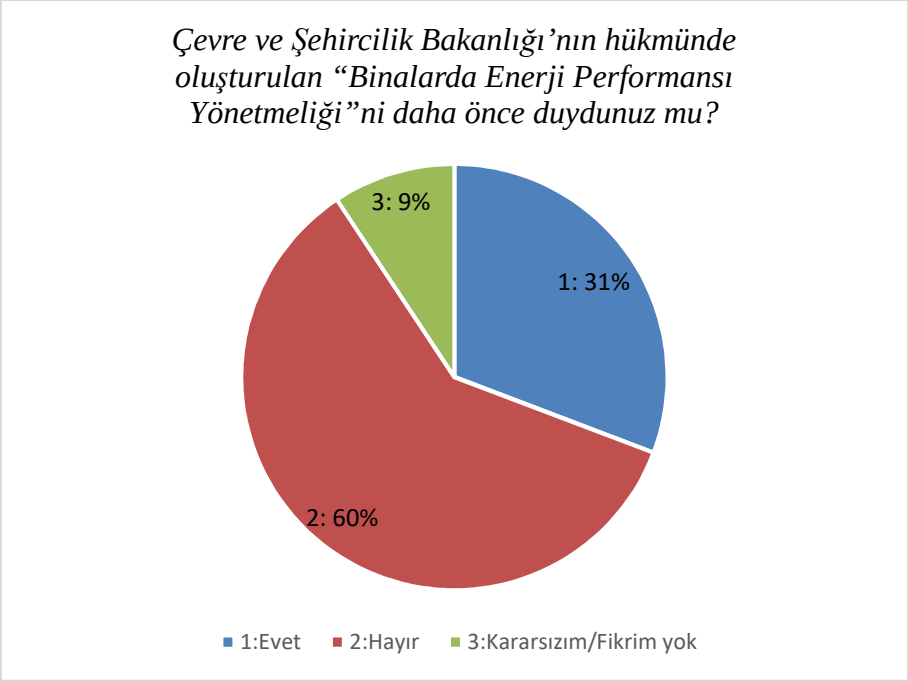
Birliktelik kuralları çıkartılırken en çok kullanılan algoritma Apriori algoritmasıdır. Geniş veri kümelerinin analizinde kullanılan bir veri madenciliği algoritmasıdır. Bu algoritmanın genelde marketlerde bulunan ürünler arasındaki ilişkiyi belirlemede kullanıldığı görülmektedir. Analiz ile örneğin A ürününü ve B ürününü alan kişi C ürününü de mutlaka alır, gibi sonuçlara ulaşılmaktadır [14].

3. Bulgular

3.1. Grafiksel Bulgular

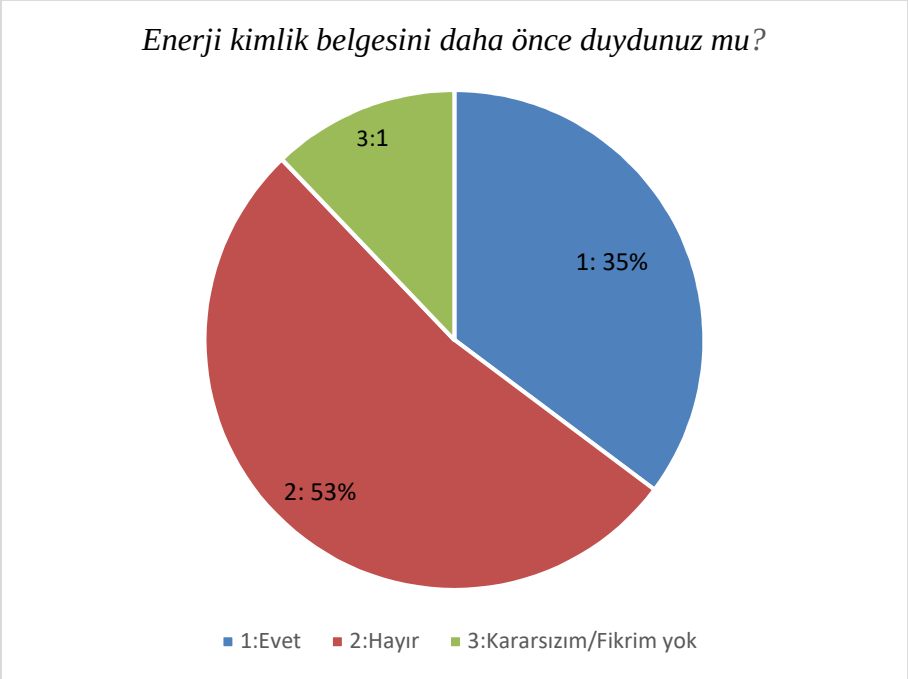
Bu bölümde çalışmada kişilere cevaplamaları için yöneltilen sorulardan ilk üçüne verilen yanıtlar aşağıda sunulmaktadır.

Yapılan ankette ilk olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın yayınladığı "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ni daha önce duydunuz mu?" sorusunun yanıtı aranmıştır. Bu soruya verilen cevaplar incelendiğinde, %31'lik kısım bu soruya evet cevabını verirken, %60'lık kısım hiç duymadığını belirterek hayır cevabını vermiştir. %9'luk bir kısım ise kararsızım/fikrim yok cevabını vermiştir. İlgili grafik, Şekil 1'de paylaşılmaktadır.



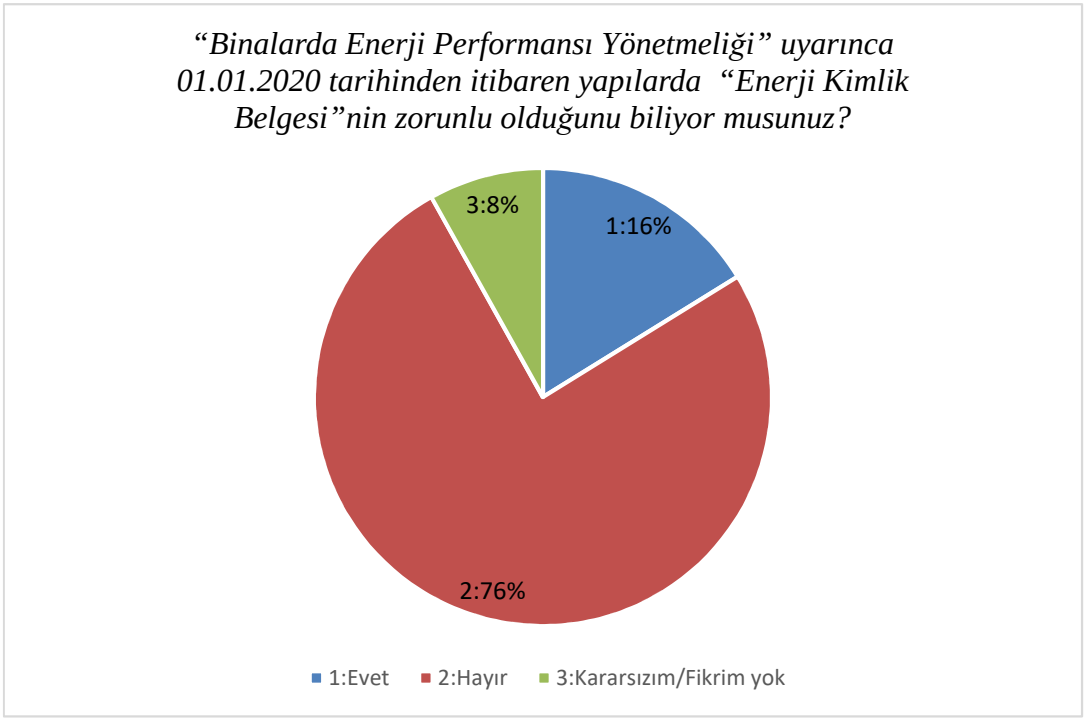
Şekil 1. İlgili Yönetmelikten Haberdar Olup/Olmama Durumu Grafiği

Bir diğer soru olan enerji kimlik belgesini daha önce duyup duymadıkları sorulduğunda %53 oranında hayır, %35 oranında evet %12 oranında da kararsızım/fikrim yok sonucunun çıktığı görülmüştür. İlgili grafik, Şekil 2'de paylaşılmaktadır.



Şekil 2. Enerji Kimlik Belgesi kavramından Haberdar Olup/Olmama Durumu Grafiği

"01.01.2020 tarihinden itibaren yapılarda Enerji Kimlik Belgesi'nin zorunlu olup olmadığına dair" soruya ankete katılanların %76'sı hayır cevabını vermiştir. Bu soruyu katılımcıların %16'sı evet, %8'lik kısmı kararsızım şeklinde yanıtlamıştır. İlgili grafik, Şekil 3'te paylaşılmaktadır.



Şekil 3. Zorunluluktan Haberdar Olup/Olmama Durumu Grafiği

Enerji tasarruflu, çevreye en az zarar veren, geri dönüştürülebilir, insan sağlığına zarar vermeyen malzemelerle inşa edilen binaya yeşil bina denmektedir. Tanımlanan bina türü hakkında bilginiz var mı? Sorusuna %34'lük kısım evet derken %55'lik kısım hayır cevabını vermiştir. %11 oranında da kararsızım cevabı gelmiştir.

3.2. WEKA Program Bulguları

Bu bölümde WEKA programı ile nitelik olarak "İkamet edilen binada Enerji Kimlik Belgesi bulunup/bulunmadığı" sorusu seçilerek diğer niteliklerin etkisinin sonuçları araştırılmıştır. İlgili sonuçlar aşağıda paylaşılmaktadır.

Tablo 1. WEKA Birliktelik Kuralları Sonuçları

Kural No	Birliktelik Kuralı	Güven Değeri
1	EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2 Yapı satış yasağı=2, Mevzuat duyumu=2 ⇒ EKB duyumu=2	0.91
2	EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2, Yapı satış yasağı=2, Mevzuat duyum yeri=duyum yeri yok, Mevzuat duyumu=2, Firma duyum yeri=duyum yeri yok, Dernek ismi=yok ⇒ EKB duyumu=2	0.91
3	EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2, Mevzuat duyumu=2, Yeşil bina dernek=2 ⇒ EKB duyumu=2	0.9
4	Tasarruflu ampul=1, EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2, Mevzuat duyumu=2 ⇒ EKB duyumu=2	0.89
5	EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2, Mevzuat duyumu=2, Firma bilgisi=2 ⇒ EKB duyumu=2	0.89
6	Tasarruf=1, EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Mevzuat duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2, Yeşil bina dernek=2 ⇒ EKB duyumu=2	0.88
7	Yönetmelik duyum yeri=duyum yeri yok, EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2, Mevzuat duyumu=2 ⇒ EKB duyumu=2	0.88
8	EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2, Yapı satış yasağı=2, Mevzuat duyum yeri=duyum yeri yok, Yeşil bina dernek=2 ⇒ EKB duyumu=2	0.88
9	Tasarruf=1, EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Mevzuat duyumu=2, Yeşil bina dernek=2, Dernek ismi=yok ⇒ EKB duyumu=2	0.88
10	Tasarruflu ampul=1, EKB duyum yeri=duyum yeri yok, Mevzuat duyum yeri=duyum yeri yok, Kimlik zorunluluğu=2, Yeşil bina dernek=2 ⇒ EKB duyumu=2	0.87

WEKA programı kullanılarak yapılan analizin sonuçları Tablo 1 ‘de verilmektedir. Her kuralın birliktelik güven değerleri aynı çizelgede görülmektedir. Elde edilen bu bulguların yorumlanması ise aşağıdaki Tablo 2’de sunulmaktadır.

Tablo 2. Birliktelik Kurallarının Yorumlanması

Kural No	Birliktelik Kuralları	Güven Değeri
1	Enerji mevzuatını, yapılarda kimlik belgesinin zorunlu olduğunu, kimlik belgesiz satış yasağının olduğunu duymayanlar enerji kimlik belgesini de bilmediklerini ifade etmektedir.	0.91
2	Enerji mevzuatını hiç duymamış, yapı satış yasağını, yapılarda kimlik zorunluluğunu, enerji danışmanlık firmalarını ve yeşil binalarla ilgili çalışan dernekleri bilmeyenlerin, enerji kimlik belgesini de bilmediği görülmektedir.	0.91
3	Yeşil binalarla ilgili çalışan dernekler olduğunu bilmeyenler, enerji mevzuatını ve yapılarda kimlik belgesinin zorunluğu olduğunu duymayanlar, enerji kimlik belgesini de duymadıkları belirtilmektedir.	0.9
4	Enerji mevzuatını ve kimliğin zorunlu olduğunu bilmeyen ancak tasarruflu ampul kullanan daire sakinleri enerji kimlik belgesini bilmediklerini ifade etmektedir.	0.89
5	Enerji danışmanlık firmalarını, enerji mevzuatını duymamış ve yapılarda kimlik belgesinin zorunlu olduğunu bilmeyen daire sakinleri, enerji kimlik belgesini de bilmedikleri görülmektedir.	0.89
6	Enerji mevzuatını, enerji kimlik belgesinin zorunlu oluşunu ve yeşil binalarla ilgili çalışan dernekler olduğunu duymamış ancak tasarruflu elektrikli ürünler kullanan daire sakinleri enerji kimlik belgesinden haberdar değillerdir.	0.88
7	Binalarda enerji performansı yönetmeliğini, enerji mevzuatını ve yapılarda enerji kimlik belgesinin zorunlu oluşunu bilmeyenler, enerji kimlik belgesini de duymamıştır.	0.88
8	Yeşil binalarla ilgili çalışan dernekleri, enerji mevzuatını, yapılarda enerji kimlik belgesiz satış yasağının oluşu ve kimlik belgesinin zorunluğunu bilmeyenler ve belirtilen konuları duymamış olan daire sakinlerinin enerji kimlik belgesini de bilmediği ortaya çıkmıştır.	0.88
9	Enerji mevzuatı ve yeşil binalarla ilgili çalışan derneklerle ilgili bilgisi olmayan ancak evlerinde tasarruflu elektrikli ürün kullanan daire sakinlerinin enerji kimlik belgesinden haberdar olmadıkları tespit edilmiştir.	0.88
10	Yapılarda enerji kimlik belgesinin zorunlu oluşunu, enerji mevzuatını ve yeşil binalarla ilgili çalışan dernekler olduğunu duymayan ancak evlerinde tasarruflu ampul kullanan daire sakinlerinin enerji kimlik belgesini bilmediği görülmektedir.	0.87

Tablo 2 incelendiği zaman Enerji Mevzuatı ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği bireyler tarafından pek bilinmemektedir. Aynı zamanda, bu mevzuat ve yönetmelik kapsamında gelen enerji kimlik belgesi, kimlik belgesinin 01.01.2020 tarihinden itibaren zorunlu oluşu ve enerji kimlik belgesi olmayan binalarda satış ve kiralanmanın kanunen yasak olacağını daire sakinlerinin büyük çoğunluğunun bilmediği görülmektedir. Binalara enerji yönetimi bakımından yardımcı olan enerji danışmanlık firmalarının ve yeşil binalarla ilgili çalışmalar yürüten derneklerin de anket yapılan daire sakinleri tarafınca duyulmadığı ifade edilmiştir.

4. Sonuçlar

Çalışma ile Adana ilinde ikamet edenlerin enerji verimliliği ve benzeri konulardaki farkındalıkları tespit edilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışma Adana ilinin tamamını kapsamamaktadır, anketler pilot olarak seçilen enerji kimlik belgeli ve belgesiz konutlarda ikamet eden kişilerle yüz yüze yapılmıştır. Ancak bu çalışmanın sonuçlarının gelecek araştırmalar için örnek oluşturabilecektir. Bu açıdan da çalışmanın literatüre katkısı olduğu düşünülmektedir.

Grafik 1 incelendiğinde, anketi cevaplayan kişilerin %60'lık bir kısmının Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ni daha önce duymadıkları sonucu ortaya çıkmıştır. Grafik 2 ve 3'te de benzer bir durum söz konusudur. Bu da, çalışma konusu hakkında anket yapılan daire sakinlerinin büyük bir çoğunluğunun ilgili hususta yeterince bilinç oluşmadığı sonucunu doğurmaktadır.

Yine çalışmada, Enerji Mevzuatı ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinin bireyler tarafından pek bilinmediği anlaşılmaktadır. Daire sakinlerinin büyük çoğunluğunun binalarda enerji kimlik belgesinin zorunlu olduğunu ve enerji kimlik belgesi olmayan binalarda satış ve kiralanmanın kanunen yasak olacağını bilmedikleri görülmektedir. İlave olarak bu konularda hizmet sunan danışmanlık firmalarının ve derneklerin de katılımcılar tarafından bilinmediği anlaşılmıştır.

Yenilenebilir enerji, enerji tasarrufu, zararlı gazların salınımı, enerji kimlik belgesinin yararları gibi hususlarda toplumsal farkındalık artırımı için; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Çevre Şehircilik İl Müdürlükleri gibi kurumlarca muhtarlar ve apartman yöneticileri ile başlayarak çeşitli periyotlarla bilgilendirme toplantıları yapılmasının katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca; yazılı, görsel basında ve sosyal medyada daha sık reklam vb. çalışmalarla bahsi geçen konuların bireylere ve gelecek nesillere sağlayabileceği faydalar ilgi çekici biçimde aktarılarak toplumsal bilinç oluşturulabilir. İlkokuldan başlayarak üniversiteye kadar öğrencilere Milli Eğitim Bakanlığı, ÇEDBİK gibi kurumların yeşil bina, yenilenebilir enerji, enerji tasarrufu gibi konularda seminerler düzenleyerek bilgilendirme yapılmasının da yararlı olacağı düşünülmektedir. Bunların dışında iş yerlerinde de belli zamanlarda bilgilendirme seminerleri düzenlenerek çalışan bireylerin bilgilendirilmesi bu sayede yapılabilecektir.

5. Kaynakça

1. ONAT, N. C. (2018). Türkiye İnşaat Sektörünün Global Karbon Ayak İzi Analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi(22), 529-545.
2. RSMeans Data(2010), Green Building: Project Planning & Cost Estimating(3.basım), New Jersey, Wiley Publishing
3. ANBARCI, M.GİRAN, Ö. & DEMİR, İ. H. (2012). Uluslararası Yeşil Bina Sertifika Sistemleri ile Türkiye'deki Bina Enerji Verimliliği Uygulaması. *e-journal of New York Sciences Academy*(7).

4. https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive
5. KÖSE, İ. (2018). İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye'nin Paris Anlaşması'nın İmza Süreci. Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi, 55-81.
6. http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Iklim-Degisikligi-ve-Uluslararasi-Muzakereler
7. 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu (2007), T.C. Resmi Gazete, 26510, 18.04.2007
8. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2008), T.C. Resmî Gazete, 27075, 05.12.2008
9. http://www.bep.gov.tr
10. GARNER, S. R. (1995). Weka: The Waikato Environment for Knowledge Analysis. Proc New Zealand Computer Science Research Students Conference, p 57-64.
11. KELEŞ A.E. KAYA KELEŞ M. (2017). Investigation of the Productivity of Construction Employees in Adana. IAREC 2017, Turkey.
12. Aksu, G. & Doğan, N. (2010). An analysis program used in data mining: WEKA. Eğitimde ve Psikolojide Ölçme ve Değerlendirme Dergisi, 10(1), 80-95. DOI: 10.21031/epod.399832
13. KUO, C.-F. J.LİN, C.-H. & LEE, M.-H. (2018). Analyze the energy consumption characteristics and affecting factors of Taiwan's convenience stores-using the big data mining approach. *Energy and Buildings*(168), 120-136. doi:10.1016/j.enbuild.2018.03.021
14. EKER, M. E. OKTAŞ, R.& KAYHAN, G. Apriori Algoritması ve Türkiye'deki Örnek Uygulamaları. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, Samsun.

The Relationship between Labor Costs and Macroeconomic Indicators in Turkish Construction Industry (Oral)

Serkan Aydınlı [1]

[1]Department of Civil Engineering, Çukurova University, Turkey
Email: saydinli@cu.edu.tr

Abstract

The construction industry is one of the major industries in economy and manpower is the one of important inputs in construction industry. Lack of sufficient human resources planning and cost analysis leads to cost overruns of project. Thus, contractors should dwell on labor cost. In this study, the relationship between major economic indicators and labor cost index is examined. The relationships between factors were revealed by correlation analysis and graphical analysis methods. The discovery of relationship between the economy of the country and the labor costs helps the contractors financial planning. As a result, there is a relationship between consumer price index, exchange rates, production index, unemployment rate and labor cost index.

Keywords: Economic indicators, Labor cost, Construction industry.

1. Introduction

Manpower performance is one of the critical inputs for construction project success. In addition, it is one of the major cost items. Changes in labor cost and wage policies directly affect project success and cost overruns (Frimpong et. al, 2003; Kaming et. al, 1997). There are many macro and micro level factors affecting the wage policies of firms (Cacciatore, 2014). As known, wages are, in a sense, the equivalent of the worker's living expenses. Thus, inflation rate is one of the important macroeconomic indicators that directly affect labor costs. Increases in wages are generally based on the inflation rate which showing the increase in the cost of living. Other factors affecting labor wages are production and employment indexes. Especially unskilled workers are affected by manpower supply-demand balance. The increase in the production index and the decrease in the unemployment rate lead to an increase in the demand for the labor force. In this study, the effects of macroeconomic factors on labor costs in construction sector were investigated. The aim of this study is to discover the relationships of the changes in labor costs with the macroeconomic indicators and provide information to help the contractor firms to develop their wage policies.

2. Literature Review

There are many studies investigating the wage dynamics in the literature. First dynamic influencing wage growth is the inflation rate. Nickell and Quintini (2002) investigated

macroeconomic performance of the UK labor market and they observed that inflation rate drives workers wage growth. Hibbs and Locking (1996) refer that nominal wages increase with consumer price inflation. Klau and Mittelstadt (1986) claim that especially in OECD countries workers' wages are depended on inflation rate. Perry et al. (1970) studied relationships between inflation, unemployment rate and wage. They found out negative correlation between inflation and unemployment rate and positive relationship between wages and prices.

Another factor influencing unskilled labor wage is supply-demand balance caused by production and employment indexes. Literature findings claim that especially unskilled workers' wages increase by production and employment index. Klau and Mittelstadt (1986) submit that employment rate is highly correlated with wage level. Gregory (1986) created a regression model explained the wage raises. Model showed that wage raises and unemployment rate have negative relationship.

Early studies show that there is a positive relationship between inflation rate and wage level of labor force and there is a negative relationship between unemployment rate and wage level of labor force.

3. Material and Method

The material of this study is composed of data obtained from TURKSTAT and the Central Bank of the Republic of Turkey. The data covers the range of 2005-2017. Variables included in the study are labor cost index, consumer price index, employment index, real effective exchange rate, dollar exchange rate, construction production index and unemployment rate (Table 1).

Table 1 – Variables included in analysis

Variable	Definition	Source
Labor Cost Index (LCI)	Explains the cost index of labor in construction works. Published quarterly.	TURKSTAT
Consumer Price Index (CPI)	Index that measures the change in prices.	TURKSTAT
Real Effective Exchange Rate (REER)	The value of the Turkish Lira according to the currencies of the countries that have a significant share in the foreign trade.	CBRT
American Dollar Exchange Rate (ADER)	The value of the American Dollar according to Turkish Lira	CBRT
Construction Production Index (COPI)	Defines the changes in the total production in the construction sector.	TURKSTAT
Construction Employment Index (CEI)	Defines the changes in the total employment rate in the construction sector.	TURKSTAT
Unemployment Rate (UR)	Defines the changes in the total unemployment rate.	TURKSTAT

In the study, the relationships between the variables were examined by graphical analysis and correlation analysis. The graphs made it possible to determine the sudden

movements of the variables in the time period. Correlation analysis provided the determination of the relationship between the variables.

4. Findings and Discussion

4.1. Labor Cost Index, Consumer Price Index and Exchange Rates

Consumer price index represents increase in prices of goods and services. Exchange rates are important factor for determining the prices of imported goods and influence many prices in economy. In this study, the relationship between labor cost, consumer price index and exchange rate is examined by graph analyzing and correlation analysis. Employee wage increases in public and private sectors mostly based on inflation rate. Babecký et al. (2008) observed that inflation and wage increase rate are highly correlated and wage increases are determined by inflation rate. Figure 1 shows that LCI and CPI are highly correlated. Correlation coefficient between two variables is 0,991. It shows that labor wages are highly determined by consumer price index.

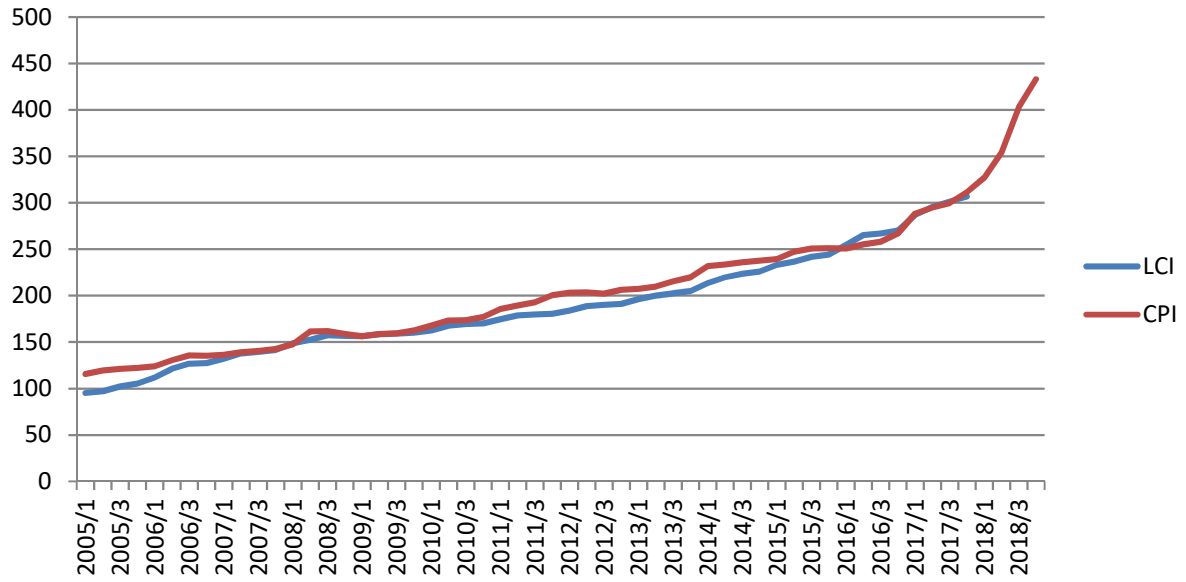


Figure 2 – LCI and CPI 2005-2017

Other major macroeconomic indicators, real effective exchange rate and American dollar exchange rate, are very influential to producer and consumer price indexes in countries where import-export volume is high. Figure 2 shows that exchange rate indexes affecting consumer prices are also related to labor cost index. Correlation between LCI and REER is -0,937 and it shows that there is a strong relationship between two variables. Figure 2 also show that the sudden movements in the dollar exchange rate cause small reactions in the LCI.

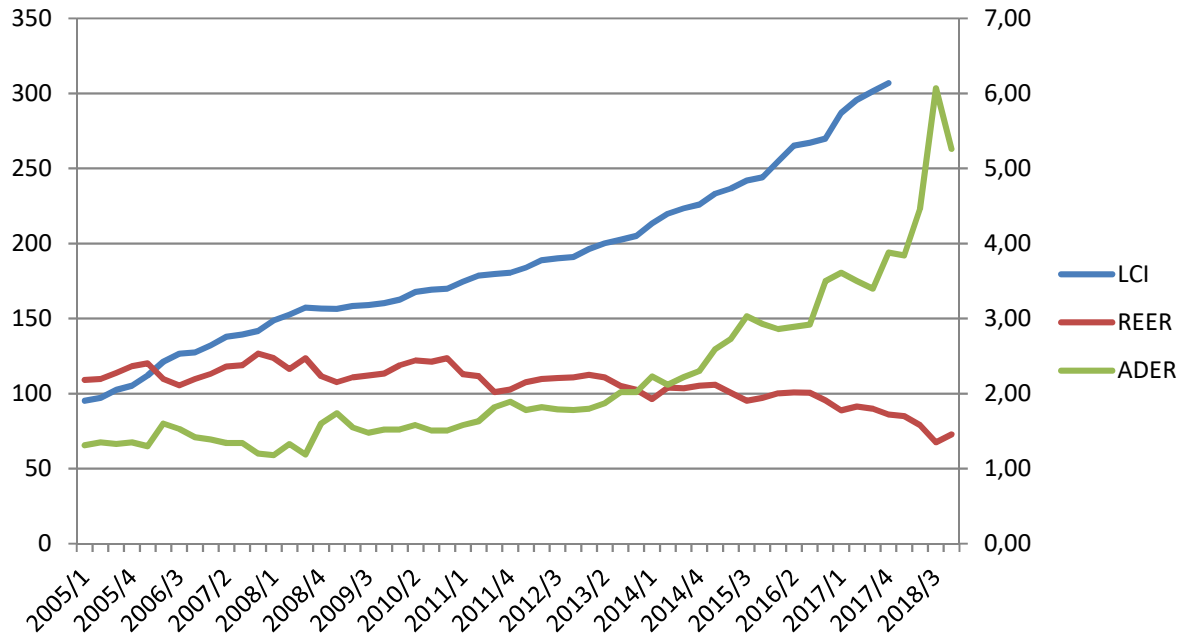


Figure 2 – LCI, REER and ADER 2005-2017

4.2. Labor Cost Index, Production and Unemployment Index

Another factor determining the price in the economy is the supply-demand balance. This also applies to workers' wages. The increase in production increases the need for the workforce and increases especially the wages of skilled workers. Figure 3 shows that there is a relationship between COPI and LCI. Besides, the correlation coefficient is 0,706. Although the relationship is not seen as a strong correlation, it is seen that the sudden decrease in the production index between 2008-2009 caused the end of upward trend in LCI.

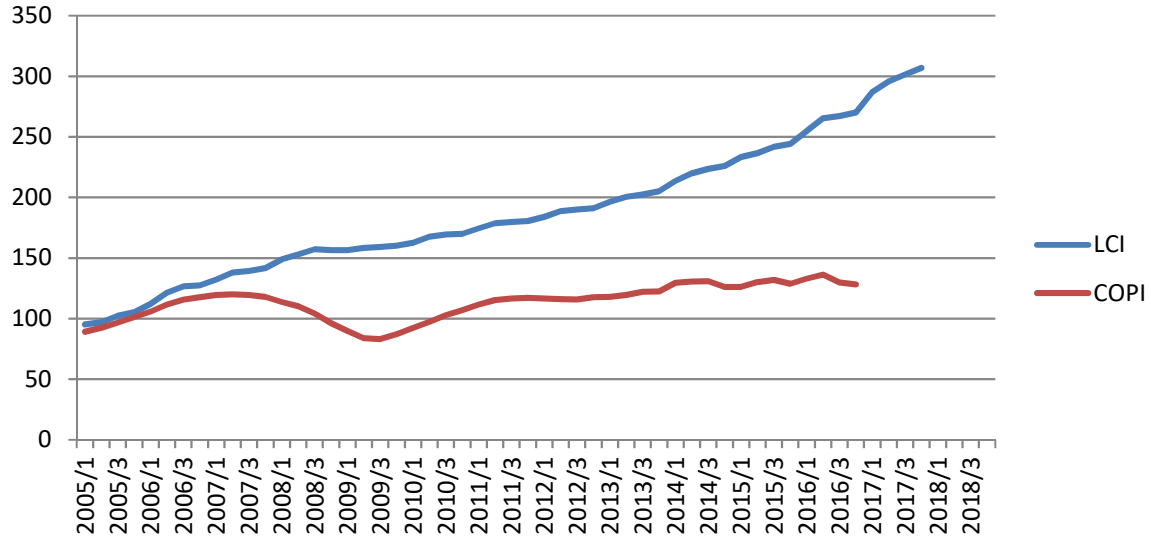


Figure 3 – LCI and COPI 2005-2017

Decrease in production leads to increase unemployment. The increase in the unemployment rate causes decrease in demand and therefore the wages of workers to remain stable (Fig. 4).

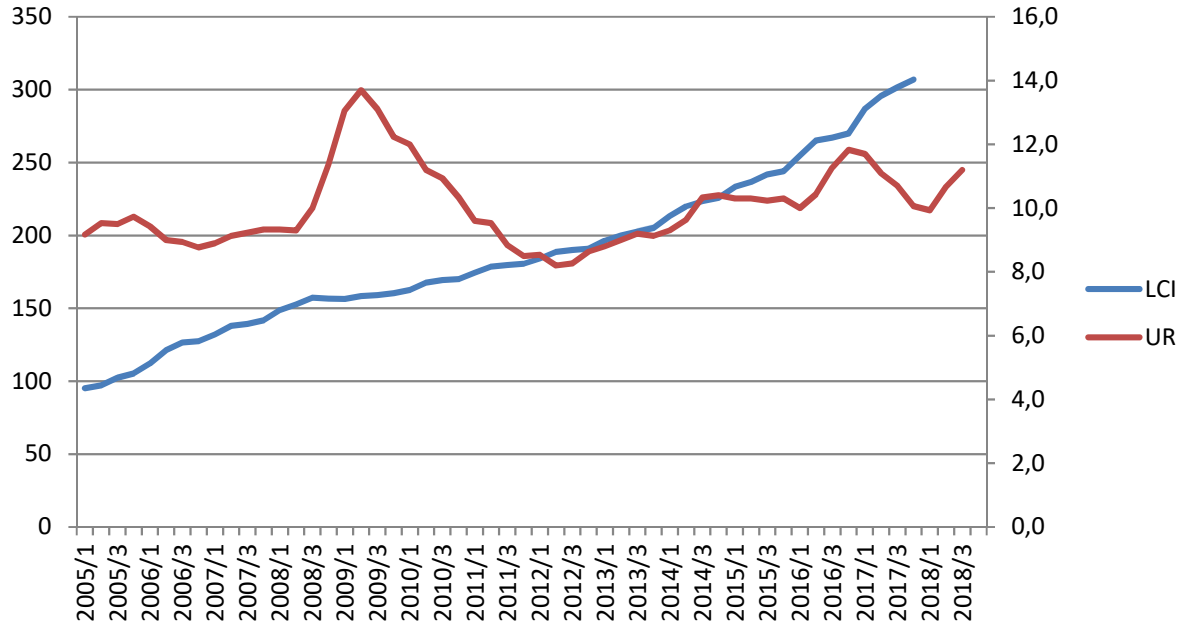


Figure 4 – LCI and UR 2005-2017

5. Conclusions and Recommendations

In this study, the relationships between labor cost index and macroeconomic indicators are revealed. Results show that consumer price index and labor cost index have high relationship. There is also relationship between exchange rates and labor cost index. This shows that inflation is the main factor determining the wages of workers. Other factors in a relationship with labor cost index are production index and unemployment rate. These factors have moderate relationship with labor cost. Sudden decreases in production index and sudden increases in unemployment rate do not correspond directly to the labor cost index. The negative movements in the factors cause the labor costs to slow down and even stop. As a result, macroeconomic trends should be taken into consideration in project planning. Especially, it should be noted that inflation rate and exchange rates are directly related to labor cost increases. In the future, it is thought that investigating the effects of macroeconomic factors on construction costs will contribute positively to the literature.

References

1. Frimpong, Y., Oluwoye, J., & Crawford, L. (2003). Causes of delay and cost overruns in construction of groundwater projects in a developing countries; Ghana as a case study. International Journal of project management, 21(5), 321-326.

2. Kaming, P.F., Olomolaiye, P.O., Holt, G.D., and Harris, F.C. (1997). "Factors influencing construction time and cost overruns on highrise projects in Indonesia." Construction Management and Economics, Vol. 15, No. 1, pp. 83-94.
3. Cacciatore, M. (2014). International trade and macroeconomic dynamics with labor market frictions. Journal of International Economics, 93(1), 17-30.
4. Nickell, S., & Quintini, G. (2002). The recent performance of the UK labour market. Oxford Review of Economic Policy, 18(2), 202-220.
5. Hibbs Jr, D. A., & Locking, H. (1996). Wage compression, wage drift and wage inflation in Sweden. Labour Economics, 3(2), 109-141.
6. Klau, F., & Mittelstadt, A. (1986). Labour market flexibility. OECD Economic Studies, 6(745), 87-126.
7. Perry, G. L., Schultze, C., Solow, R., & Gordon, R. A. (1970). Changing labor markets and inflation. Brookings Papers on Economic Activity, 1970(3), 411-448.
8. Gregory, R. G. (1986). Wages policy and unemployment in Australia. Economica, 53(210), S53-S74.
9. Babecký, J., Dybczak, K., Galuščák, K. (2008). Survey on Wage and Price Formation of Czech Firms. Czech National Bank Working Paper Series, (12).

Use of Personal Protective Equipment: A Case Study in the Construction Industry (Oral)

Gözde Tantekin Çelik [1], Serkan Aydınlı [2], Ceren Dilan Temel [3]

[1,2,3]Department of Civil Engineering, Çukurova University, Turkey
Emails: gtantekin@cu.edu.tr, saydinli@cu.edu.tr, cerendtemel@gmail.com

Abstract

The construction industry is among the most experienced industries in work accident in our country. In this point of view, occupational health and safety applications in the Turkish construction industry have vital importance. In order to determine the factors affecting the usage of personal protective equipment in the Turkish construction industry, a questionnaire was applied to the workers in the site environment. Data were collected from both public and private building site. In the study, the relationship between the type of investment and the use of PPE and the relationship between the type of investment and the factors that increase the use of PPE have been examined. In addition, the existence of incentive-penal policies for monitoring and encouraging the use of PPE in the construction site has also been questioned, and proposals have been presented in the direction of the results.

Keywords: Occupational health and safety, Personal protective equipment, Construction industry.

1. Introduction

The construction sector is one of the leading industries of the economy. According to the labor force data of the construction sector, it is seen that 6,9% of the employed in 2017 is in the construction sector (INTES, 2018). In addition, the construction sector is in “very dangerous” category in terms of occupational health and safety. Heavy working conditions and machinery and equipment used in site make the site environment very dangerous. Personal protective equipment is one of the tools to prevent occupational accidents in construction site. Personal protective equipments sometimes prevent accidents and sometimes prevent the damage of workers by mitigating the consequences of the accident (Choudhry & Fang, 2008). Deficiencies in the use of personal protective equipment are an important determinant of the consequences of occupational accidents (Abdelhamid & Everett, 2000). In this study, it was aimed to examine the use of personal protective equipment of construction workers; the data collected from the construction sites are presented and recommendations are presented to reduce the rate of work accidents.

2. Literature Review

Tam et al. (2004) investigated the shortcomings in health and safety conditions in the construction sector. As a result of the study, a number of deficiencies have been identified in

the use of PPE. The most used personal protective equipments in the construction sector are helmet, goggles and gloves. It was determined that the lack of other personal protective equipment poses risks for occupational safety. Açıkalın (2005) asked to workers "Do you use PPE?". The group that gave the answer to the question "sometimes" was found to be the group with the highest number of accidents with 36%. Among the reasons for not using PPE, it was found that “decrease in mobility” with 38% in the first place, “physical discomfort” in the second rank, and “failure to prevent accidents” in third place. It is seen that the uncomfortable use of PPE is the reason why workers do not use PPE. Study show that it is necessary to increase the training given to raise the awareness of the workers. Choudhry and Fang (2008) investigated a number of occupational accidents in the construction sector in China. In interviews, it was observed that the use of PPE mitigated the consequences of work accidents and prevented the occurrence of some accidents. Ahmed et al. (2009) analyzed the use of PPE in construction sector. The biggest problems related to the use of PPE are determined as the disturbing equipments and the lack of a monitoring system. Tanko and Anigbogu (2012) investigated the factors affecting the use of PPE in Nigeria construction sector. In the study, it was stated that workers wanted to use PPE but, in order to enhance the usage, the equipment should be more comfortable and the control of management should be increased. Ismail et al. (2012) investigated the factors affecting the functioning of the occupational health and safety system at the site. As a result, it was stated that the design and use of personal protective equipment would increase the performance of occupational safety. Barro-Torres et al. (2012) emphasized the importance of the use of personal protective equipment in occupational health and safety in the construction sector and developed software that monitors the use of workers' PPE. As a result of the study, it was observed that the system facilitated the control of the use of PPE. Kelm et al. (2013) developed a system with RFID technology to monitor the use of PPE on site. As a result of the study, it was observed that the monitoring systems had a positive effect on the use of PPE. Kaymaz (2014) found that 72% of the workers did not have an idea about OHS

The studies focused on the rates of use of PPE and the reasons for not using them. In this study, PPE usage rates and the factors affecting their use are examined.

3. Material and Method

Within the scope of the study, PPE usage rates of construction workers, policy pursued by control mechanism on site (incentive-penalty system) and reasons for not using PPE were investigated. Data were collected from 92 construction workers working in five different construction sites belonging to public, private and public-private cooperation. The frequency distributions of the responses were summarized and discussed.

4. Findings and Discussion

Table 1 shows the sectoral distribution of the construction workers participated in the study. A total of 92 workers participated in the survey, including 7 workers from the public sector, 36 from the public / private cooperation site and 49 from the private sector.

Table 1 – Characteristics of the construction sites

Project No	Project Name	Investor	Number of workers	
1	Hospital construction project	Public-Private Cooperation	Firm A	10
			Firm B	26
2	Sewage project	Public	7	
3	Factory renovation project	Private	9	
4	Housing renovation project		20	
5	Military base project		20	
Total			**92**	

The rates of PPE usage of construction workers are given in Table 2. It has been observed that construction workers have high usage of head and foot protection. Especially the use of climate-resistant clothing and reflective vests were more common in private sector workers. Also the least used personal protective equipments are climate-resistant clothing and reflective vests.

Table 2 – PPE usage of construction workers

Investor	n	Head Protector		Foot Protector		Face and Eye Protector		Hand and Body Protector		Climate Resistant Clothes		Reflective Vest		Safety Belt		Safety Rope	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Public-Private	36	35	97,2	35	97,2	32	88,9	22	61,1	9	25	28	77,8	25	69,4	21	58,3
Public	7	7	100	7	100	6	85,7	4	57,1	-	-	2	28,6	5	71,4	-	-
Private	49	47	95,92	49	100	41	83,67	40	81,63	31	63,3	32	65,3	34	69,4	31	63,3

In order to determine the methods used to control the usage and motivation of PPE on the site, the workers were asked the existence of incentive-punishment system and the results are given in Table 3. According to answers given, it is seen that all sites prefer punishment. In addition, it has been observed that both the systems are implemented in the construction sites with private and public-private cooperation.

Table 3 – Incentive-Punishment system implementation

Investor	n	Incentive system				Punishment system			
		Yes		No		Yes		No	
		n	%	%	n	n	%	n	%
Public-Private	36	8	22,2	28	77,8	28	77,8	7	19,4
Public	7	1	14,3	6	85,7	4	57,1	3	42,8
Private	49	6	12,2	43	87,7	41	83,7	14	28,6

The incentive-penalty system methods implemented at the site are given in Table 4. According to Table 4, the penalties are; warning, disciplinary action, fine and dismissal. Rewards are financial incentives and appreciation. It was observed that disciplinary punishment was applied only in the public sector, while in the private sector, a warning and a fine were implemented, and that in all groups, the dismissal was least applied punishment.

Table Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı. **– Implementation methods of incentive and punishment system**

Investor	n	Incentive		Punishment			
		Financial incentives	Appreciation	Warning	Disciplinary punishment	Fine	Dismissal
Public-Private	36	5	-	9	-	3	4
Public	7	-	-	3	1	-	-
Private	49	1	1	15	-	3	4

The results related to the reasons why workers do not use PPE are given in Table 5. Public workers stated that they pay attention to the use of PPE by leaving this question unanswered. Only two of the private sector workers answered the question and they pointed out the reasons for not using equipment are; unwillingness to use and lack of incentive system. In the construction site which is public-private cooperation, Reasons were observed respectively; uncomfortable PPEs, previous experiences, unwillingness to use and lack of incentive system.

Table 5 – The reasons why workers do not use PPE

Investor	n	Lack of incentive systems		Uncomfortable PPE		Difficulties to use PPE		Unwillingness to use		Site management does not provide PPE		I can't use PPE	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Public-Private	36	4	11,1	13	36,1	7	19,4	5	13,8	1	2,7	1	2,7
Public	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Private	49	1	2,04	-	-	-	-	1	2,04	-	-	-	-

Table 6 shows the results of the factors that increase the use of PPEs. Factors affecting the use of PPE in the public sector are respectively; training, award system and convenience of use. In the private sector, these factors are; training, award system, convenience of use and pressure to use of PPE. Finally in the public-private cooperation, these factors are; award system, convenience of use, punishments, trainings and pressure to use of PPE.

The importance that workers give to training shows that there is a desire and awareness about OHS. The award system was not preferred by the companies in the construction sites, but it was found to be motivating for the workers. The last factor affecting the use of PPE is "pressure of colleagues". This factor shows that group behavior is effective in the actions of workers in the construction site.

Table 6 – Factors affecting the use of PPE

Investor	n	KKD ile çalışmak rahat olsun		KKD kullanıldığında ödül verilsin		Çalışırken KKD kullanmam gerektiği söylensin		KKD kullanıldığında ceza verilsin		KKD kullanımı hakkında eğitim verilsin		İş arkadaşlarımın kullanmama yönünde baskısı olmasın	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Public-Private	36	10	27,8	18	50	5	13,9	9	25	6	16,7	1	2,8
Public	7	1	14,3	1	14,3	-	-	-	-	4	57,1	-	-
Private	49	28	57,1	30	61,2	19	38,8	19	38,8	38	77,5	9	18,4

5. Conclusions and Recommendations

In this study, which was conducted to determine the policies of firms and institutions in order to encourage the use of PPE, and to examine the attitudes and thoughts of construction workers on the use of PPE, a questionnaire was applied to the workers working on construction sites belonging to public, private and public-private cooperation works.

As a result of the study, it has been found that head protector, foot protector, face and eye protectors are given importance and used by workers. In order to question the policies implemented to encourage the use of PPE in construction sites, the existence and method of incentive-punishment systems were asked. It has been seen that the punishment systems were mostly implemented. In order to encourage the use of PPE, it has been found that workers prefer providing awareness and training in order to raise awareness, then reward system implementation and comfortable use of PPE. At this point, the following suggestions are presented to companies and institutions.

- Training should be given to the teams who come first on the site and the trainings must be repeated periodically. The main purpose of the firms should be to try to ensure that workers develop an auto-control mechanism on the use of PPE and OHS rules.
- Companies are required to prefer PPEs compliance with standards and regulations, adequate quality and suitable for body sizes.
- It is recommended to give importance to reward applications in order to support the positive motivation at the construction sites, but the punishment system also can be preferred. Justice of punishment or reward systems should be provided.

References

1. Abdelhamid, T. S., & Everett, J. G. (2000). Identifying root causes of construction accidents. *Journal of construction engineering and management*, 126(1), 52-60.
2. Açıkalın, C. (2005). Eskişehir Bozüyük Belediyesindeki Seramik Sektöründe İş Kazaları. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (2005): 74.
3. Ahmed, S.M. & Azhar, S. (2009). "Addressing the Issue of Compliance with Personal Protective Equipment on Construction Worksites: A Workers' Perspective." http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2009/paper/CPRT176002009.pdf, accessed March 15, 2019.
4. Barro-Torres, S., Fernández-Caramés, T. M., Pérez-Iglesias, H. J., & Escudero, C. J. (2012). Real-time personal protective equipment monitoring system. *Computer Communications*, 36(1), 42-50.
5. Choudhry, R. M., & Fang, D. (2008). Why operatives engage in unsafe work behavior: Investigating factors on construction sites. *Safety science*, 46(4), 566-584.
6. INTES (2018). INTES İnşaat Sektörü Raporu. Şubat 2018
7. Ismail, Z., Doostdar, S., & Harun, Z. (2012). Factors influencing the implementation of a safety management system for construction sites. *Safety science*, 50(3), 418-423.

8. Kelm, A., Laußat, L., Meins-Becker, A., Platz, D., Khazaee, M. J., Costin, A. M., Helmus, M., & Teizer, J. (2013). Mobile passive Radio Frequency Identification (RFID) portal for automated and rapid control of Personal Protective Equipment (PPE) on construction sites. *Automation in Construction*, 36, 38-52.
9. Tam, C. M., Zeng, S. X., & Deng, Z. M. (2004). Identifying elements of poor construction safety management in China. *Safety Science*, 42(7), 569-586.
10. Tanko, B. L., & Anigbogu, N. A. (2012). The use of personal protective equipment (PPE) on construction sites in Nigeria. In WEST AFRICA built environment research (WABER) conference 24-26 July 2012 Abuja, Nigeria (Vol. 2, p. 1341).

Wage Prediction By Artificial Neural Networks At Construction Works

Mehmet Sait Andaç[1], Serkan Aydınlı[2]

[1] Beykent University, Department of Civil Engineering/İstanbul/Turkey e-mail: saitandac@beykent.edu.tr
[2] Çukurova University Department of Civil Engineering/Adana/Turkey e-mail: serkanaydinli@gmail.com

Abstract

As in every sector, wage determination has a very important place at construction sector. Unfair wage policies cause labour productivity problems. Hence, to determine fair wage policies, companies allocate considerable effort and resource. This study present a novel method to determine the proper wage of employees by using Artificial Neural Network (ANN) techniques. During the study data was used to train ANN and it was collected by a questionnaire survey which was held with 305 company/human resource managers and 410 construction engineers of Turkish Construction Industry. Also ANN was trained by two different learning algorithms (Levenberg-Marquardt algorithm and Bayesian Regularization) with the same dataset and the results were compared to find the best weights and biases for the optimum solution.

Keywords: Wage Determination, Artificial Neural Network, Construction Industry, Levenberg-Marquart, Bayesian Regularization

1. Introduction

Manpower is one of the major inputs in construction industry. Project success is largely dependent on labour force performance. Thus, manpower's morale, motivation and organizational commitment are important factors affecting project performance. In order to motivate employees, wage policies in the companies should be fair and systematic. For a fair wage system, the factors influencing wage levels should be determined. Determining these factors is very hard due to complexity of labour market and difficulties of data collection. Besides, there are many personal and project/company factors such as unemployment rate, demand/supply balance and companies' policies affecting labour market. In the current study ANN was used to determine the proper wage of employees at construction industry. As ANN training Algorithm Levenberg-Marquardt (LM) and Bayesian Regularization (BR) was chosen to obtain weights and biases. While obtaining weights and biases, ANN training process was iterated by various neuron numbers. On the other hand, different criteria like age, the level of education, gender, experience, seniority in the company, foreign language skills, the graduated university, the complexity of the project, the location of the project and the size of the company was tested to reveal their effects on the wage rates. The results (weights, biases, transfer functions, learning algorithms, network architect, number of neurons, hidden layer…) of the current research was presented to be a benchmark for further researches related to fair wage determination and prevent the wage inequalities not only for construction industry but also for the wide range of the different industries.

2. Literature Review

There are many factors affecting wage level of employees in the literature. These can be classified by “personal factors” and “project/company factors”.

Personal factors that may influence the level of wage are age, education level, gender, experience, seniority, foreign language skills. Demographics such as age, experience and seniority are vital factors determining employee wage. Bhattarai & Wisnievski (2000) investigated the relationship between employee age and wage level. It is determined that employee wage increases with age and wage level is maximum when employee is around 45 years old. Boudarbat, Lemieux, & Riddell (2006) found similar results. In their study, wage level is maximum when employee is 45-55. Likewise, the same relationship is between experience and wage level. Nestic (2004) claimed that there is a linear relationship between experience and wages for up to 30 years. Another personal factor affecting wage level is education. Liu & Zhang (2008) and Yang & Mayston (2012) investigated relationship between employee demographics and wage. The results of studies show that there is a positive relationship between education and wage level. The last demographic discussed in the study is foreign language skills. Especially in countries with low foreign language skill, this factor becomes an important variable in wage determination. According to Yang & Mayston (2012), employee wages increase by 4.3% on average when English levels rises.

Second factor group is named “project/company factors” include complexity of the project, the location of the project and the size of the company. Location of the project is one of the most important factors. The cost of cities is directly effective on wage levels. Morikawa (2016) studied factors affecting employee wages. Results show that the wages of employee working in big cities increased by up to 40% compared to those working in small towns. Another wage determinant factor is the size of the company. Idson & Feaster (1990) examined the relationship between the size of the company and the wage level. As a result, it has been found that employees in large-scale enterprises receive more wages in the range of 17% - 39% compared to small enterprises.

3. Research Material and Methodology

Artificial Neural Network (ANN) is very popular prediction method for last decades and it can be used in all most every research area. Briefly ANN is a numerical model of a biological brain. ANN’s neuron models represent the neuron cell that has axon-synapsis-dendrite (Romero-Méndez vd., 2016) and an ANN has various number of neurons in various number of layers (Figure 1)

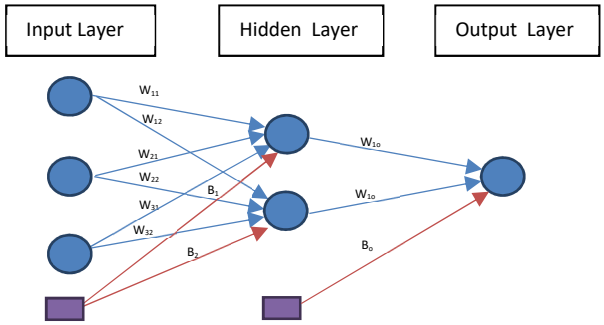


Figure 1. ANN diagram

Artificial neurons are connected to other by weights and biases which must be optimized by "learning" (Basheer & Hajmeer, 2000) and transferred to other layer by "transfer functions" (Muhammad, Burney, Jilani, & Ardil, 2008). Learning is a weight and bias optimization process to reach the output value by feeding with input values (Basheer & Hajmeer, 2000) and this process is the main step of executing an ANN (Romero-Méndez vd., 2016) (Figure 2).

Training of ANN can be performed by algorithms. Most common training algorithms are:

Levenberg-Marquardt (LM)
Scaled Conjugate Gradient
Broydon - Fletcher - Goldfarb - Shanno (BFGS)
Powell-Beale Restarts
One Step Secant (Sankar, Seethalakshmi, & Kumar, 2011)
Bayesian Regularization (Golnaraghi, Zangenehmadar, Moselhi, Alkass, & Vosoughi, 2019).

In this paper, ANN was trained by LM and BR and Sigmoid Transfer Function (Equation 1) was used.

$$\boldsymbol{f(x)} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1}+\boldsymbol{e^{x}}} \quad \text{(Equation 1)}$$

Where $-\infty<x<\infty$ and $0.0 \leq \boldsymbol{f} \leq 1.0$ (Basheer,)

In the study, the network was fed by 350 different samples (employees) was used for training process to determine the effects of criteria.

Dataset has 350 samples and 10 criteria (age, level of education, gender, experience, seniority in the company, foreign language skills, the graduated university, the complexity of the project, the location of the project and the size of the company) as input matrix ([350 X 10]) of network and an output (wage).

Also, the real output values (real wage values) was normalized by Equation 2 to execute the training process more accurately.

$$x_{normalized} = \frac{x-x_{min}}{x_{max}-x_{min}} \quad \text{(Equation 2)}$$

The input samples divided in three parts; for training (70%, 244 samples), for validation (15%, 53 samples), for testing (15%, 53 samples). And performance of training algorithms was measured by Mean Square Error (MSE), given as Equation 3.

$$\boldsymbol{MSE} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{n}} \sum_{\boldsymbol{k=0}}^{\boldsymbol{n}} (\boldsymbol{X_R} - \mathbf{X_P})^{\mathbf{2}} \quad \text{(Equation 3)}$$

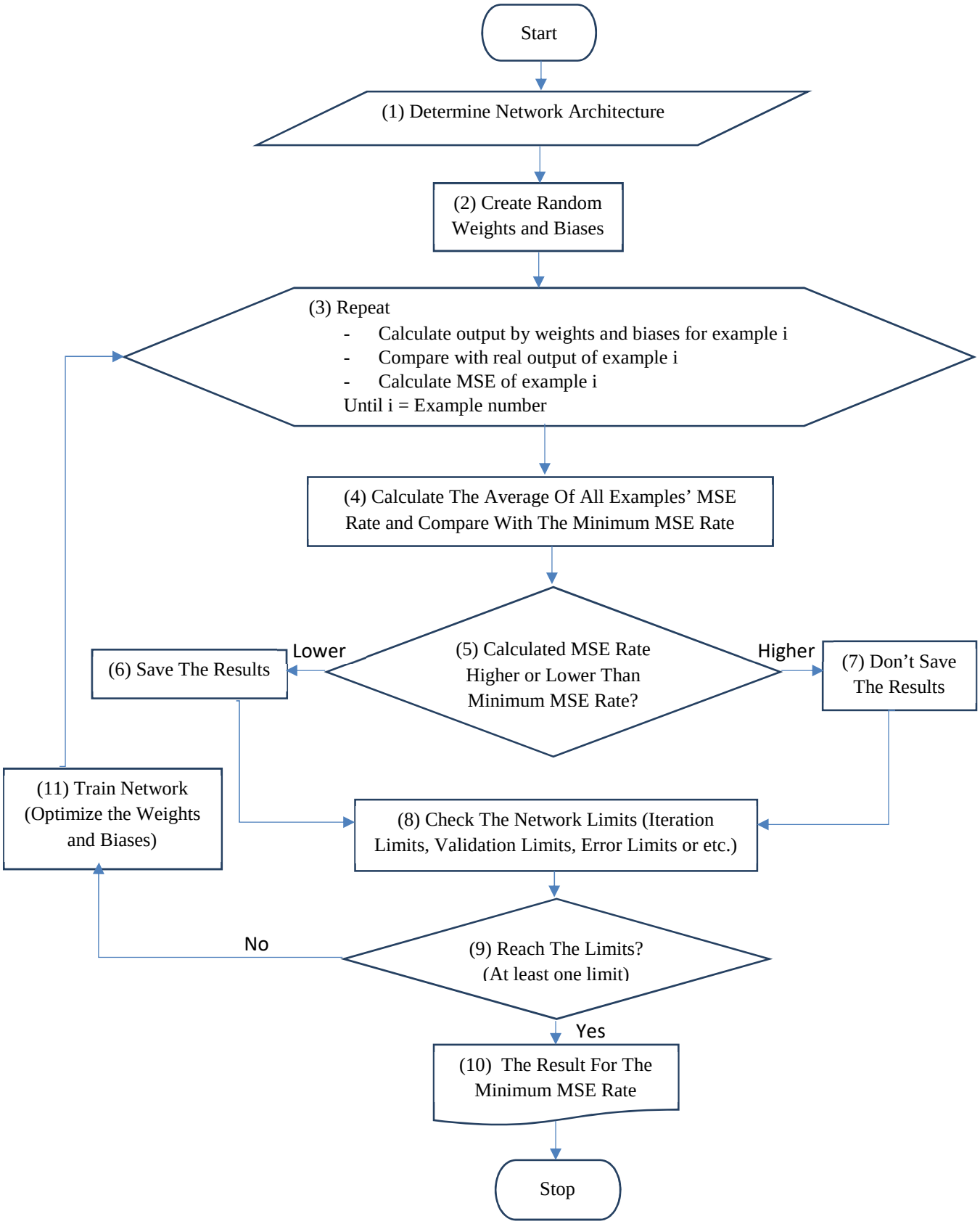


Figure 2. Training Process of ANN

Where,

n is the number of sample
X_R is the real output value corresponding to the kth sample
X_P is the predicted value of the kth sample

3.1. Levenberg-Marquardt (LM)

As a most popular and the fastest learning algorithm of ANN, LM can be used successfully up to few hundreds weights (Adeloye & Munari, 2006). LM update the weights by using Jacobian matrix given by Equation 4 to update the weights.

$$\Delta \boldsymbol{w_i} = -[\boldsymbol{J^T J} + \boldsymbol{\lambda I}]^{-1} \boldsymbol{J^T e} \quad \text{(Equation 4)}$$

Where J is Jacobian matrix containing the first derivation of network error, e is vector of network errors and λ is a constant equal to 0.001 (Forouzanfar, Dajani, Groza, Bolic, & Rajan, 2010; Muhammad vd., 2008).

3.2. Bayesian Regularization (BR)

BR is generally used to overcome the overfitting problem of training process. According to Chua & Goh, (2003) In the Bayesian framework, the uncertainty in the weight space is assigned a probability distribution representing the degree of belief in the different values of the weight vector. By maximizing the posterior distribution over the weights; the most probable parameters values can be determined (Chua & Goh, 2003; Yue, Songzheng, & Tianshi, 2011).

4. Results And Discussion

Table 1. shows that BR is more appropriate training algorithm than the LM for this kind of problems. BR error rates, for 10 criteria and 10 x 20 x 1 (10 input layer neurons, 20 hidden layer neurons, 1 output layer neuron) network architecture, is less than LM error rates.

Table 1. Error Rates for Different Algorithms And For Different Criteria Numbers

Algorithm	Criteria Number	Train Set Number	Mean of Error	Std. Der. of Error
BR	7	81	0.0082	0.0012
	10	64	0.0068	0.0014
LM	7	73	0.0109	0.0021
	10	101	0.0101	0.0009

In Table 2. the lowest 20 train set (run) results are given. The lowest result of 319 train set is 0.0040 which is for BR algorithm and 10 criteria. The network architecture for the best solution is; 10 neurons at input layer, 20 neurons at hidden layer, 1 neuron at output layer, 200 weights and 20 biases form input layer to hidden layer, 20 weights and 1 bias from hidden layer to output layer. At the same time, all the train set results for BR and 10 criteria is lower than the others independently of network architecture.

Table 2. The Lowest 20 Train Set (Run) Results

		BR		LM	
		7 Criteria	10 Criteria	7 Criteria	10 Criteria
Error Rates (Mean Square Error)	1	0.0043	0.0040	0.0080	0.0060
	2	0.0053	0.0044	0.0084	0.0075
	3	0.0059	0.0045	0.0085	0.0080
	4	0.0065	0.0047	0.0085	0.0084
	5	0.0066	0.0047	0.0088	0.0084
	6	0.0066	0.0048	0.0088	0.0084
	7	0.0067	0.0048	0.0089	0.0086
	8	0.0067	0.0051	0.0089	0.0086
	9	0.0068	0.0051	0.0091	0.0087
	10	0.0068	0.0051	0.0091	0.0088
	11	0.0069	0.0051	0.0091	0.0089
	12	0.0069	0.0051	0.0091	0.0090
	13	0.0070	0.0051	0.0092	0.0092
	14	0.0071	0.0051	0.0092	0.0093
	15	0.0071	0.0052	0.0093	0.0093
	16	0.0071	0.0054	0.0094	0.0093
	17	0.0071	0.0055	0.0094	0.0093
	18	0.0072	0.0056	0.0094	0.0094
	19	0.0072	0.0057	0.0095	0.0094
	20	0.0072	0.0058	0.0096	0.0094
	Mean	0.0066	0.0050	0.0090	0.0087

As a conclusion, the results of this study for the best solution is given below (Table 3-5) These weights and biases can be used in the further research or wage prediction problems of the construction firms.

Table 3. Weights from input layer to hidden layer

0.331992	0.037863	-0.3536	0.202851	-0.72559	-0.41547	-0.37399	0.013174	0.488155	-0.37353
0.141852	-0.20532	0.169617	-0.22277	-0.11111	-1.13707	-0.37634	-0.26197	0.420826	-0.38626
-0.06071	0.211195	0.433563	0.145122	-0.2104	-0.17997	-0.12648	0.645655	-0.1027	0.423653
0.706164	0.058147	0.063583	-0.67168	-0.29892	0.381669	-0.14727	-0.40684	-0.26418	-0.05693
0.083095	0.645033	-0.07113	0.384403	-0.09425	0.128633	0.291327	-0.96997	0.017982	-0.39497
-0.4652	0.266728	0.068413	-0.19358	-0.37057	-0.40104	0.129346	0.1856	-0.78865	-0.0163
-0.0457	-0.35192	-0.18747	-0.27873	-0.55048	0.618884	-0.24199	1.120682	-0.3163	-0.18567
-0.13586	-0.21965	-0.34335	-0.41198	-0.60659	-0.5092	0.088985	0.33265	-0.14759	0.425882
-0.20853	0.165989	-0.93058	-0.21793	-0.27557	0.235907	0.53524	0.069725	0.3174	-0.24568
0.354134	0.547643	-0.4848	0.420659	-0.15148	-0.3323	0.10249	-0.66011	-0.26224	0.794683
0.220288	0.172459	-0.11791	-0.04483	-0.06697	0.083817	0.843127	-0.4975	-0.48835	-0.54715
-0.23666	0.681484	-0.43176	-0.16192	0.381567	-0.24648	-0.44291	-0.49878	0.341905	-0.50967
-0.39357	0.060339	-0.93121	0.363529	-0.20019	-0.74133	-0.30134	-0.17978	-0.24276	0.522578
0.258736	0.092796	-0.56837	-0.6119	0.077084	-0.46977	0.566973	0.779211	0.452077	-0.10221
0.600292	-0.13766	-0.73535	0.543626	-0.46978	1.183481	0.031313	0.040291	-0.72891	0.575597
0.439859	0.170377	-0.69734	0.016273	0.317625	-0.56307	0.044385	0.296484	0.931795	0.156508
0.016886	-0.05434	0.297668	0.167747	-0.57946	0.216253	-0.37246	0.365765	0.115404	-0.38031
-0.68723	0.215131	0.305943	-0.32269	0.957788	-0.34086	-0.10774	0.511652	-0.25666	0.183564
0.491572	-0.33017	0.630394	-0.35197	0.843986	-0.08028	-0.48215	0.283354	0.217852	0.021244
-0.36617	-0.41716	-0.43866	0.282504	0.003063	0.731463	0.516752	0.390478	-0.20064	0.786899

Table 4. Biases from input layer to hidden layer

0.534113
0.133088
0.308717
-0.06598
0.384523
0.009036
-0.17474
-0.25936
-0.07814
-0.45028
0.431049
-0.19348
0.196712
-0.54137
-0.34755
0.038072
0.217898
-0.30822
0.108246
-0.21043

Table 5. Weights from hidden layer to output layer

0.929527	-0.9396	-0.70163	-1.10596	0.946649	0.768947	0.821718	0.754273	-0.90278	0.75251
-0.87633	0.938278	-0.91784	0.8938	-0.9705	-1.04752	-0.77494	-0.86375	0.952436	1.021978

Bias from hidden layer to output layer: -0.02036

5. Conclusion

As a result of the study, employee wage is related with personal factors (age, education level, experience and etc) and project/company factors (location of project, company size), and for a fair wage prediction policy, companies should consider these values. For certain, as the network of ANN is 10 X 20 X 1, the same network architecture must be created to use all these values. While using the weights and biases, it should be considered that the layers of the weights and biases, which are given and will be used, must be the same. Otherwise, the new created network should be train by BR and new weights and biases must be obtained. In this point, ANN is presented as a good wage prediction tool to determine the fairer wages, consisted all the required factors.

REFERENCES

Adeloye, A. J., & Munari, A. De. (2006). Artificial neural network based generalized storage-yield-reliability models using the Levenberg-Marquardt algorithm. *Journal of Hydrology*, *326*(1–4), 215–230.

Basheer, I. A., & Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks : fundamentals , computing , design , and application. *Journal of Microbiological Methods*, *43*, 3–31.

Boudarbat, B., Lemieux, T., & Riddell, W. C. (2006). *Recent Trends in Wage Inequality and the Wage Structure in Canada Recent Trends in Wage Inequality and the Wage Structure*

*in Canada**.

Chua, C. G., & Goh, A. T. C. (2003). A hybrid Bayesian back-propagation neural network approach to multivariate modelling. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, *27*(8), 651–667.

Forouzanfar, M., Dajani, H. R., Groza, V. Z., Bolic, M., & Rajan, S. (2010). Comparison of Feed-Forward Neural Network training algorithms for oscillometric blood pressure estimation. *SOFA 2010 - 4th International Workshop on Soft Computing Applications, Proceedings*, 119–123.

Golnaraghi, S., Zangenehmadar, Z., Moselhi, O., Alkass, S., & Vosoughi, A. R. (2019). Application of Artificial Neural Network(s) in Predicting Formwork Labour Productivity. *Advances in Civil Engineering*, *2019*.

Idson, T. L., & Feaster, D. J. (1990). A Selectivity Model of Employer-Size Wage Differentials. *Journal of Labor Economics*, *8*(1, Part 1), 99–122.

Liu, L., & Zhang, C. (2008). Wages for migrant workers in the Pearl River Delta: determining factors. *Social Sciences in China*, *29*(3), 104–120.

Morikawa, M. (2016). A comparison of the wage structure between the public and private sectors in Japan. *Journal of the Japanese and International Economies*, *39*, 73–90.

Muhammad, S., Burney, A., Jilani, T. A., & Ardil, C. (2008). Levenberg-Marquardt Algorithm for Karachi Stock Exchange Share Rates Forecasting. *Computational Intelligence*, *1*(2), 168–173.

Nestic, D. (2004). *65th Anniversary Conference of the Institute of Economics*. 18-19 November 2004, Zagreb, Croatia, 2005

Romero-Méndez, R., Lara-Vázquez, P., Oviedo-Tolentino, F., Durán-García, H. M., Pérez-Gutiérrez, F. G., & Pacheco-Vega, A. (2016). Use of Artificial Neural Networks for Prediction of the Convective Heat Transfer Coefficient in Evaporative Mini-Tubes. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, *17*(1), 23–34.

Sankar, A. B., Seethalakshmi, K., & Kumar, D. (2011). Performance Evaluation of Various Back-Propagation Training Algorithms in the Neural Network Based Classification of Respiratory Signals. *International Journal of Neural Networks and Applications*, *4*(1), 31–36.

Yang, J., & Mayston, D. (2012). Impact of Overeducation on Wages in China. *The Chinese Economy*, *45*(2), 65–89.

Yue, Z., Songzheng, Z., & Tianshi, L. (2011). Bayesian regularization BP Neural Network model for predicting oil-gas drilling cost. *BMEI 2011 - Proceedings 2011 International Conference on Business Management and Electronic Information*, *2*, 483–487.

Yaklaşık Metraj Birim Ölçülerinin Yapım İşi Projelerindeki Geçerliliğinin Araştırılması (Sözlü sunum)

Savaş Bayram

Department of Civil Engineering, Erciyes University, Turkey
Email: sbayram@erciyes.edu.tr

Özet

Yapım işi projelerinde metraj hesabı; yapılacak imalatların ve her imalat miktarının ne kadar olduğunun belirlenebilmesinin yanında, ön keşfin ve kesin keşfin hesap edilebilmesi amacıyla yapılmaktadır. Ön keşfe esas metraj yapının projeleri üzerinden, kesin keşfe esas metraj da tamamlanmış yapı ölçüleri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bunun yanısıra, binaların taşıyıcı sistem türlerine ve birim alan ölçülerine göre de temel imalatlar için yaklaşık metraj hesabı yapılabilmektedir. Bu kapsamda, önceki tecrübelerden yola çıkılarak, "yaklaşık metraj birim ölçüleri" başlığı altında pratik bir tablo oluşturulmuştur. Ancak bu yaklaşık ölçülerin geçerliliğinin sorgulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, yaklaşık metraj birim ölçülerinin geçerliliği; konut, villa ve okul olmak üzere üç tür projede ele alınmıştır. Bu amaçla projeler üzerinden alınan metrajlarla yaklaşık metraj birim ölçüleri üzerinden alınan metrajlar kıyaslanmıştır. Yaklaşık metraj birim ölçülerinin genel amaçlı olarak yayımlanmasından ziyade, kategorilere ayrılarak istatistiklendirilmesinin daha gerçekçi olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Metraj, Yapım İşleri, Proje, Yaklaşık metraj, Birim ölçü

Investigation of the Validity of Approximate Quantity Unit Measures in Construction Works (Oral)

Abstract

Quantity measures in construction projects are performed in order to determine the work tasks and their quantities as well as to estimate the preliminary and actual costs. The preliminary quantity takeoff is performed through construction projects while the actual quantity takeoff is calculated through the completed works. Besides, the approximate quantity calculations can be performed for the basic productions according to the type of the structural system of the building based on the unit areas. In this context, a practical table, "approximate quantity unit measures" has been created based on previous experiences. However, no study has been found to question the validity of these approximate measures. In this study, the realism of the approximate quantity unit measures was questioned on the housing, villa and school projects. For this purpose, the quantities measured from the projects were compared with the approximate quantity unit measures. It has been concluded that; rather than a general publication of the approximate quantity unit measures, it may be more realistic to publish them into categories.

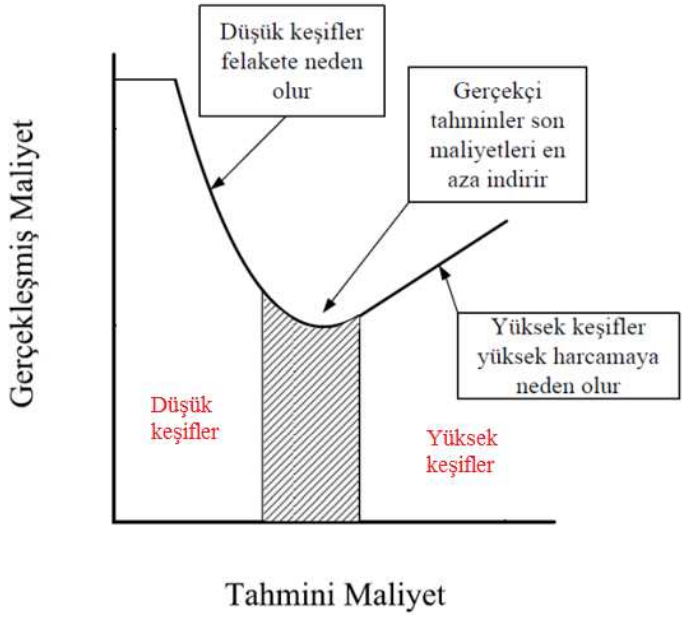
Keywords: Quantity takeoff, Construction works, Project, Approximate quantity, Unit measure

1. Giriş

Günümüz şartlarında gerçekleştirilen yapım işi projelerinde üç ana fonksiyonun (maliyet, süre ve kalite) optimizasyonu başarılı bir proje sürecinin temel koşuludur [1]. Ancak yapım işi projelerinin maliyet, süre ve kalite açısından analiz edilmesi, planlamada karşılaşılan en önemli problemdir [2]. Bahsi geçen üç fonksiyonun optimizasyonunun üç aşamada (planlama, uygulama, kontrol etme) ayrı ayrı incelenmesi gerekmekte ve bu durumda dokuz parçadan oluşan 3x3'lük bir matris ortaya çıkmaktadır [1]. Planlama aşamasındaki maliyet tahmini (ön keşif) ise bu parçalardan birisini temsil etmektedir.

Yapı üretiminde yer alan iş kalemlerinin fazla olması ve farklı projelerde ciddi değişkenlikler göstermesi nedeniyle ön maliyet tahmininde ciddi belirsizlikler ortaya çıkmaktadır [3]. Maliyete etki eden faktörler de birçok yönden imalat sanayisinden farklılıklar göstermektedir [4]. Ön keşif ya da ön maliyet tahmini, bir inşaat projesinin fizibilite aşamasında gerçekleştirilen kavramsal bir maliyet tahminidir [5]. Keşif kavramı, antik çağlarda bile dikkate alınan köklü bir konudur. Örneğin, antik Yunan topluluklarında tapınak yapısı komisyonu gibi komisyonlara rastlanmıştır [6]. Bu komisyonlar, yapılacak olan yapının tahmini maliyet hesaplarını yaptığı gibi, bu değer üzerinden yapımın gerçekleştirilmesine çalışmıştır. Yakın zamanda Osmanlı İmparatorluğu döneminde de onarım ve yeni yapım çalışmalarında keşif önceden belirlenmiş, metraja dayalı yaklaşık maliyet hesapları ile kareli kağıtlara çizilen projeler üzerinden birim fiyatlar esas alınarak yapılan maliyet tahmin (Karname) yöntemleri kullanılmıştır [6].

Günümüzde de inşaat sektörü açısından ön keşif, inşa sürecinin gerçekleştirilmesi ve devamlılığına yönelik kararlarda çoğu kez en etkin unsurlardan biridir. İşveren, yatırım için gerekli finansmanı sağlayabilmek için yapacağı yatırımın bütçesini gerçekçi olarak görmek isterken, yüklenici ise ekonomik açıdan en uygun teklifi vererek işi alabilmek için gerçekçi ön keşif hazırlamak ister. Bu nedenle gerek işveren gerekse yüklenici adına gerçekçi ön keşif önem arz etmektedir. Ön keşif, sürecin gerçekleştirilmesi, devamlılığına yönelik uygun kararların verilmesi ve kaynakların en etkin biçimde kullanılması açısından da büyük önem taşımaktadır [7]. Ön keşif yöntemleri genel olarak; istatistik-olasılık analizleri (birim yöntemi, alan yöntemi vb.), benzer projeler ile karşılaştırma (döşeme alanına dayalı eleman modeli, RS means vb.) ve yapay zekâ teknikleri (yapay sinir ağları, bulanık mantık vb.) olmak üzere üçe ayrılmaktadır [5]. Yapılan çalışmalar, firmaların ön maliyet hesabında daha çok birim fiyata dayalı ve benzer projeler ile karşılaştırma yöntemlerini kullandıklarını göstermektedir [8]. Freiman (1983)'ın görselleştirdiği ve 'Freiman eğrisi' olarak bilinen, tahmini ve gerçekleşen maliyetler arasındaki ilişkiyi temsil eden grafiğe göre, doğru yapılan bir maliyet tahmini son maliyetlerin asgariye indirilmesi yönünde etkili olurken, düşük veya yüksek tahminlerin maliyetleri arttırıcı bir unsur olduğu bilinmektedir [9]. Buna bağlı olarak, yüksek maliyet tahminleri de düşük maliyet tahminleri de beklenmedik sonuçlar doğuracaktır. Örneğin, proje daha düşük maliyet ile gerçekleşebilecek iken bu tahmin sonucunda olduğundan fazla hesaplanan bütçeler, bütçe denklenmesi adı altında tamamen harcanmaya çalışılacaktır. Proje daha düşük maliyetle tamamlanmış gibi gözükse de aslında daha fazla maliyet söz konusu olacaktır [1].



Şekil 1 – Freiman eğrisi [1, 3, 9]

Firmaların ön maliyet hesabında en çok kullanılan yöntem olan birim fiyata dayalı yaklaşımda, maliyetin iki bileşeninden birisi ilgili imalatın metraj (miktar) bileşeni, diğeri ise birim fiyat bileşenidir. Bu nedenle yapım işi projelerinde metraj hesabı; yapılacak imalatların ve her imalat miktarının ne kadar olduğunun belirlenebilmesinin yanında, ön keşfin ve kesin keşfin hesap edilebilmesi amacıyla yapılmaktadır. Ön keşfe esas metraj yapının projeleri üzerinden, kesin keşfe esas metraj da tamamlanmış yapı ölçüleri üzerinden yapılmaktadır. Firmaların kâr edebilecekleri bir teklif hazırlamaları da detaylı analiz edilmiş bir metraj ve doğru yapılmış fiyatlandırma ile mümkündür [10]. Projedeki tüm metrajların gerçekçi ve ayrıntılı olarak hesaplanması, firmaların gerçekçi bir iş programı hazırlamasını ve buna bağlı olarak da teorik hakedişlerin öngörülmesini sağlaması açısından da önemlidir [10]. Özetle; sistematik ve detaylı olarak hazırlanmış metrajlar, ön keşfin ve iş programının da gerçekçi olmasını temin etmektedir.

Mühendisliğin hemen her alanında kullanılan CAD (Computer Aided Design) tabanlı uygulamaların inşaat mühendisliğindeki önemi de büyüktür. CAD tabanlı inşaat mühendisliği yazılımları; statik hesaplamalar ve analizler yapabilen, bunun yanında uygulama projelerinin çizimini gerçekleştiren yazılımlardır. Fakat bu tip yazılımların birçoğu, projelerin donatı, kalıp, beton ve bazı standart ölçülü imalat miktarlarını (kapı, pencere, boya, badana vb.) 'yaklaşık olarak' hesaplayabilmekle birlikte, diğer birçok imalatın metrajını yapamamaktadır. Bu nedenle ön keşfin yapılabilmesi için metrajların genellikle proje üzerinden elle hesaplaması gerekmektedir [11]. Günümüzde disiplinler arası bilgi paylaşımında en hızlı gelişen konseptlerden birisi olan Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) tabanlı yazılımların (Revit, Allplan, ArchiCAD vb.) kullanımı artmakla birlikte, YBM'nin özellikle beşinci boyutu (5D) olarak kabul edilen maliyet çalışmaları kapsamında, oluşturulan modellerden metraj bilgileri

elde edilebilmektedir. YBM tabanlı yazılımlar kullanılarak, geleneksel metraj hesaplamalarına göre daha doğru ve daha hızlı sonuç elde edilebildiği, bu nedenle daha kesin ve hızlı metrajlar elde edebilmek için Ülkemizde YBM kullanımının arttırılması gerektiği bilimsel çalışmalara konu olmaktadır [12]. Ancak bu konuda henüz bir yol haritası belirlenmemiş olduğundan, Ülkemizde bu konseptin yaygınlaştırılması ve gelenekçi inşaat sektörüne entegre edilmesi zaman alacaktır. Bunun yanında, Ülkemizde lazer tarayıcı kullanılarak metraj (hacim) belirlenmesi üzerine çalışmalar da yapılmıştır [13]. Bu tür teknolojik gelişmeler, geleneksel metraj yöntemine alternatif uygulamaların gelişmekte olduğuna işaret etmektedir.

Türk inşaat sektöründe metraj temelli olarak yapılan bilimsel çalışma sayısı yok denecek kadar az olmakla birlikte, bu tür çalışmaların daha çok 'yapısal maliyet kıyaslaması' açısından ele alındığı ifade edilebilir. Arıöz vd. (2004), beton kalitesi değişiminin yapı maliyetine etkisini inceledikleri araştırma kapsamında, birinci derece deprem bölgesinde 11 katlı bir binada C18 yerine C35 sınıf beton kullanılması durumunda 9 bin 543 dolar, ikinci derece deprem bölgesinde yine 11 katlı bir binada C18 yerine C35 kullanılması durumunda 17 bin 192 dolar tasarruf sağlandığını tespit etmişlerdir [14]. Özkan (2004), üç farklı tip proje kullanarak ve her projeyi beş, yedi ve dokuz katlı olarak planladığı çalışmada, beton kalitesi arttıkça maliyetlerin azaldığını, ancak belli bir noktadan sonra maliyetin tekrar artmaya başladığını tespit etmiştir [15]. Özkan ve Muratoğlu (2005), sabit bir zemin sınıfı üzerine sekiz katlı konut türü bir betonarme binanın taşıyıcı sistem maliyetinin deprem bölgelerine bağlı olarak değişimini inceledikleri çalışmada; beton, donatı ve kalıp metrajları kapsamında 1. ve 4. derece deprem bölgeleri arasındaki maliyet farkının %14 düzeyinde olduğunu tespit etmişlerdir [16]. Türkmen vd. (2006), kat planları aynı olan 4 ile 8 kat arası betonarme binaların maliyet değişimini inceledikleri çalışmada yüksek, düzensiz ve zayıf zemin üzerindeki binaların karkas maliyetinin belirgin bir şekilde (%20 kadar) arttığını belirlemişlerdir [17]. Dorum vd. (2006), farklı deprem bölgeleri ve farklı zemin sınıflarının beşer katlı üç yapının kaba yapı maliyetine etkisini araştırdıkları çalışmada, birinci derece deprem bölgesine göre diğer bölgelerde yapı maliyetinde %4 ile %14 arasında düşüş gerçekleştiğini belirlemişlerdir [18]. Şamandar ve Polat (2015), üç adet çelik prefabrik yapı ile yine aynı ölçülerde betonarme prefabrik yapıyı ele aldıkları çalışmada, çelik yapıların betonarme prefabrik yapılara oranla %25 ila %35 oranında daha pahalı olduğu sonucuna ulaşmışlardır [19]. Uğur vd. (2017), tünel kalıp sistem maliyetini geleneksel kalıp sistem maliyeti ile kıyasladıkları çalışmada, tünel kalıp sistemlerinin toplu konut imalatlarında daha avantajlı olduğunu, uygulama sayısının nispeten az olması durumunda ise geleneksel ahşap kalıp sisteminin daha avantajlı olduğunu tespit etmişlerdir [20]. Bikçe ve Akyol (2017), 10 farklı yapı için asmolen ve plak döşeme tiplerinin maliyetlerini kıyaslamak amacıyla yaptıkları çalışmada, asmolen döşemelerin yaklaşık maliyetinin plak döşemelere göre %1 ila %15 oranında daha fazla olduğunu belirlemişlerdir [21]. Arslan vd. (2018), betonarme bir istinat yapısını farklı deprem bölgeleri için simüle ettikleri çalışmalarında, ampatman uzunlukları ve donatı sayılarının metraj değerlerini ve dolayısıyla maliyeti değiştirebildiği sonucuna ulaşmışlardır [22]. Metraj temelli olarak yapılan spesifik çalışmalardan en önemlisi; Kuruoğlu (2003) tarafından yapılmıştır. Bu kapsamda, Ülkemizde yoğun olarak inşa edilen konut tipleri üç temel kalite sınıfına ayrılarak, imalat kalemlerinin metrajlarının yapı toplam

alanına bağlı olarak tahmin edilebilmesi için metraj katsayıları üretilmiştir. Kaba inşaat maliyetinin birinci kategori konutlar için %46,72, ikinci kategori konutlar için %40,18 ve üçüncü kategori konutlar için %39,41 olduğu tespit edilmiştir [23]. Bikçe ve Göçer (2017), betonarme yapıların ön metraj hesabı kapsamında geliştirdikleri pratik yazılım demosu kapsamında, kat sayısı ve yapı alanı ile yaklaşık metraj ölçülerinin hesaplanabileceğini ve bu ölçülerin gerçek ölçülerle uyuştuğunu ifade etmişlerdir [24].

Yapım işleri kapsamında yapılan metrajlara yönelik olarak daha geniş ve gerçekçi değerlendirme yapabilecek deneyime ulaşılabilmesi için, uygulamadaki çalışmalar izlenerek bunların sonuçları ile ilgili istatistik oluşturmak son derece önemlidir. Bu kapsamda, önceki tecrübelerden yola çıkılarak, "yığma ve karkas yapılar için yapı birim alanına isabet eden yaklaşık metraj birim ölçüleri tablosu" adı altında İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) tarafından yayımlanan pratik bir tablo oluşturulmuştur. Ancak bu yaklaşık ölçülerin geçerliliğinin sorgulandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, yaklaşık metraj birim ölçülerinin gerçekçiliği; konut, villa ve okul olmak üzere üç tür yapım işi projesinde ele alınmıştır. Bu amaçla, projeler üzerinden alınan metrajlarla yaklaşık metraj birim ölçüleri üzerinden alınan metrajlar kıyaslanmıştır.

2. Yöntem

Yapı üretim sürecinin yapım evresinde, yapıyı oluşturmak için gerekli olan üretim birimleri ve işlemler, yapım birimlerini oluşturmaktadır. Yapım birimlerine dayalı maliyet modeli de yapım birimlerinin uygulama projesi üzerinden ölçülen metrajlarıyla her birim için daha önceden belirlenmiş olan birim fiyatlarının çarpılıp elde edilen sonuçların alt alta toplanması ile yapının toplam maliyetinin hesaplanması ilkesine dayanır [25]. Bir başka deyişle, maliyetin iki temel bileşeninden birisi metraj (miktar) bileşeni, diğeri ise birim fiyat bileşenidir. Özellikle kamu ihalelerinde en fazla rastlanan durumlardan birisi, metraja bağlı dengesiz tekliftir. Metraja bağlı dengesiz teklif (metraj hatası istismarı), genellikle yüklenicinin projeden elde ettiği metraj verilerinde eksiklik veya hata tespit etmesi durumunda ortaya çıkmaktadır [26]. Daha basit olan yöntem, toplam bina inşaat alanı ile inşaat birim alan maliyetinin çarpılmasıyla tasarım öncesi evrede yapılan maliyet tahminidir. Ancak bu değerin de serbest piyasa maliyeti açısından yüksek olduğu genel kanıdır. Bu nedenle gerçekçi ön keşif, gerçekçi metraj gerektirmektedir.

Metraj hazırlanırken yapılan en sık hata, bazı yapı elemanları miktarının olması gerekenden az ya da fazla olmasıdır. Bu durum, daha çok bazı elemanların unutulması ve/veya birden fazla hesaba katılmasıyla meydana gelmektedir. Metrajda genel prensip, öncelikle brüt miktarın hesaplanması, daha sonra düşülecek boşluk var ise bu boşlukların düşülmesi şeklindedir. Böylece ölçümün metraja esas miktarı belirlenmiş olacaktır. Bu gibi detaylı hesaplamalar, metraj hesabını daha da zorlaştırmaktadır. Projede de bazı yapı elemanlarının nitelikleri ve boyutları ile ilgili belirsizliklerle sıkça karşılaşıldığı için, bu tür metrajlar uygulamadaki deneyimlerle kazanılmış olan bazı oran ve/veya kabullere dayanılarak

belirlenmektedir [27]. Örneğin 1 m^3 beton için 7-8 m^2 kalıp ve 80-110 kg donatı, 1 m^3 kereste için 40 m^2 kalıp veya 12-16 m^2 doğrama gibi pratik kabuller yapılmaktadır. Bu çalışmada, yöntem olarak, "yaklaşık metraj birim ölçüleri" başlığı altında oluşturulan pratik tablodaki değerler ile Kuruoğlu (2003) tarafından belirlenen pratik değerlerin [23] geçerliliği ele alınmıştır. Şüphesiz ki bu yaklaşık değerler, sadece ön keşfe esas metrajlarda kullanılabilmektedir. Bunun yanında yaklaşık metraj birim ölçülerinin %100 hassasiyetle gerçek sonucu vermesini beklemek, inşat sektörünün doğal yapısına ters düşecektir. Bu nedenle bu tür sistematik yaklaşımlar kullanılırken sapmalar olabileceği doğaldır. Ancak bu sapmaların ne düzeyde olduğunun da öngörülmesi önemlidir. Zira malzeme için şantiyelerde ±%1-2 civarında sapma normal karşılanmaktadır.

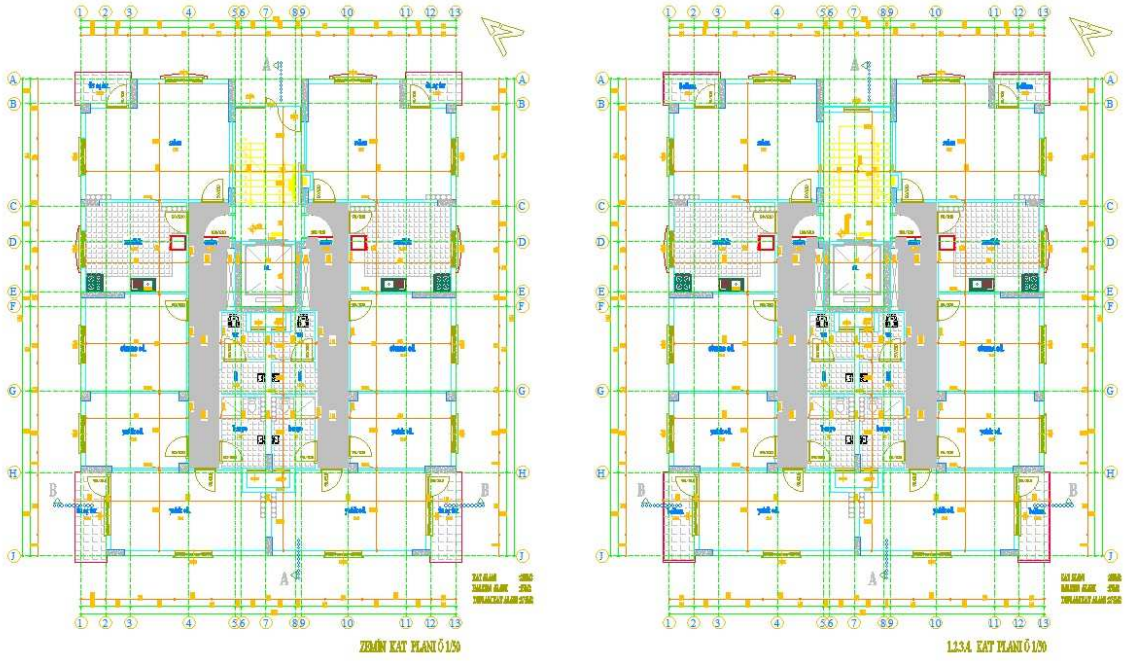
3. Uygulama

Bilindiği üzere yapım işi imalatları kaba ve ince imalatlar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Kaba inşaat imalat kalemleri; kazı ve dolgular, kalıp ve iskele imalatları, nervürlü demir imalatları, betonlar, duvar imalatları, çatı imalatları vb. olarak, ince inşaat imalat kalemleri ise; kapı-pencere ve doğrama imalatı, sıva ve şap işleri, boya ve badana işleri, döşeme ve duvar kaplama işleri, kartonpiyer işleri, cam işleri, yağmur oluk ve inişleri, tesisat işleri vb. olarak özetlenebilir. Çalışma kapsamında, yapı yaklaşık maliyet hesabı yapılırken daha hızlı ve kolay olarak hesap yapabilmek adına belirlenmiş olan yaklaşık metraj birim ölçülerinden kaba inşaat metrajları (kalıp, betonarme demiri, betonarme betonu, tuğla duvar) için verilmiş olan katsayıların; farklı projeler üzerinden yapılacak metraj hesabı sonucunda elde edilen katsayılar ile karşılaştırılması ve buna bağlı olarak bu katsayıların gerçekçilik düzeyinin araştırılması planlanmıştır. Pratik hesaplamaya esas olmak üzere yığma ve karkas yapılar için yapı birim alanına isabet eden yaklaşık metraj birim ölçüleri arasından çalışmada kullanılacak olan kaba inşaat unsurları Tablo 1'de verilmiştir.

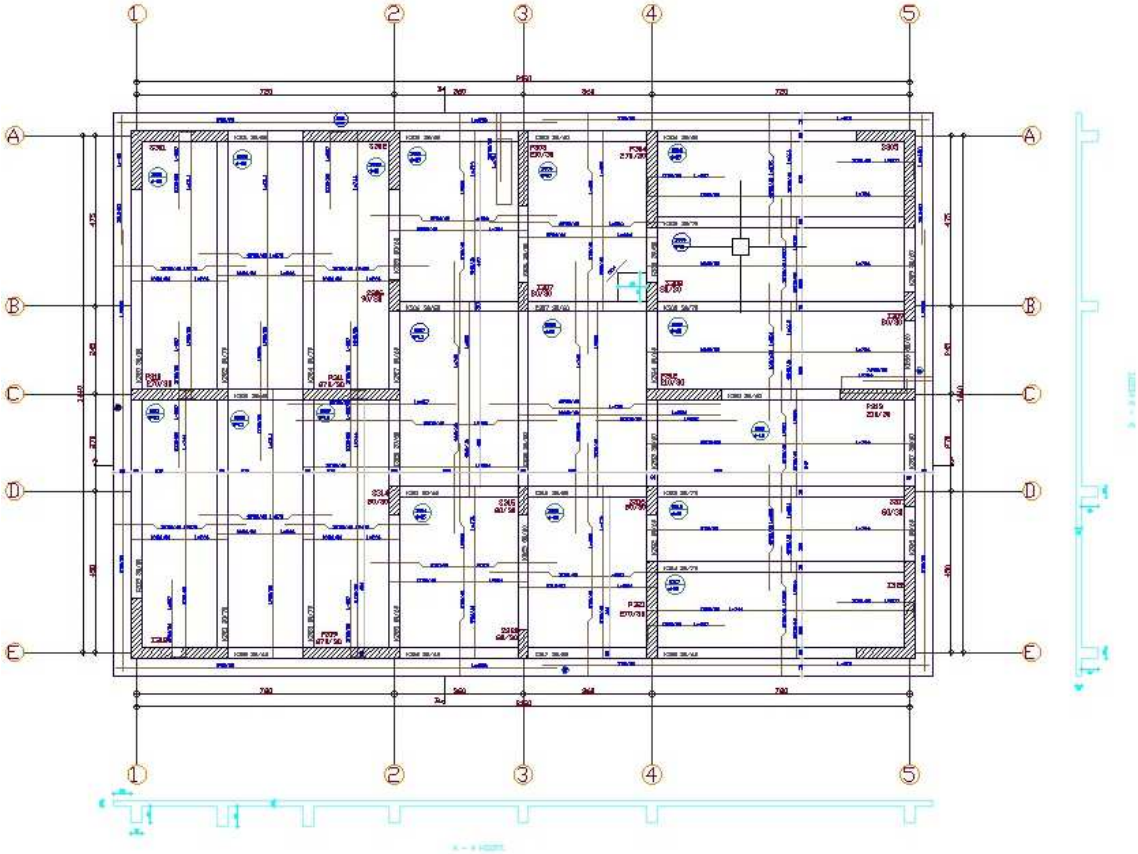
Tablo 1 – Yaklaşık metraj birim ölçüleri (1. yaklaşım)

No	İmalat Cinsi	Yığma		Betonarme Karkas	
1	Kalıp	1,75	m^3/m^2	2,60	m^2/m^2
2	Betonarme Demiri	22	kg/m^2	22	kg/m^2
3	Betonarme Betonu	0,250	m^3/m^2	0,380	m^3/m^2
4	Tuğla Duvar	0,200	m^3/m^2	0,150	m^3/m^2

Çalışma kapsamında konut, villa ve okul projesi olmak üzere üç farklı türde betonarme karkas türü yapım işi projesi dikkate alınmıştır. İnceleme yapılırken yapı taşıyıcı sistemine göre hesap yapılmış olup, merdivenler hesaba katılmamıştır. Birinci proje olarak ele alınan konut projesi; Hatay ili Antakya ilçesinde yapılmış olup B+Z+5 kattan oluşmaktadır. Toplam inşaat alanı ise 2.055,00 m^2'dir. Proje ile ilgili detaylar Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.

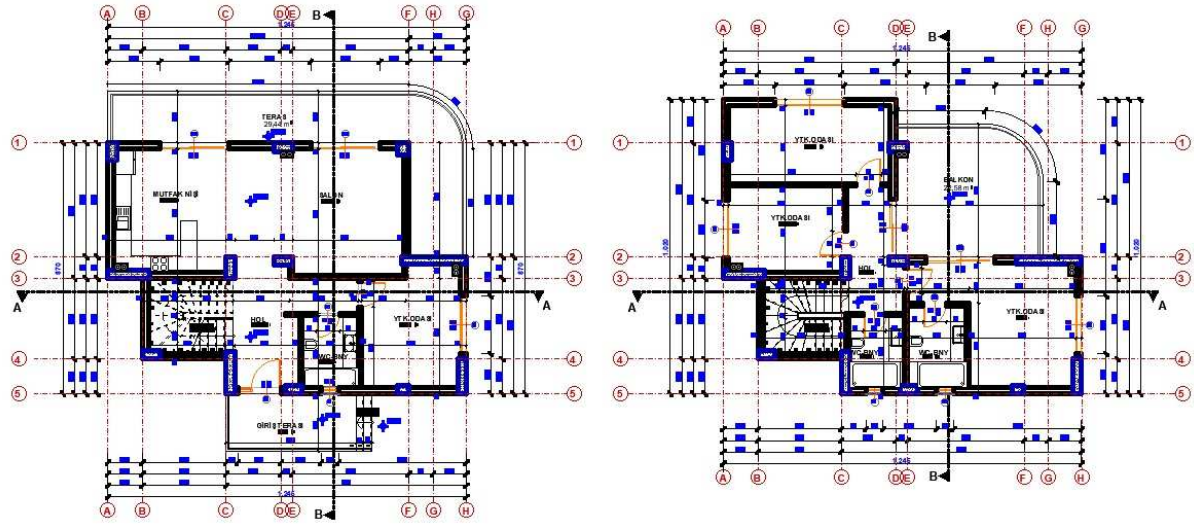


Şekil 2 – Kat planı (Proje 1)

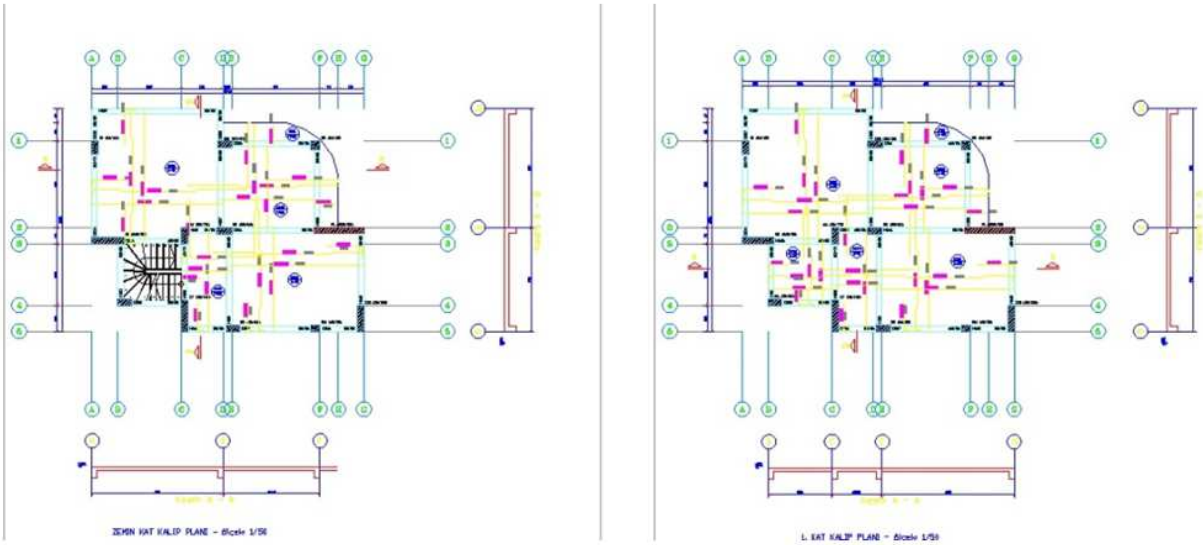


Şekil 3 – Zemin kat kalıp planı (Proje 1)

İkinci proje olan villa projesi; Hatay ili Antakya ilçesinde yapılmış olup Z+1 kattan oluşmaktadır. Toplam inşaat alanı ise 237,80 m^2'dir. Proje ile ilgili detaylar Şekil 4 ve 5'de verilmiştir.

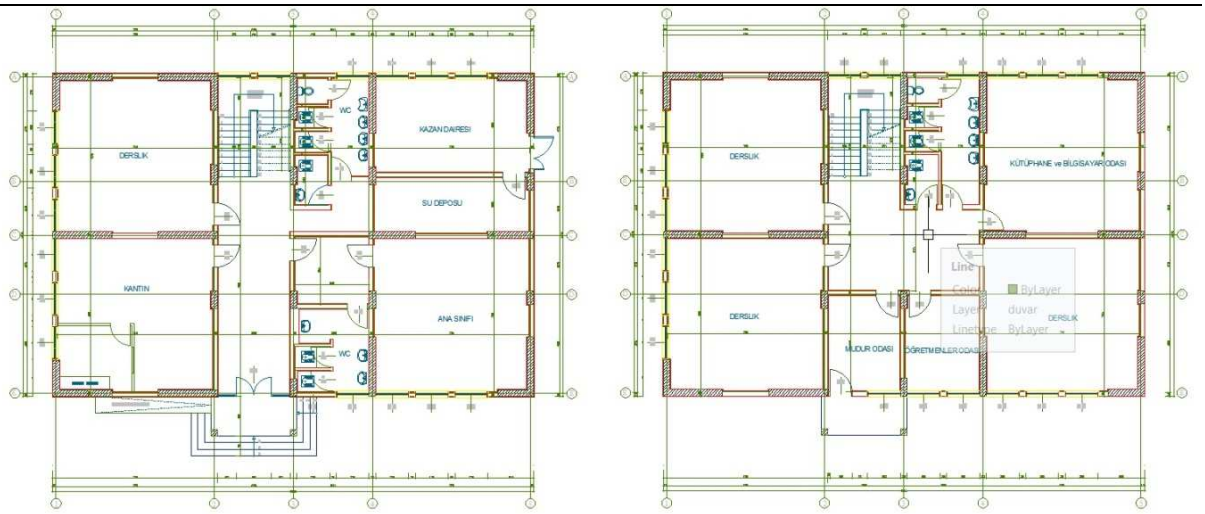


Şekil 4 – Kat planı (Proje 2)

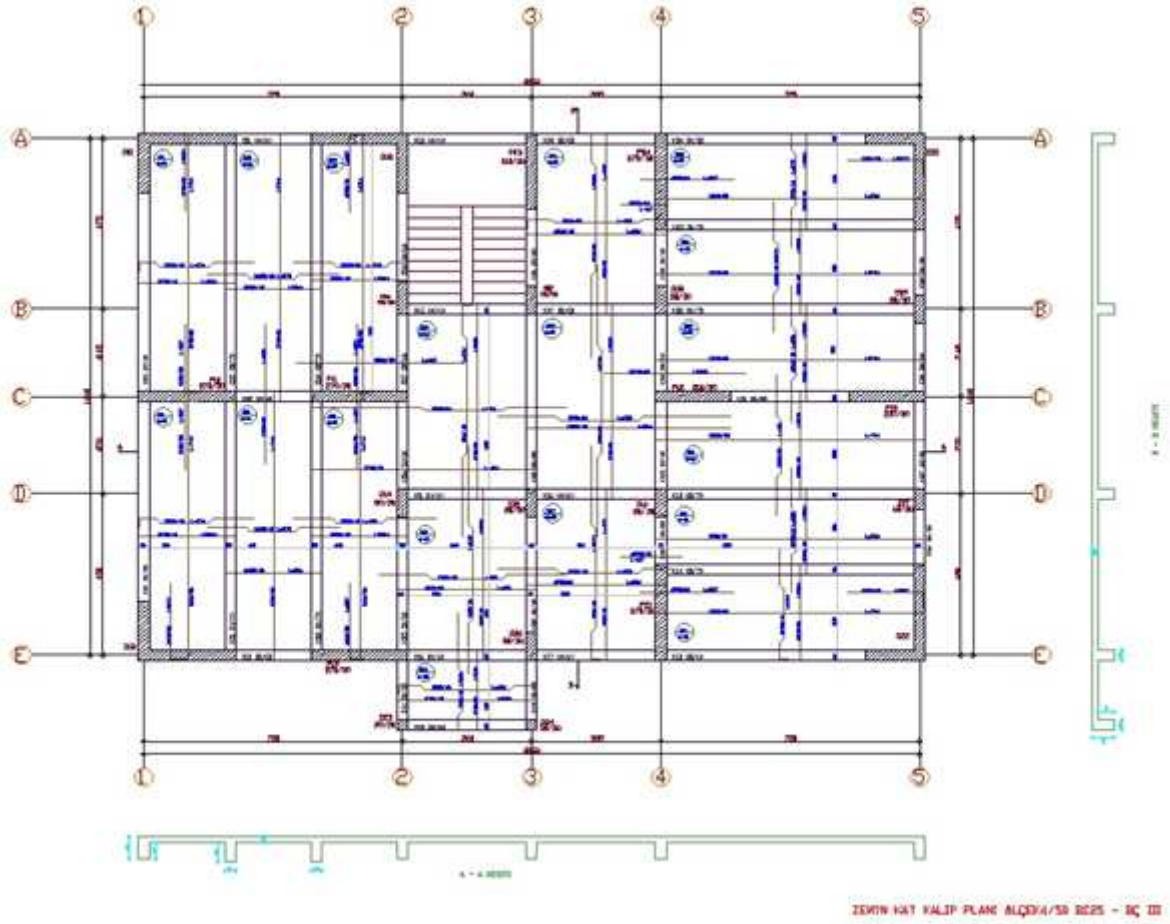


Şekil 5 – Kalıp planı (Proje 2)

Üçüncü ve son proje olan okul projesi; Hatay ili Antakya ilçesinde yapılmış olup Z+3 kattan oluşmaktadır. Toplam inşaat alanı ise 1.800,00 m^2'dir. Proje ile ilgili detaylar Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6 – Kat planı (Proje 3)



Şekil 7 – Zemin kat kalıp planı (Proje 3)

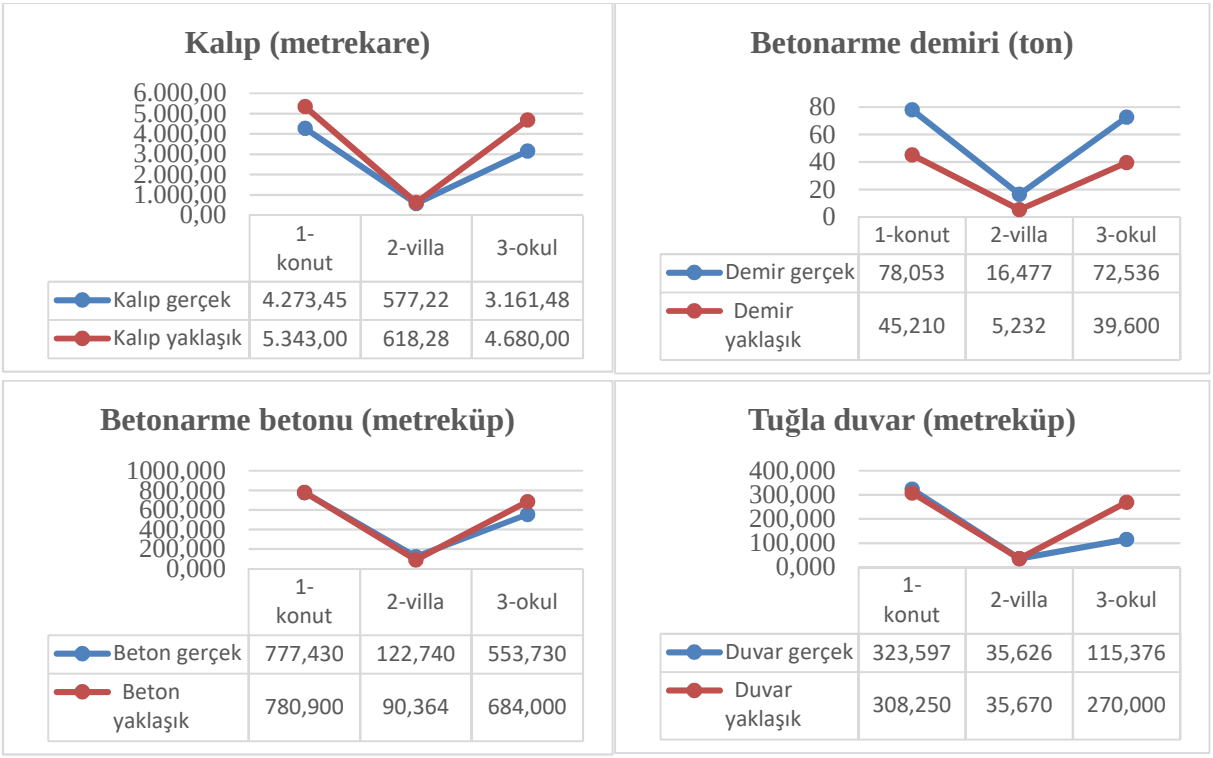
Bir sonraki aşamada, belirlenen dört farklı imalat için yaklaşık kabullere göre hesaplanan değerler ile projeden hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Yaklaşık kabullerde tuğla duvar hacim (m^3) cinsinden verildiği için projeden hesaplanan değerler de hacim olarak dikkate alınmıştır. Bu kapsamda; konut projesinde tuğla duvarın 846,11 m^2'si tam duvar, 1.543,75 m^2'si yarım duvar olmak üzere toplam 2.389,86 m^2, villa projesinde tuğla duvarın 134,47 m^2'si tam duvar, 87,32 m^2'si yarım duvar olmak üzere toplam 221,79 m^2, okul projesinde ise tuğla duvarın tamamı tam duvar olmak üzere toplam 576,88 m^2 alan hesaplanarak duvar kalınlıkları ile çarpılmış ve böylece ölçü, hacim cinsinden dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda meydana gelen sapma düzeyleri, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$S = \frac{(Mg - My)}{My} x100 \quad (1)$$

Burada; *S: (%) cinsinden yaklaşık metrajlarda meydana gelen sapmaları, M_g: gerçek metraj değerlerini ve M_y: yaklaşık metraj değerlerini* ifade etmektedir. Elde edilen hesaplar, imalat bazında kıyaslanarak Tablo 2'de ve Şekil 8'de sunulmuştur.

Tablo 2 – Yaklaşık ve gerçek metraj değerleri (1. yaklaşım)

Proje No	Toplam Yapı Alanı (m^2)	İmalat	Yaklaşık Miktar (M_y)	Gerçek Miktar (M_g)	Fark (M_g-M_y)
1 (konut)	2.055,00	Kalıp	5.343,00 m^2	4.273,45 m^2	-1.069,55 m^2
		Betonarme Demiri	45,210 ton	78,053 ton	32,843 ton
		Betonarme Betonu	780,900 m^3	777,430 m^3	-3,470 m^3
		Tuğla Duvar	308,250 m^3	323,597 m^3	15,347 m^3
2 (villa)	237,80	Kalıp	618,28 m^2	577,22 m^2	-41,06 m^2
		Betonarme Demiri	5,232 ton	16,477 ton	11,245 ton
		Betonarme Betonu	90,364 m^3	122,740 m^3	32,376 m^3
		Tuğla Duvar	35,670 m^3	35,626 m^3	-0,044 m^3
3 (okul)	1.800,00	Kalıp	4.680,00 m^2	3.161,48 m^2	-1.518,52 m^2
		Betonarme Demiri	39,600 ton	72,536 ton	32,936 ton
		Betonarme Betonu	684,000 m^3	553,730 m^3	-130,270 m^3
		Tuğla Duvar	270,000 m^3	115,376 m^3	-154,624 m^3



Şekil 8 – Proje bazında imalat miktarlarının kıyaslanması (1. yaklaşım)

Kalıp imalatı için sapma düzeyi 1 no'lu konut projesi için %-20,02, 2 no'lu villa projesi için %-6,64, 3 no'lu okul projesi için %-32,45 ve ortalama olarak %-19,70 şeklinde hesaplanmıştır. Kalıp imalatının yaklaşık metrajları üç tür projede de gerçek değerin üzerinde olup, en geçerli olduğu proje villa projesi, en geçersiz olduğu proje okul projesidir. Betonarme demiri imalatı için sapma düzeyi 1 no'lu konut projesi için %72,65, 2 no'lu villa projesi için %214,93, 3 no'lu okul projesi için %83,17 ve ortalama olarak %123,58 şeklinde hesaplanmıştır. Betonarme demiri imalatının yaklaşık metrajları üç tür projede de gerçek değerin altında olup, en geçerli olduğu proje konut projesi, en geçersiz olduğu proje villa projesidir. Betonarme betonu imalatı için sapma düzeyi 1 no'lu konut projesi için %-0,44, 2 no'lu villa projesi için %35,83, 3 no'lu okul projesi için %-19,05 ve ortalama olarak %5,45 şeklinde hesaplanmıştır. Betonarme betonu imalatının yaklaşık metrajları konut ve okul projeleri için gerçek değerin üstünde olup, villa projesi için gerçek değerin altında elde edilmiştir. Yaklaşık metrajların en geçerli olduğu proje konut projesi, en geçersiz olduğu proje villa projesidir. Duvar imalatı için sapma düzeyi 1 no'lu konut projesi için %4,98, 2 no'lu villa projesi için %-0,12, 3 no'lu okul projesi için %-57,27 ve ortalama olarak %-17,47 şeklinde hesaplanmıştır. Duvar imalatının yaklaşık metrajları villa ve okul projeleri için gerçek değerin üstünde olup, konut projesi için gerçek değerin altında elde edilmiştir. Yaklaşık metrajların en geçerli olduğu proje villa projesi, en geçersiz olduğu proje okul projesidir. Neticede dört imalat kapsamında ortalama sapma düzeyi konut projesi için %14,29, villa projesi için %61,00 ve okul projesi için %-6,40 olarak elde edilmiştir.

Uygulamanın ikinci aşaması kapsamında yaklaşık metraj ölçüleri açısından diğer bir kriter, Kuruoğlu (2003) tarafından yapılan çalışma olarak ele alınmıştır. Kuruoğlu (2003), kalite sınıflarına bağlı olarak analizi yapılmış değişik konut projelerinden elde edilen veriler yardımıyla, maliyet tahminine yardımcı değerleri üretmeye yönelik parametrik değerlerin, bir abak biçiminde uygulama örneği ile sunulmasını amaçlamıştır. Çalışma kapsamında ülkemizde yoğun olarak inşa edilen konut tipleri üç temel kalite sınıfına bölünmüştür. Bu kalite sınıflarındaki imalata esas kalemlerin, inşaat alanına bağlı olarak metrajlarını tahmin etmek için parametreler üretilmiştir [23]. Bunun yanında tüm kategori konutlar için kalıp imalatları betonarme kalıp, nervürlü demir imalatları donatı ve beton imalatları BS20 betonu olarak planlanmıştır. Duvar imalatları ise birinci kategori konutlar için tuğla duvar, ikinci ve üçüncü kategori konutlar için gazbeton duvar şeklinde planlanmıştır. Metraj katsayıları ve imalatlar ile ilgili detaylar Tablo 3'te verilmiştir.

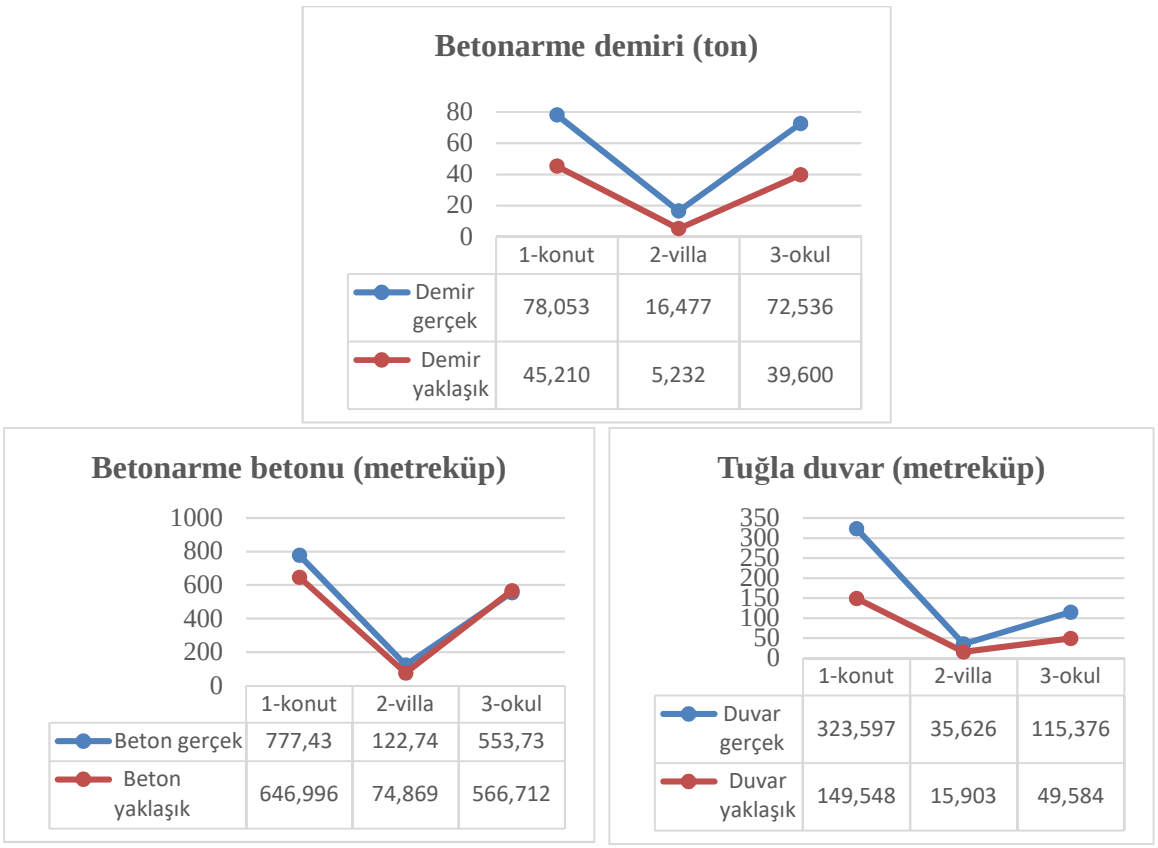
Tablo 3 – Yaklaşık metraj birim ölçüleri (2. yaklaşım)

No	İmalat Cinsi	Konutlar için Metraj Katsayısı		
		1. Kategori	2. Kategori	3. Kategori
1	Betonarme Kalıbı	2,108213 m^3/m^2	1,971000 m^3/m^2	2,108213 m^3/m^2
2	İnce Donatı	0,016917 ton/m^2	0,019441 ton/m^2	0,016917 ton/m^2
	Kalın Donatı	0,016100 ton/m^2	0,009436 ton/m^2	0,016100 ton/m^2
3	BS20 Betonu	0,314840 m^3/m^2	0,264416 m^3/m^2	0,314840 m^3/m^2
4	13,5'luk Tuğla Duvar	0,429758 m^3/m^2	**	**
	8,5'luk Tuğla Duvar	0,497641 m^3/m^2	**	**
	13,5'luk Gazbeton Duvar	**	0,431395 m^3/m^2	0,429758 m^3/m^2
	8,5'luk Gazbeton Duvar	**	0,380133 m^3/m^2	0,497641 m^3/m^2

Belirlenen metraj katsayıları kapsamında, betonarme kalıbının metraj katsayısı Kuruoğlu (2003) tarafından m^3 cinsinden hesaplandığı için dikkate alınmamıştır. Bunun dışında betonarme demiri imalatı; ince ve kalın olarak ayrılarak ilk yöntemdeki gibi toplam şeklinde yazılmıştır. Duvar imalatı da aynı şekilde tuğla duvar metraj katsayıları dikkate alınarak, toplam şeklinde ele alınmıştır. Elde edilen yaklaşık miktarlar ile gerçek miktarların kıyaslaması, Tablo 4'te ve Şekil 9'da verilmiştir.

Tablo 4 – Yaklaşık ve gerçek metraj değerleri (2. yaklaşım)

Proje No	Toplam Yapı Alanı (m^2)	İmalat	Yaklaşık Miktar (M_y)	Gerçek Miktar (M_g)	Fark (M_g-M_y)
1 (konut)	2.055,00	Betonarme Demiri	33,841 ton	78,053 ton	44,212 ton
		Betonarme Betonu	646,996 m^3	777,430 m^3	130,434 m^3
		Duvar	149,548 m^3	323,597 m^3	174,049 m^3
2 (villa)	237,80	Betonarme Demiri	3,916 ton	16,477 ton	12,561 ton
		Betonarme Betonu	74,869 m^3	122,740 m^3	47,871 m^3
		Duvar	15,903 m^3	35,626 m^3	19,723 m^3
3 (okul)	1.800,00	Betonarme Demiri	29,642 ton	72,536 ton	42,894 ton
		Betonarme Betonu	566,712 m^3	553,730 m^3	-12,982 m^3
		Duvar	49,584 m^3	115,376 m^3	65,792 m^3



Şekil 9 – Proje bazında imalat miktarlarının kıyaslanması (2. yaklaşım)

Betonarme demiri imalatı için sapma düzeyi 1 no'lu konut projesi için %130,65, 2 no'lu villa projesi için %320,76, 3 no'lu okul projesi için %144,71 ve ortalama olarak %198,70 şeklinde hesaplanmıştır. Betonarme demiri imalatının yaklaşık metrajları üç tür projede de gerçek değerin altında olup, en geçerli olduğu proje konut projesi, en geçersiz olduğu proje villa projesidir. Betonarme betonu imalatı için sapma düzeyi 1 no'lu konut projesi için %20,16, 2 no'lu villa projesi için %63,94, 3 no'lu okul projesi için %-2,29 ve ortalama olarak %27,27 şeklinde hesaplanmıştır. Betonarme betonu imalatının yaklaşık metrajları konut ve villa projeleri için gerçek değerin altında olup, okul projesi için gerçek değerin üstünde elde edilmiştir. Yaklaşık metrajların en geçerli olduğu proje okul projesi, en geçersiz olduğu proje villa projesidir. Duvar imalatı için sapma düzeyi 1 no'lu konut projesi için %116,38, 2 no'lu villa projesi için %124,02, 3 no'lu okul projesi için %132,69 ve ortalama olarak %124,36 şeklinde hesaplanmıştır. Duvar imalatının yaklaşık metrajları üç tür projede de gerçek değerin altında olup, en geçerli olduğu proje konut projesi, en geçersiz olduğu proje okul projesidir. Neticede kalıp dışındaki üç imalat kapsamında ortalama sapma düzeyi konut projesi için %89,06, villa projesi için %169,57 ve okul projesi için %91,70 olarak elde edilmiştir.

Tablo 5 – Önerilen metraj katsayıları

No	İmalat Cinsi	Betonarme Karkas			Birimi
		Konut	Villa	Okul	
1	Kalıp	2,080	2,427	1,756	m^2/m^2
2	Betonarme Demiri	0,038	0,069	0,040	ton/m^2
3	Betonarme Betonu	0,378	0,516	0,308	m^3/m^2
4	Tuğla Duvar	0,157	0,150	0,064	m^3/m^2

Çalışmada ele alınan projeler kapsamında, kaba imalat kalemleri için önerilen metraj katsayıları, Tablo 5'te sunulmuştur. Sonuçların genelleştirilebilmesi için, farklı proje türlerinden daha fazla sayıda projenin değerlendirilmesi şarttır.

4. Sonuç

Yapı birim alanına isabet eden yaklaşık metraj birim ölçüleri tablosu (1. yaklaşım) ile Kuruoğlu (2003) tarafından konut türü projeler için belirlenen metraj katsayılarını (2. yaklaşım) kıyaslamak amacıyla yapılan bu çalışmada; okul, villa ve konut olmak üzere üç tür yapım işi projesi ele alınmıştır. Birinci yaklaşım kapsamında gerçek ve yaklaşık değerler arasındaki en düşük sapma oranları; demir (%72,65) ve beton (%-0,44) imalatları için konut projesinden, kalıp (%-6,64) ve duvar (%-0,12) imalatları içinse villa projesinden elde edilmiştir. Kalıp işinin ele alınmadığı ve üç farklı kalite türündeki konut projeleri için belirlenmiş olan ikinci yaklaşım kapsamında en düşük sapma oranları; demir (%130,65) ve duvar işleri (%116,38) için konut projesinden, beton imalatı içinse okul projesinden (%-2,29) elde edilmiştir. Yöntemler arasında bir kıyaslama yapıldığında, ikinci yaklaşımdan birinci yaklaşıma göre sadece okul projesinin beton imalatında daha düşük sapma elde edildiği, diğer bütün proje türlerinde ve imalatlarda birinci yaklaşımın daha düşük sapmalar verdiği görülmüştür. Bu bulgu, benzer nitelikteki bina türü üstyapı projelerinde dahi yaklaşık metraj ölçüleri arasında önemli farklılıklar elde edilebileceğini göstermektedir. Yaklaşık metraj birim ölçülerinin (metraj katsayılarının) genel olarak yayımlanmasından ziyade, kategorilere ayrılarak yayımlanmasının daha gerçekçi olabileceği ifade edilebilir. Bu nedenle, proje türü ve sayısı artırılarak, bunun yanında yapı türleri daha spesifik olarak tanımlanarak yaklaşık metraj ölçüleri revize edilmelidir.

Teşekkür

Yazar, katkılarından dolayı lisans öğrencisi Coşkun Coşkun'a teşekkür eder.

Kaynaklar

1. Bozkurt, İ., ve Kuruoğlu, M. (2007). İnşaat Sektöründe Fizibilite Aşamasında Maliyet Tahmini Yapmakta Karşılaşılan Zorluklar ve Çözüm Önerileri Üzerine Bir Değerlendirme. 4. İnşaat Yönetimi Kongresi, 30-31 Ekim, 211-221, İstanbul.
2. Uğur, L.O., Baykan, U.N., ve Korkmaz, S. (2011). Yığma Konutların Maliyet Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının (YSA) Kullanılması. 6. İnşaat Yönetimi Kongresi, 25-27 Kasım, 223-234, Bursa.
3. Seyfi, S., Haznedaroğlu, F., Kuruoğlu, M., Kollak, S., Bozdemir, M., Sönmez, M., ve Şahin, E.S. (2017). Konut Fonksiyonlu Dört Kattan Dokuz Kata Kadar Apartman Tipi Yapılarda Yapım Maliyetinin Analizi. 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, 06-07 Ekim, 377-386, Samsun.
4. Geçim, M. (2015). Türk İnşaat Sektöründe Sürdürülebilir Yapım Maliyetine Etki Eden Faktörler. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
5. Çelik, L.Y. (2005). Türkiye'de İnşaat Sektöründe Maliyet Tahmin Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
6. Yılmaz, H.İ., ve Dikmen, S.Ü. (2012). Osmanlı Döneminde Kullanılan Yaklaşık Maliyet Tahmin Yöntemleri. NWSA-Engineering Sciences, 7(1), 73-83.
7. Hall, M., ve Tomkins, C. (2001). A Cost of Quality Analysis of a Building Project: Towards a Complete Methodology for Desing and Building. Construction Management and Economics, 19 (7), 727-740.
8. Uğur, L.O. (2007). İnşaat Firmalarının Maliyet ve Süre Belirleme Yöntemleri Üzerine Bir Alan Çalışması. 4. İnşaat Yönetimi Kongresi, 30-31 Ekim, 241-250, İstanbul.
9. Freiman, F. (1983). The Fast Cost Estimating Models. Transactions of the 27th Annual Meeting of the American Association of Cost Engineers, 26-29 June, Philadelphia PA.
10. Altınay, Ş. (2014). Merkez Ofis Giderlerinin Tespitinde Kullanılan Yöntemler ve İnşaat Sektöründe Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
11. Kaya, O.M., Aytekin, O., Kuşan, H., ve Özdemir, İ. (2010). Bina Tipi Yapılar için CAD Tabanlı Metraj Programı. Akademik Bilişim 2010 Kongresi, 10-12 Şubat, Muğla.
12. Dalcı, A. (2014). An Investigation on Some Benefits of BIM Application. Yüksek Lisans Tezi, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimağusa, Kıbrıs.
13. Güllü, M., Solmaz, M., Baybura, T., ve Turgut, B. (2017). Tehlikeli Kaya Bloklarının Düşürülmesi ve Metrajlarının Lazer Tarayıcı ile Hesaplanması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18, 27-284.
14. Arıöz, Ö., Yıldız, D., Nalçacı, M., Karaesmen, E., ve Erkay, C. (2004). Betonarme-Öngermeli Beton Taşıyıcı Sistemlerde Beton Kalitesi Yükseltilmesi Olayının Ekonomik Boyutu. Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran, İstanbul.
15. Özkan, Ö. (2004). Beton Sınıflarının Karkas Yapı Maliyetlerine Etkisi. Teknoloji, 7(1), 171-179.
16. Özkan, Ö., ve Muratoğlu, Ö. (2005). Deprem Bölgelerinin Bina Maliyetine Etkisi. Deprem Sempozyumu 2005, 647-649, 23-25 Mart, Kocaeli.
17. Türkmen M., Tekeli H., ve Kuyucular A. (2006). Betonarme Bina Maliyetlerinin Zemin Sınıfı – Kat Adedi ve Düzensizlik ile Değişimi. S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, 21(1-2), 57-65.
18. Dorum, A., Özkan, Ö., ve Erdal, M. (2006). Farklı Deprem Bölgeleri ve Farklı Zemin Sınıflarının Kaba Yapı Maliyetine Etkisi. Selçuk-Teknik Dergisi, 5(1), 1-9.
19. Şamandar, A., ve Polat, A.H. (2015). Çelik ve Betonarme Prefabrik Fabrika Yapılarında İnşaat Maliyetlerinin Karşılaştırılması. 3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 3-5 Haziran, 2451-2457, Valencia, İspanya.
20. Uğur, L.O., Akbıyıklı, R., Diriklik, A.M., ve Ayyıldız, M.A. (2017). Tünel Kalıp Sitemlerinin Geleneksel Kalıp Sistem Maliyeti ile Karşılaştırılması. 7. İnşaat Yönetimi Kongresi, 06-07 Ekim, 567-578, Samsun.
21. Bikçe, M., ve Akyol, B. (2017). Tasarlanmış Gerçek Yapılarda Asmolen/Plak Döşeme Dönüşümünün Yapı Maliyetine Etkisi. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 29(1), 133-144.

22. Arslan, Ö., Keskin, İ., ve Ateş, A. (2018). Farklı Deprem Yüklerinin Betonarme Konsol Bir İstinat Duvarının Maliyetine Etkisinin Analizi. Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler, 6, 28-35.
23. Kuruoğlu, M. (2003). İnşaatçılar için Yeni İhale Düzeninde Pratik Teklif Fiyatı Belirleme Yöntemi. İstanbul Ticaret Odası yayınları, 2003-50.
24. Bikçe, M., ve Göçer, S. (2017). Yapı Proje Hesabı Öncesinde Yaklaşık Metraj Hesabına Dair Program Çalışması. International Advanced Researches & Engineering Congress (IAREC 2017), 16-18 Kasım, Osmaniye.
25. Malcolm, R., ve Horner, W. (1991). Fundamentals of Construction Project Cost Control Systems. Organization and Management in Construction, 4th Yugoslav Symposium, Dubrownik.
26. Cattell, D. W., Bowen, P. A. ve Kaka, A. P., (2007), Review of Unbalanced Bidding Models in Construction. Journal of Construction Engineering and Management, 133(8),562-573.
27. Pancarcı, A., ve Öcal, M.E. (2005). Yapı İşletmesi ve Maloluş Hesapları. Birsen Yayınevi, 8. Baskı, İstanbul.

İnşaat Mühendisliği Bölümlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitiminin Değerlendirilmesi: Örnek Çalışma

Begüm Erten[1]

[1] İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü Sağlık Bilimleri Fakültesi, İstanbul Gedik Üniversitesi, Türkiye

Mert Tolon[2], Ebru Toy[3]

[2,3] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Gedik Üniversitesi, Türkiye

Özet

Türkiye'de her yıl gerçekleşen iş kazaları sayıları incelendiğinde inşaat sektörünün ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir. Bu durum inşaat sektörünün iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları açısından ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. İnşaat çalışmaları birçok farklı alanda mevcut olduğu gibi kendi içinde de farklı süreçlerin bulunduğu bir iş koludur. Bu durum aynı zamanda farklı çalışan gruplarının aynı alanda faaliyet göstermesini gerektirmektedir. İş kazalarının gerçekleşme sebeplerinde büyük ölçüde tehlikeli davranışların etkili olduğu bilinmektedir. Özellikle güvenlik kültürünün oluşturulması iş kazalarının önlenmesine yardımcı olacak etkenlerdendir. Bu doğrultuda iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin etkin bir şekilde verilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanabilmesi ve yaşanabilecek kayıpların önlenebilmesi için özellikle 2547 sayılı Yükseköğretim Kanunu ile iş güvenliği uzmanı olabilecek mezunları yetiştiren fakültelerde iş sağlığı ve güvenliği dersi, zorunlu ders olarak kanuna eklenmiştir. Eğitimler ders içerikleri bakımından büyük ölçüde teorik olarak verilmektedir. Ancak eğitimlerin teorik olarak verilmesi beraberinde etkinliğinin değerlendirilmesi gerektiği sorusunu da getirmektedir. Ülkemizde eğitim metotları ile ilgili çalışmalar yaygın olarak yürütülmektedir. Eğitimlerin yeni teknolojiler, inovatif ve yenilikçi yaklaşımlar ile desteklenerek verilmesi sürdürülebilirliğinin sağlanmasına destek olacaktır. Ülkemizde de bu konuda Sanal Gerçeklik (Eğitim, Tanıtım ve Organizasyon D.B.-2016/2018) gibi projeler ile eğitim uygulamaları geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada ise inşaat sektöründe mühendis, saha şefi veya iş güvenliği uzmanı olarak aktif görev alma potansiyeli bulunan inşaat mühendisliği öğrencileri ile üniversitelerde verilen iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin etkinliğinin incelenebilmesi ve geliştirilebilmesi için anket çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak anket çalışmalarından elde edilen veriler eğitim metodojilerinde yenilikçi eğitim yaklaşımları geliştirilmesi gerektiğini desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat, İş Sağlığı ve Güvenliği, Eğitim, İnovasyon, Anket çalışmaları

1.Giriş

İş sağlığı ve güvenliği (İSG) konusu son yıllarda giderek önemini arttırmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği konusunda yasal düzenlemeler, uluslararası norm ve standartlara uyumlaştırma, inovasyon, teknolojik gelişmelere entegrasyon, denetim ve eğitim gibi konularda çalışmalar yürütülmektedir. Ancak yapılan çalışmaların etkinliği, sürdürülebilirliği ve uygulanabilirliği toplumdaki güvenlik kültürü ile yakından ilişkilidir. Yapılan araştırmalar iş kazalarının yaklaşık %85-%88 oranında tehlikeli davranışlar sebebi ile gerçekleştiğini göstermektedir. Bu durum eğitim konusunun önemini desteklemektedir.

İnşaat sektörü, Türkiye ekonomisinde de lokomotif görevi üstlenen sektörler arasındadır [3]. Ancak yaşanan iş kazaları sayıları, hayatlarını kaybeden veya yaralanan işçi sayıları dikkate alındığında İSG açısından oldukça yüksek risk taşımaktadır. İnşaat sektöründe hayatlarını kaybeden çalışanların sayısının diğer sektörlere oranla üç kat daha fazla olduğu, yaralanma riskiyle ise iki kat daha fazla karşılaştığı tespit edilmiştir. Bu yönleriyle İSG konusu inşaat sektöründe en büyük endişe kaynağıdır. Özellikle kişisel koruyucu donanımların kullandırılması gibi yöntemler ile İSG açısından koruma düzeyi arttırılmaya çalışılsa da yeterli olmamaktadır [5].

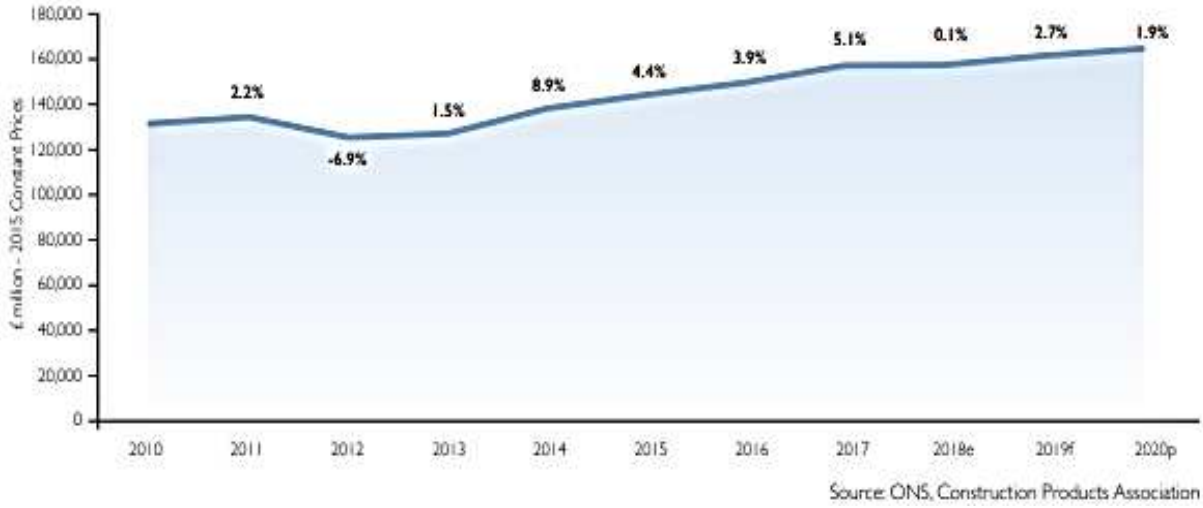
Sektörel faaliyetler düşünüldüğünde inşaatın her aşamasında birçok farklı iş kolunun birlikte çalışmak durumunda olduğu da görülmektedir. Bu nedenle inşaat sektörünü tek başına düşünmek mümkün değildir [6]. İngiltere'de yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre, ortalama yeni bir evde 150 farklı meslek kolunu ilgilendiren 23.000 parça bulunmaktadır [7]. Bu bilgiler dikkate alındığında inşaat sektöründe yaşanan kazaların azaltılması için çalışanların bilinçlendirilmesinin büyük önem taşıdığını söylemek mümkündür. Ancak eğitimlerin ve güvenlik kültürünün çalışanlar iş hayatına başlamadan verilebilirse sahada olumlu davranış değişikliklerini görme ve güvenli çalışma ortamları yaratabilme imkanı oluşacaktır.

İSG eğitimleri konusunda yasal düzenlemeler mevcuttur. Günümüz gelişmelerine uyumlaştırılmasının verilecek eğitimlerin etkinliğini arttırmada destekleyici olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada yaşanan iş kazaları oranında büyük paya sahip olan inşaat sektöründe çalışacak ve/veya İSG çalışmalarında görev alabilecek farklı üniversitelerin inşaat mühendisliği öğrencileri ile yapılan anket sonuçları değerlendirilecektir. Bu doğrultuda İSG eğitimlerinde yenilikçi ve uygulamalı yaklaşımların geliştirilmesi konusunda görüşleri belirlenecektir. Aynı zamanda İSG eğitimlerinin etkinliği ile temel kavramlar ve mevzuat bilgisi gibi konularda bilgi düzeyleri ölçülecektir.

2. İnşaat Sektöründe İSG'nin Yeri ve Önemi

Küresel açıdan bakıldığında artan nüfus ve ekonomideki payı ile paralel olarak inşaat sektörünün gelişmeye devam etmesi beklenmektedir. İnşaat sektörü içinde barındırdığı

faaliyet alanları doğrultusunda yüksek istihdam gücünü de elinde bulundurmaktadır. Şekil 1'de inşaat sektörünün büyüme oranları ve bu doğrultuda hesaplanmış olan 2018-2020 büyüme oranı tahminleri yer almaktadır.



Şekil 1. Dünya'da inşaat sektörü büyüme oranları ve tahminleri [8]

İnşaat sektörü özellikle yaşanan iş kazaları sayıları ve faaliyet aşamalarında yer alan diğer iş kolları da göz önüne alındığında İSG açısından ciddi önlemle alınması gereken bir sektördür. SGK yıllık istatistikleri incelendiğinde Türkiye'de 2017 yılında toplam 359.653 tane iş kazası meydana gelmiştir. İş kazaları istatistiklerinde yer alan 'Bina inşaatı', 'Bina dışı yapıların inşaatı' ve 'Özel inşaat faaliyetleri' başlıkları incelendiğinde gerçekleşen iş kazaları sayıları sırasıyla 34.952, 20.873, 6.977 ve toplamda 62.802 olarak verilmiştir [9]. Bu veriler 2017 yılında yaşanan iş kazalarının yaklaşık %17' sinin inşaat sektöründe gerçekleştiğini göstermektedir. İnşaat sektörü madencilik, makine/metal, ulaşım gibi sektörler ile birlikte iş kazalarının yoğun olduğu sektörler arasında yer almayı sürdürmektedir [10]. İnşaat sektöründe yaşanmış 5239 adet iş kazasının analizi sonucunda kazalara neden olan olaylar Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. İnşaat sektöründe iş kazalarına neden olan etkenlere bağlı yaralanma ve ölüm sayıları [11]

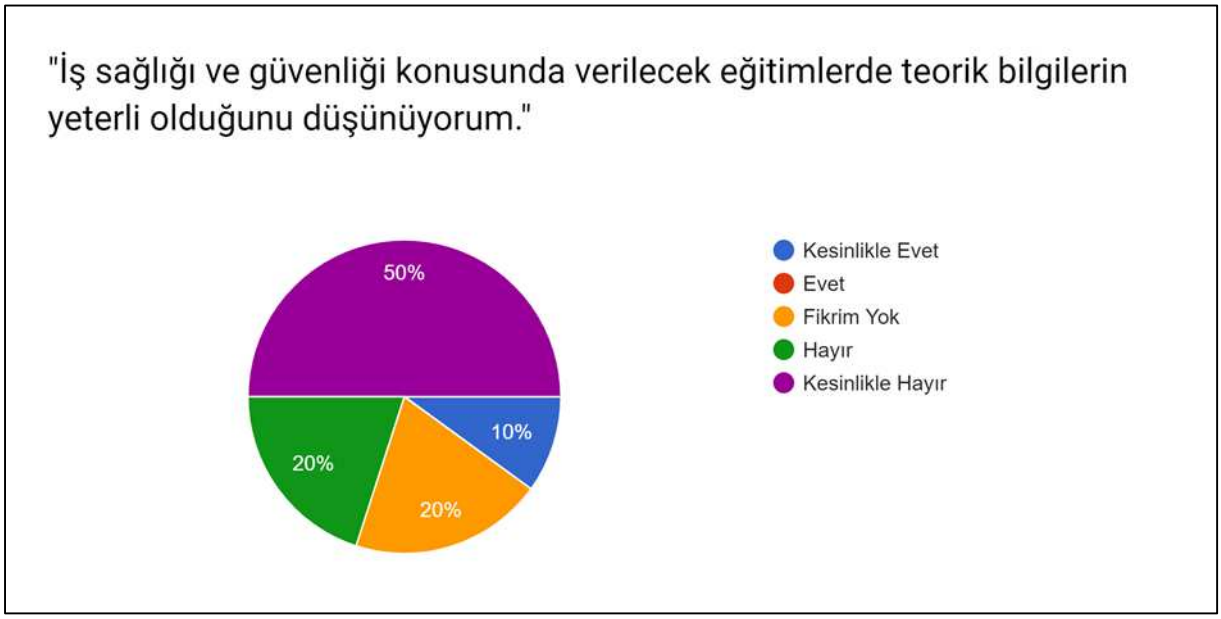
No	Kazaya Neden Olan Etken	Kaza Sonucu Yaralanan Sayısı		Kaza Sonucu Ölüm Sayısı		Toplam	
		Sayı	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)	Sayı	Yüzde (%)
1	İnsan Düşmesi	934	32,88	1028	42,87	1962	37,45
2	Malzeme Düşmesi	278	9,79	251	10,47	529	10,10
3	Malzeme Sıçraması	211	7,43	100	0,42	221	4,22
4	Kazı Kenarı Göçmesi	53	1,87	138	5,75	191	3,65
5	Yapı Kısmı Çökmesi	73	2,57	167	6,96	240	4,58
6	Elektrik Çarpması	80	2,82	293	12,22	373	7,12
7	Patlayıcı Madde Kazaları	82	2,89	50	2,09	132	2,52
8	Yapı Makinesi Kazaları	97	3,41	206	8,59	303	5,78
9	Uzuv Kaptırma	604	21,26	1	0,04	605	11,55

İnşaat sektöründe yaşanan yaralanmalı ve ölümlü kaza sayıları dikkate alınarak planlanacak İSG çalışmaları ve bu kapsamda verilecek İSG eğitimleri sektör dinamikleri doğrultusunda geliştirilmelidir. Eğitim ve bilinç düzeyinin inşaat sektöründe yaşanan iş kazaları üzerindeki etkilerini inceleyen farklı çalışmalar bulunmaktadır. Barriuso vd. İspanya'da inşaat sektöründe yer alan küçük ve orta ölçekli işyerlerinde verilen risk önleme üzerine eğitimlerin analizini yapmışlar ve inşaat sektöründe yapılacak risk önleyici eğitimlerin profesyonellik gerektirdiği sonucuna ulaşmışlardır [10] [12]. Altın vd. hatalı kurulan kalıp ve iskelelerden kaynaklı oluşan iş kazaları üzerine yaptıkları çalışmada yüksekte çalışma faaliyetlerinde, çalışanların eğitim ve bilinç seviyelerinin yüksek olması gerektiğini belirtmişlerdir [10] [13].

3. Metodoloji

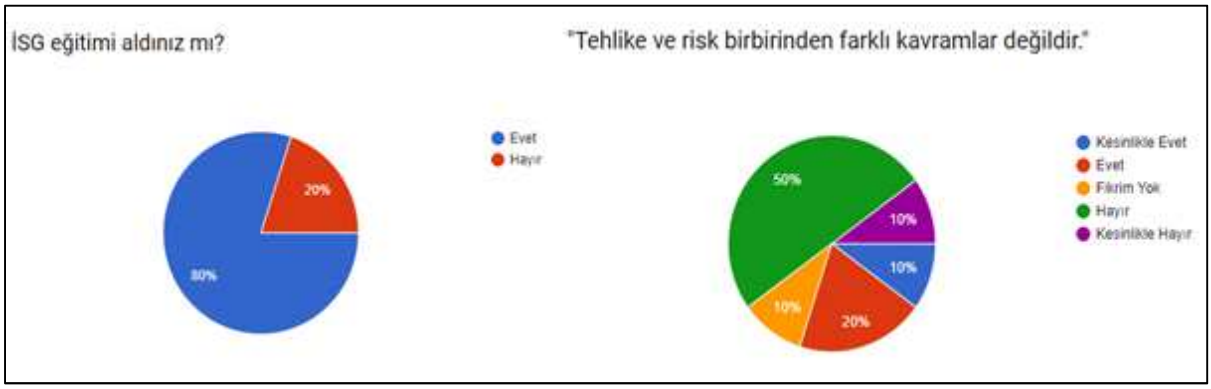
Bu çalışmada özellikle çalışma hayatına başlamadan önce verilecek İSG eğitimlerinin önemi ve eğitimlerin uygulamalı olmasının etkinlik üzerindeki etkileri vurgulanmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla farklı üniversitelerin inşaat mühendisliği öğrencileri ile 5'li Likert ölçek yardımı ile 20 sorudan oluşan anket çalışması yapılmıştır. Anket soruları iki ana temaya ayrılmıştır. 10 sorudan oluşan ilk bölümde, öğrencilerin İSG eğitimi alma oranları, İSG eğitimleri konusundaki düşünceleri ve genel bilgi düzeyleri incelenmiştir. 10 sorudan oluşan ikinci bölümde ise inşaat sektöründe İSG , İSG'nin temel kavramları ve duyarlılık düzeyleri gibi konulara odaklanılmıştır. Anket formları öğrencilere online olarak gönderilmiştir. Gelen cevapların yüzdesel dağılımları ve verilen cevapların ilişkisi yorumlanmıştır. Ankete katılan öğrencilerin yoğun olarak İSG eğitimlerinde teorik bilginin yeterli olmadığı yönünde cevaplar alınmıştır. Grafik 1'de bu doğrultuda verilen cevapların yüzdesel dağılımlarından bir örnek verilmektedir.

Grafik 1. İsg eğitimlerinin teorik verilmesine katılımcı görüşlerinden bir örnek



Ankete katılım sağlayan üniversite öğrencilerinin cevapları değerlendirilirken aynı zamanda İSG eğitimi alma oranlarına dikkat edilmiştir. Grafik 2'de yüksek oranla İSG eğitimi aldığı yönünde cevap vermiş olan öğrencilerin İSG'nin temel kavramları olan tehlike ve risk kavramları ile karşılaştırılması verilmiştir. Anket yanıtlarında %80 oranında İSG eğitimi aldığı yönünde cevap veren öğrencilerin tehlike ve risk kavramlarını %50 oranında tam olarak ayırt edemediği görülmüştür.

Grafik 2. İsg eğitimi ve temel kavramlar arasındaki bilgi düzeyinin karşılaştırılması üzerine bir örnek



Ankete katılım sağlayan öğrencilerin İSG eğitimlerinin uygulamalı olması yönünde verdikleri cevaplar, kendilerine yöneltilen diğer sorulara verdikleri cevaplar ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışma sonucunda İSG eğitimlerinin etkinliği açısından uygulamalı eğitim modellerine daha fazla yer verilmesi gerektiği düşüncesi desteklenmiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

Ankete katılım sağlayan öğrencilerin yaklaşık %40'ı İSG eğitimi aldığını belirtmektedir. İSG eğitimi alanların %37'sinin İSG eğitimini üniversitede aldığı belirlenmiştir. Bu veriden yola çıkarak İSG eğitimi alan öğrencilerin yoğunlukla üniversite döneminde İSG eğitimi aldığı tespit edilmiştir.

Ankete katılım sağlayan öğrencilerin İSG eğitim alma oranları ile uyumlu olarak yaklaşık %40 oranında İSG mevzuatı hakkında bilgi sahibi olduğu yönünde cevap alınmıştır. Ancak aynı öğrenciler 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu hakkında %17 oranında bilgi sahibi olduğu yönünde cevap vermiştir.

İSG temel kavramlarından tehlike ve risk arasındaki farkı anketi yanıtlayan öğrencilerin %40'ının ayırt edemediği görülmüştür. Tehlikeli durum ve davranış arasındaki farkı ise ankete katılım sağlayan öğrencilerin %28'i açıklayabileceğini belirtmiştir. Bu durum İSG eğitimi alan öğrenci yüzdesi dikkate alındığında oldukça düşük olduğu sonucuna varılabilmektedir.

İSG eğitimi alan öğrenciler katılımcıların %40'ını oluşturmasına karşılık %66'sı inşaat sektöründe yaşanan iş kazaları ve meslek hastalıklarını bildiğini, %75'i ise inşaat sektöründe kullanılması gereken kişisel koruyucu donanımları ve yine %75'i inşaat sektöründe yaşanan kazaların sebeplerini bildiklerini belirtmiştir. Bu durum inşaat sektörü konusunda bilgi sahibi olunduğunu göstermektedir. Ancak bu algının aksine inşaat sektörü uygulamada en çok iş kazası yaşanan sektörler arasındadır. Bu doğrultuda bilgi eksikliğinden öte uygulama eksikliğinin olduğu anlaşılmaktadır.

Anket çalışmasına katılım sağlayan öğrencilerin %70'i İSG konusunda bir öğrenci olarak gereken hassasiyeti gösterdiklerini belirtmişlerdir. Ancak çevrelerinde İSG konusunda bir sorun görmeleri durumunda ilgililere haber verme şeklinde göstermeleri beklenen duyarlılığın davranışlara %45 oranında yansıdığı görülmüştür. Bu veriler öğrencilerin İSG açısından bireysel olarak hassasiyet gösterdikleri ancak çevrelerindeki sorunlara duyarlılık konusunda beklenen davranış biçimini benimsemediklerini göstermektedir.

Anket soruları doğrultusunda katılımcı öğrencilerin %90 oranında İSG'yi ekip çalışması olarak gördüğü tespit edilmiştir. Bu sonuç, İSG eğitimi alan öğrencilerin eğitimleri sırasında ekip olarak çalışmayı öğrenmesi ve uygulamalı eğitim metotları ile sektörde çalışmaya başlamadan önce İSG açısından sağlıklı ve güvenli davranışları hayatına adapte etmesi gerektiği düşüncesini desteklemektedir.

İSG eğitimleri birçok üniversitede ders planlarına eklenmektedir. Ancak eğitim planları incelendiğinde derslerin teorik içerikler ile verildiği görülmektedir. Ankete katılan öğrenciler %80 oranında İSG eğitimlerinin uygulamalı olarak verilmesi yönünde görüş bildirmiştir. Verilen cevaplar bu çalışmanın temel amaçlarını desteklemiştir. Eğitimde sürdürülebilirliği, etkinliği ve yenilikçi yaklaşımların benimsenmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Referanslar:

1. Doğan, B., Yalçınkaya, C., ve Balcı, M.G. 2017, "Türkiye'de Mühendislik Fakültelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi" Engineer and Machinery vol 58, no 685, p. 1-15.
2. "Türkiye'de İnşaat Mühendisliği Eğitimine İnşaat Mühendisliği Bölümleri, İnşaat Mühendisliği Öğrencileri, İnşaat Mühendisleri ve İnşaat Sektörüyle Genel Bir Bakış" İnşaat Mühendisleri Odası İnşaat Mühendisliği Eğitimi Kurulu tarafından hazırlanan rapor
3. Yılmaz, M., Yıldız, S. , Bakış, A., Kanıt, R., 2017, " Bir Bütün Olarak İş Sağlığı Güvenliği ve Yapı Denetim Mevzuatı: Yapı Denetim Görevlilerinin Kamu İnşatlarında İş Sağlığı Güvenliği Denetimine Etkileri", DÜMF Mühendislik Dergisi, cilt 8, sayı 3, s. 433-442
4. Özer, K., 2008, "İnşaat Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Semineri", http://212.175.131.61/www.isggm.gov.tr/htdocs/article.php?article_id=195, Erişim tarihi:15.05.2019
5. Niu, Y., Lu, W., Xue, F., Liu, D., Chen, K., Fang, D., Anumba, C., 2019, Towards The "Third Wave": An SCO-Enabled Occupational Health and Safety Management System For Construction", Safety Science, no 111, p. 213-223, https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.013
6. Obuz, S., Özyaral O., 2016, "İnşaat Sektöründe Çalışanların İş Sağlığı Ve Güvenliği Hakkındaki Bilgi Düzeyleri", T.C. İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı Ve Güvenliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi

7. INTES Türkiye İnşaat Sanayicileri İşveren Sendikası**, "**İnşaat Sektörü Raporu", 2018, https://intes.org.tr/wp-content/uploads/2018/05/SEKT%C3%96R-RAPORU.pdf , Erişim Tarihi: 15.05.2019
8. Construction Industry Forecasts 2018-2020, 2018, https://www.euf-federation.com/wp-content/uploads/2018/05/CPA-Construction-Forecasts-Spring-2018.pdf , Erişim Tarihi: 10.05.2019
9. Sosyal Güvenlik Kurumu, "İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İstatistikleri", http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari , Erişim Tarihi: 16.05.2019
10. Hacıbektaşoğlu, S., E., 2018, "İnşaat Sektöründe Yaşanan İş Kazalarının Analizi Ve Bu Kazalara Neden Olan Etkenlerin İncelenmesi" , SSAD Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, vol 2, no 3, p. 159-176
11. Müngen, U., 2011, "İnşaat Sektörümüzdeki Başlıca İş Kazası Tipleri", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, sayı: 469, s. 32-39
12. Barriuso, A. R., Escribano, B. M. V., Canamares, M. S., Garcia, M. N. G., Saiz, A. R. , "Analysis and diagnosis of risk-prevention training actions in the Spanish construction sector", 2018, Safety Science, sayı: 106, s. 79-91. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.023
13. Altın, M., Kapıdaş, İ. F., Lorasokkay, M. A. , 2017, "Hatalı kurulan kalıp ve iskeleler sonucu meydana gelen iş kazalarının inşaat maliyetine ve ülke ekonomisine olan etkileri", Selçuk-Teknik Dergisi, sayı: 16, s. 55-70

YAPIM İŞLERİNDE KAYNAK DENGELEME PROBLEMLERİ İÇİN SEZGİSEL YÖNTEMLERİN UYGULANMASI (Oral)

Nursultan OROZBAEV[1] ,Tayfun DEDE[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, Turkey
Emails: dtayfun@ktu.edu.tr, nushke93@gmail.com.

Özet

Yapım işlerinde kaynak kullanımında büyük farklılıklar ile ilgili zorluklardan kaçınmak için projede kaynak dengeleme gerekmektedir. Bu çalışmada kaynakların kısıtlı olmasından dolayı karşılaşılan problemlerin çözümü incelenmektedir. Faaliyetlerin aksamadan gerçekleştirilebilmesi için doğru kaynağın, doğru zamanda istenilen miktarda hazır olması gerekmektedir. Faaliyetlerde gerçekleştirilen kaynak çakışması da önemlidir. Projenin tamamlanması için gerekli zamanı en aza indirmek (optimize) için yürütme sürecinin en uygun parametrelini ve göstergelerini (tüm çalışmaları başlatmak ve tamamlamak için erken ve geç tarihler, uygun zaman rezervleri, vb.) belirlemek gerekir. Bu çalışmanın özgünlüğü kaynak dengeleme problemleri güncel sezgisel yöntemlerle ele almaktır. Projelerin karmaşıklığı nedeniyle, kaynak tahsisi ve tesviye, temel olarak optimum çözümleri garanti edemeyen buluşsal prosedürler kullanılarak çözülen iki ayrı alt problem olarak ele alınmaktadır. Bu nedenle, iş aktiviteleri ağının optimizasyonu, mevcut sınırlamaları göz önünde bulundurarak, kompleksin minimum (yönerge) uygulama süresini veya her tür kaynağın dağıtımını gerçekleştirmek için ağın kademeli olarak iyileştirilmesini ifade eder. Çoğu zaman, ağ grafikleri ilk önce "zaman" parametresi tarafından, kısıtlamaları dikkate almadan optimize edilir ve belirtilen zaman sınırına ulaşıldığında, kaynakların dağıtımını ayarlamaya başlarlar. Bireysel kaynak türleri için ayarlama sırası, her birinin özel koşullarına bağlı olarak belirlenir. Çoğu zaman, kaynak optimizasyonu aşağıdaki kriterlere göre yapılır:

a) Zaman- iş gücü kaynakları.
b) Zaman- maddi kaynaklar.
c) Zaman- nakit masrafları.

Bu çalışmada çözümünde güncel sezgizel yöntemler dikkate alınarak MATLAB bilgisayar programla dili yardımıyla bir arayüz programı geliştirilmektedir.

Keyword(s): Kaynak dengeleme problemleri, optimizasyon, inşaat proje.

1. Giriş

Proje yönetimi, sınırlı kaynakların kullanıldığı, faaliyetlerin etkin ve verimli bir şekilde koordinasyon ve entegrasyon sürecidir. Kaynakları kendi teslim edilebilirlerine bağlamak ve onları tüm projeye birleştirmekten ibarettir. Kaynak yönetimi, proje yönetiminin temel bir unsurudur kaynak yönetimi, projenin zamanında ve maliyette tamamlanmasını ve kalitenin önceden tanımlandığı şekilde olmasını sağlar. Aslında, proje çizelgeleme problemleri, uygulayıcıların çizelgeleme sürecinde uğraştıkları, özellikle projenin öngörülen üretim süresini arttırmadan en verimli kaynak tüketimini sağlamaları gerektiğinde, en önemli sorunlardan biridir (Hegazy 1999).

Kaynak dengeleme problemi, yeterli kaynak bulunduğunda ortaya çıkar ve kaynak kullanımı düzenindeki dalgalanmaları azaltmak için gereklidir. Bu dalgalanmalar çok istenmeyen bir durumdur çünkü yüklenici için çoğu kez emek, kullanım ve finansal zorluklar ortaya çıkarırlar. Programlama amacı, kaynak gereksinimlerini mümkün olduğunca tekdüze yapmak veya bazı durumlarda istenen tekdüze olmayan kaynak dengeleme eşleştirmelerini sağlamaktır(Harris 1978) . Kaynak tesviyesinde, kaynak limiti yoktur ve süreç, sadece mevcut değişkenler içindeki kritik olmayan aktiviteleri değiştirerek gerçekleştirilir. Orijinal kritik yolun proje süresi sabit kalır (Sonmez 2012).

Kaynak dengeleme için sayısız analitik yöntem geliştirilmiştir, bunların hemen hepsi doğada sezgiseldir. Bu sezgisel yöntemlerin örnekleri (Burgess, A. R., and Killebrew 1962). Bu yöntemlerin temel fikri, kritik olmayan etkinlikleri, bazı kurallara göre sistematik bir düzende kaydırmaktır. Sezgisel yöntemler çok büyük projeleri ele alabilir, ancak sağladıkları çözüm mutlaka optimum değildir (Rao 1976).

Kaynak dengeleme problemini optimizasyonla çözmek için çok az çalışma yapılmıştır (Antill ve Woodhead, 1990). Tüm olası çözümlerin tam numaralandırmasını kullanan bir model (Ahuja 1976)tarafından sunulmuştur. Model, mevcut değişkenleri içindeki tüm olası faaliyet kombinasyonlarını numaralandırarak dönemler arası kaynak değişikliklerini en aza indirir. Ancak, sayı olarak Kaynak dengeleme problemlerini optimizasyon kaldırabilecek verimli algoritmaların geliştirilmesi ile, kaynak dengeleme optimizasyon modeli verimli bir şekilde çözülebilir. Kaynak dengele problemlemi bu optimizasyon işlemini sadece kritik olmayan faaliyetlerin başlangıç tarihini kısıtlamaları göz önüne alarak değiştirerek gerçekleştirir. Kaynak dengeleme problemi NP-Tam (NP-complete) zorluk derecesine sahip bir problemdir. Problemin büyüklüğü artınca çözüm uzayının genişliği çok daha hızlı biçimde artar ve çözüm süresi uzar.

2. **Jaya algoritması ile problemin optimize edilmesi**

Bu bölümde, literatürdeki problemlerden yola çıkılarak, Matlab programı yardımıyla kaynak dengeleme problemine optimize edecek bir yazılım tasarlanmıştır. Problemlerde projelerin aktiviteleri, bağlamları (önceki ve sonraki aktivite) ve minimum-maksimum insan kaynakları verilmiştir. Kaynak atamaları excel veri ortamına işlenmiş ve buradan Matlab programına çekilmiştir. Bu yazılımda Jaya algoritması kullanılarak, kaynak dengeleme optimizasyonu yapılmıştır.

Jaya algoritmasındaki temel ilke rastgele oluşturulan bir başlangıç popülasyonla başlayarak, en iyi çözüme doğru ilerlemek ve en kötü çözümden kaçınmaktır. En iyi çözüm, amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum değerini tasarım değişkenlerinin kombinasyonu olarak tanımlanır. Yöntemin avantajı, yalnızca genel kontrol parametrelerinin gerekli olmasıdır.

3. Sayısal Örnekler

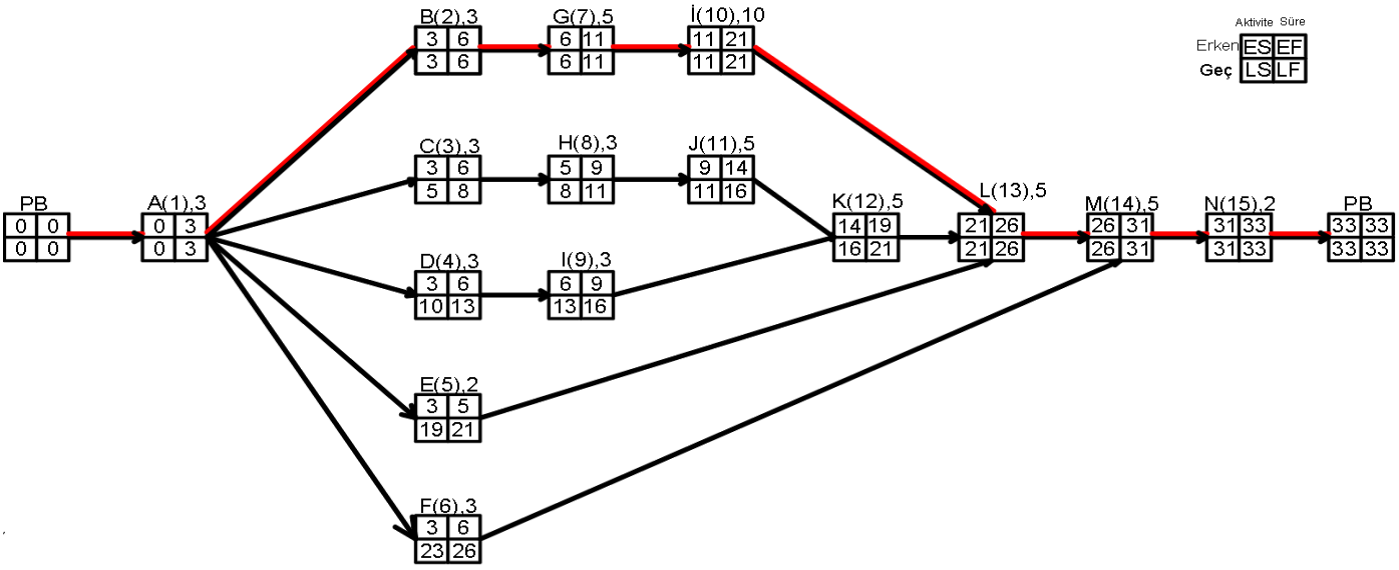
3.1. **15 aktiviteli iş planlaması**

Proje 15 aktiviteden oluşmaktadır. Problemde: aktivite sayısı, önceki aktivite, süre, normal iş gücü ve minimum iş gücü verilmektedir. Örneğim 10 nolu aktivite 7 nolu aktivite bitmeden başlamamakta ve günlük kaynak sayısı 4,toplamda 10 gün sürmektedir.

Tablo 1. 15 Aktiviteli kaynak dengeleme problem verileri

dv	pre activity			time of activity	resource	min.res
1				3	2	2
2	1			3	2	2
3	1			3	2	2
4	1			3	2	2
5	1			2	1	1
6	1			3	2	2
7	2			5	4	4
8	3			3	2	2
9	4			3	2	2
10	7			10	4	4
11	8			5	2	2
12	9	11		5	3	3
13	5	10	12	5	4	4
14	6	13		5	4	4
15	14			2	2	2

Problem 1 için kritik yol yöntemi (CMP) elde edilmiştir. Aktivitelere göre bolluk hesapları ve bolluğa sahip 15 aktivite ile oluşturulabilecek erteleme kombinasyonları sunulmuştur.



Şekil 1. CPM Şebeke ok diyagramı**.**

Tablo 2. 15 aktiviteli kaynak denge problemi optimizasyondan öncesi verileri

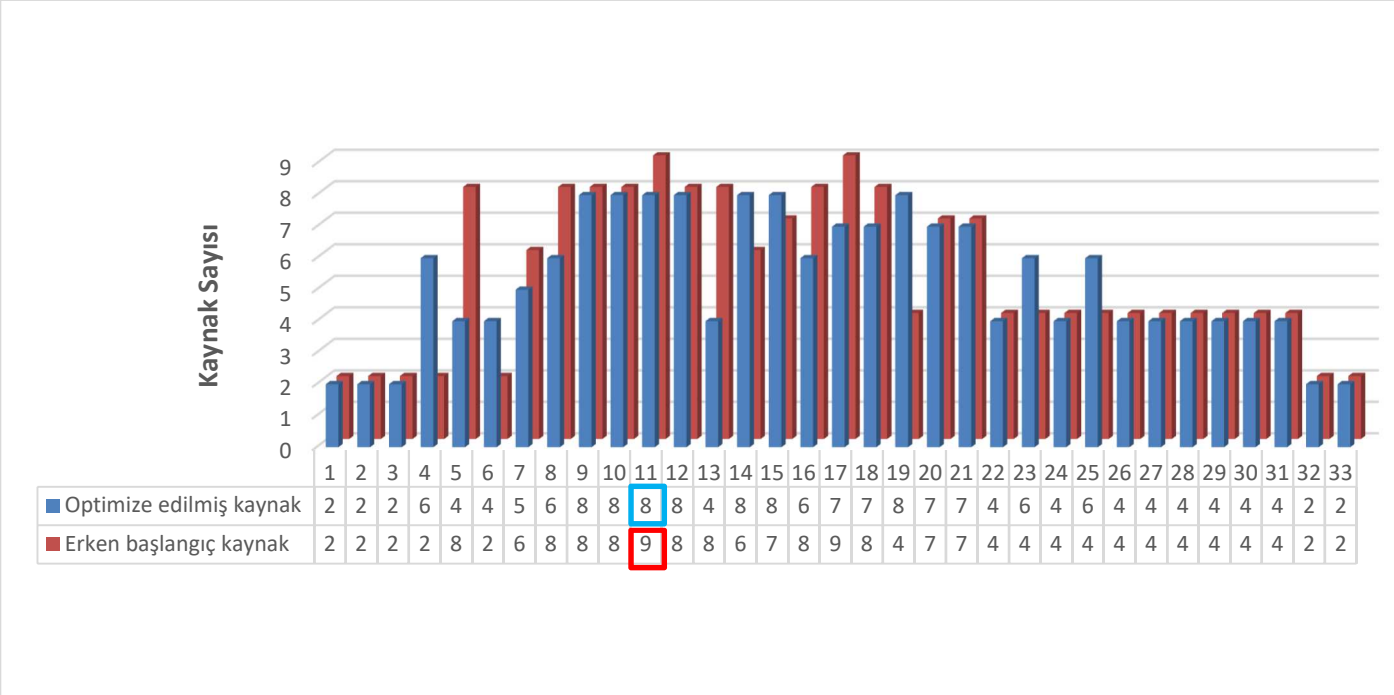
1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	3	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	2	2	2	2	8	2	6	8	8	8	9	8	8	6	7	8	9	8	4	7	7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2

Tablo 2'de kaynak denge problemi optimizasyonu yapılmadan önceki veriler görülmektedir. CPM ağı oluşturulmuş Problem 1'deki aktivitelerden, 1-2-7-10-13-14-15 kritik aktiviteleri göstermektedir. Örnekte de görüldüğü üzere 11 ve 17. günlerde 9'a kaynağa ihtiyaç bulunmaktadır.

Tablo 3. 15 aktiviteli kaynak denge problemi optimizasyon sonrası verileri.

1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	4
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	2	2	2	6	4	4	5	6	8	8	8	8	4	8	8	6	7	7	8	7	7	4	6	4	6	4	4	4	4	4	2	2

Tablo 3 de optimizasyondan sonra kaynakların sayısı gösterilmektedir. Yukarıdaki verilerden sonra 11 ve 17 deki aktivitelerdeki kaynak sayısı 8'e düşmüştür.



Şekil 2. 15 aktiviteli yapım işi için kaynak histogramı

Şekil 1'de optimizasyondan önceki ve sonraki sonuçları gösterilmiştir. Kırmızı renk olan optimize öncesidir ve burada 11 ve 18 günlerdeki kaynak sayısı minimize edilmiştir. Optimizasyon sonrası kaynak kullanım durumu mavi renk ile işaretlenmiştir. Şekilden görüleceği üzere optimize edilmiş olan mavi kaynak kullanım durumu kırmızı renk ile gösterilen optimize edilmemiş kaynak kullanımından daha azdır. Bu azaltma kaynakların dengelenmesi ile elde edilmiştir.

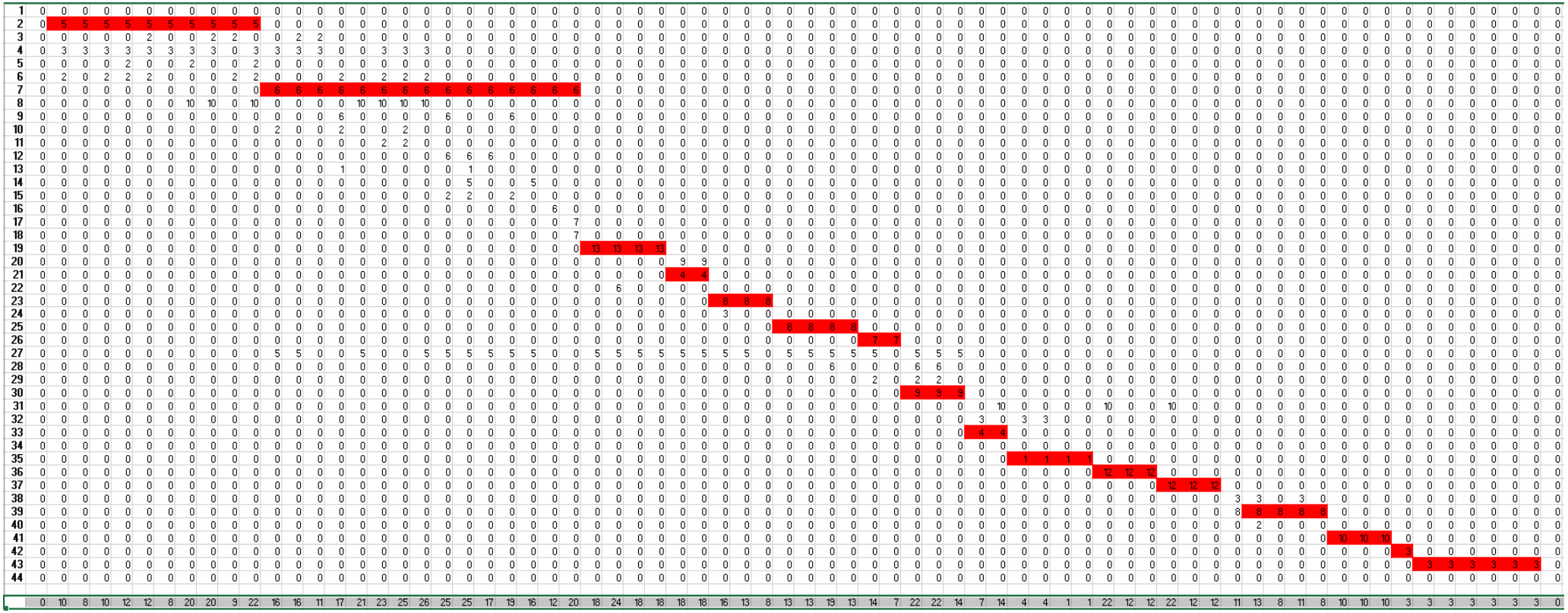
3.2. **44 aktiviteli iş planlaması**

Proje 44 aktiviteden oluşmaktadır. Problemde: aktivite sayısı, önceki aktivite, süre, normal iş gücü ve minimum iş gücü aşağıdaki tabloda verilmektedir. Problemde 2-7-19-21-23-25-26-30-33-35-36-37-39-40-41-42-43 nolu sayılar kritik yoldur. Yukarıda problem 1 de yazıldığı gibi 12 nolu aktivite 4-5-11 aktiviteler bitmeden önce yapılmaz. 41 nolu aktivite yapılması için 38-39-40 aktivite işlemleri bitmesi gerekmektedir. CPM yöntemi ile elde edilen hesaplamalara göre proje süresi 72 gündür

Tablo 4. 44 aktiviteli kaynak denge problemi verileri

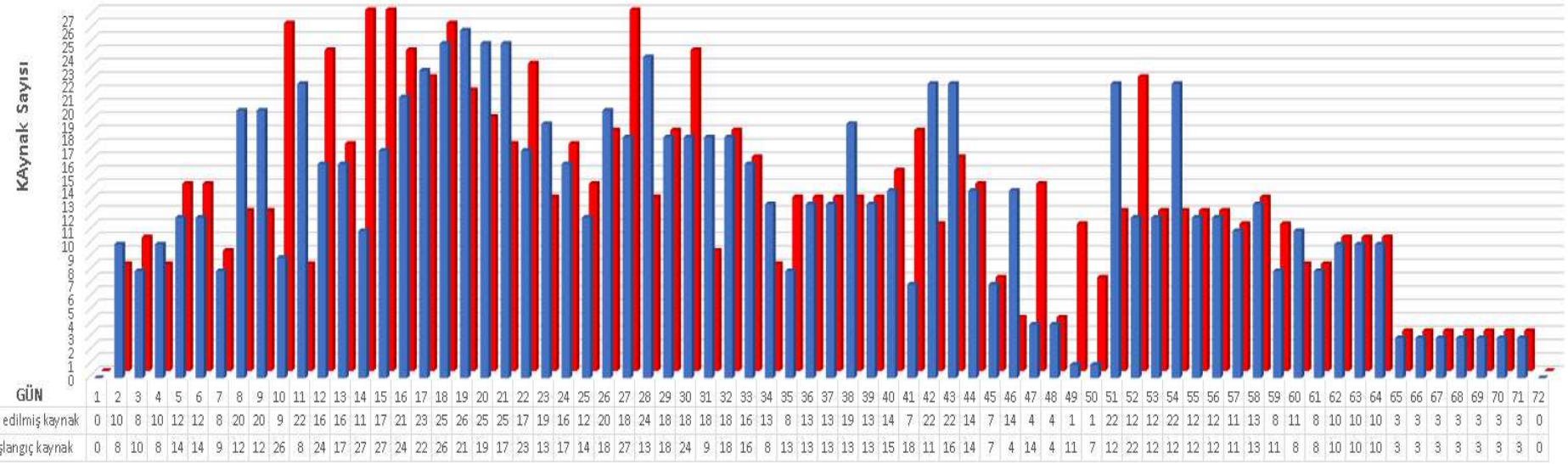
dv	pre activity				time of activity	resource	min.res
1					1	0	0
2	1				10	5	5
3	1				5	2	2
4	1				15	3	3
5	1				3	2	2
6	1				10	2	2
7	2				15	6	6
8	3				7	10	10
9	5				3	6	6
10	5				3	2	2
11	5				2	2	2
12	4	10	11		3	6	6
13	10				2	1	1
14	8	12			2	5	5
15	12	13			3	2	2
16	14				1	6	6
17	15				1	7	7
18	16				1	7	7
19	7	9	17	18	4	13	13
20	15	18			2	9	9
21	19				2	4	4
22	20				1	6	6
23	21				3	8	8
24	22				1	3	3
25	23	24			4	8	8
26	25				2	7	7
27	6				25	5	5
28	23				3	6	6
29	23				3	2	2
30	26				3	9	9
31	30				3	10	10
32	30				3	3	3
33	27	29	30		2	4	4
34	32				1	0	0
35	33				4	1	1
36	34	35			3	12	12
37	36				3	12	12
38	28	31	37		3	3	3
39	28	31	37		5	8	8
40	36				1	2	2
41	38	39	40		3	10	10
42	41				1	3	3
43	42				6	3	3
44	43				1	0	0

Tablo 5. 44 aktiviteli problemin kaynakların optimizasyonu.



Tabloda kritik yol kırmızı renk ile işaretlenmiştir. Kritik olmayan aktivitelerin hesap bolluklarına göre kaynak dengele yapılmıştır.

Şekil 3. 44 aktiviteli problem için kaynak histogramı



GÜN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Optimize edilmiş kaynak	0	10	8	10	12	12	8	20	20	9	22	16	16	11	17	21	23	25	26	25	25	17	19	16	12	20	18	24	18	18	18	18	16	13	8	13	13	19	13	14	7	22	22	14	7	14	4	4	1	1	22	12	12	22	12	12	11	13	8	11	8	10	10	10	3	3	3	3	3	3	3	0
Erken başlangıç kaynak	0	8	10	8	14	14	9	12	12	26	8	24	17	27	27	24	22	26	21	19	17	23	13	17	14	18	27	13	18	24	9	18	16	8	13	13	13	13	13	15	18	11	16	14	7	4	14	4	11	7	12	22	12	12	12	12	11	13	11	8	8	10	10	10	3	3	3	3	3	3	3	0

Şekil 3'de optimizasyondan önceki ve sonraki sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır. Kırmızı renk olan optimize öncesidir ve burada 14-15 ve 27 günlerdeki kaynak sayısı aşağıya inmiştir. Mavi renk olan optimize sonrası olarak belirtilmiştir. Kaynak sayısı 26 ya minimize edilmiştir.

Sonuç

Bu çalışmada literatürden alınan 15 ve 44 aktiviteli olmak üzere 2 proje incelenmiştir. Projelerin her birinin aktivite sayıları ve bağımlılık ilişkisi farklıdır. Çalışmada aktivite sayısına ve kritik olmayan aktivitelerin bolluk miktarlarına bağlı olarak arama uzayının ve problemin değiştiği görülmektedir. İncelenen problemler, aktivite sayısı ve arama uzayı büyüklüğü ile analiz edilerek, grafiklerde gösterilmiştir. Popülasyon boyutu, tekrar sayısı ve diğer parametrelerin uygun seçilmemesi durumunda hesaplama süresi artmaktadır. Çalışmada dikkate alınan sezgisel yöntem olan Jaya ile kaynak dengeleme problemi optimize edilerek başlangıçta daha fazla gereksinim duyulan kaynaklar azaltılabilmiştir.

Kaynaklar.

1. Ahuja, Hira N. 1976. Construction Performance Control by Networks. New York; Toronto: Wiley.
2. Antill, James M, and Ronald W Woodhead. 1990. Critical Path Methods in Construction Practice. John Wiley & Sons.
3. Burgess, A. R., and Killebrew, J. B. 1962. “No Title.” J. Industrial Engrg (Variation in activity level on a cyclic arrow diagram): 76–83.
4. Harris, R. 1978. New York: John Wiley and Sons. Precedence and Arrow Networks for Construction.
5. Hegazy, Tarek. 1999. “Optimization of Resource Allocation and Leveling Using Genetic Algorithms.” Journal of construction engineering and management 125(3): 167–75.
6. Iranagh, Mahdi Abbasi, and Rifat Sonmez. 2012. “A Genetic Algorithm for Resource Leveling.” (September): 1047–54.
7. Rao, Singiresu S. 1976. 27 Journal of the Operational Research Society Engineering Optimization.

Yapı Malzemeleri Sektörünün Finansal ve Niteliksel Açıdan Değerlendirilmesi

Sibel YEŞİLTAŞ[1], Olcay GENÇ[2], Ercan ERDİŞ[3]

[1]İskenderun Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Öğrencisi, İskenderun, Hatay
[2,3] İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun
Emails: yesiltas_sibel@hotmail.com, olcay.genc@iste.edu.tr, ercan.erdis@iste.edu.tr

Özet

Finansal verilerin doğru yorumlanması, firmaların normal ve kriz dönemlerinde strateji geliştirmeleri ve rekabet edebilmeleri açısından önemlidir. Buna karşın firmaların, yönetim anlayışı, sektör içindeki yeri, verimlilik ve kapasite artırıcı yatırımları gibi niteliksel özelliklerini dikkate almadan, sadece finansal bilgilerini dikkate alarak yaptıkları değerlendirmeler de tek başına yeterli olmayacaktır. Bu çalışmada, Kamu Aydınlatma Platformuna (KAP) kayıtlı yapı malzemeleri konusunda üretici veya tedarikçi konumundaki 40 firmanın finansal oranları hesaplanarak ve metodoloji olarak faktör analizi kullanılarak, sektörde ekonomik değişimi yansıtan ve finansal yapıyı belirleyen faktörler tespit edilmiştir. Ayrıca bu firmaların niteliksel özelliklerinin tespiti için bir anket uygulaması yapılmış, firmaların yıllık faaliyet raporları ve internet sayfaları incelenmiş, elde edilen sonuçlar finansal göstergelerle ile birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, firmaların aktifleştirilmemiş yenileme ve modernizasyon yatırımlarına sahip olmasının finansal oranlar üzerinde etkili olabileceği vurgulanmış olup, firmaların aktiflerini verimli bir şekilde kullanmasının, likidite durumlarının ve tüm faaliyetlerinde kârlı çalışılıp çalışmadığının belirlenmesinin gerekliliğinin altı çizilmiştir.

Anahtar kelimeler: Finansal oranlar, yönetim anlayışı, yapı malzemeleri sektörü

The Financial and Qualitative Assessment of the Building Materials Sector

Abstract

It is crucial for companies to interpret their financial data appropriately in order to develop necessary strategies and to be able to compete with other companies both in regular and economic crisis periods. However, the assessments taking into account only financial data are not sufficient for companies unless the qualitative characteristics such as managerial conceptions, position in the sector, efficiency and capacity building investments are included. In this study, the financial ratios of 40 companies, which are manufacturers or suppliers of construction materials registered in the Public Disclosure Platform (KAP), are calculated. Then, by using factor analysis as the methodology, the factors that define the economic changes and financial positions in the sector are identified. Furthermore, a questionnaire is applied, the annual activity reports and web pages of the companies are reviewed, and finally, the findings are assessed with the financial indicators. As result, it is stated that having non-capitalized renewal and modernization investments may affect financial ratios. It is also stated that using the assets efficiently, controlling the liquidity status and profitability in all of the activities are essential for companies.

Keywords: Financial ratios, menegerial conceptions, building materials sector

1.Giriş

Türk inşaat malzemeleri endüstrisindeki işler Gayrisafi Yurt İçi Hasıla (GSYİH) büyümesi, inşaat sektörü büyümesi, döviz kurları ve ihracat talepleri gibi makroekonomik faktörlerden etkilenmektedir. Ülkemiz çimento, demir-çelik, plastik, seramik, boya, mermer ve benzeri inşaat malzemeleri üretimi ve bu ürünlerin ihracatı açısından pazarda iyi bir konumda olmasına rağmen, son yıllarda inşaat işlerinde yaşanan küçülme ve iç piyasadaki daralmalar, inşaat malzeme ve gereçlerinin üretimini ve tedarikini üstlenen işletmeleri de etkilemiştir. Yaşanan bu durumlar şirketlerin finansal (mali) yapılarını etkilemiştir.

Türkiye' de, son on yıl içinde yaşanan sosyal ve ekonomik krizler neticesinde, karar verme sürecinde yer alan yöneticilerin, bilgi sistemlerinin sağladığı verileri doğru bir biçimde yorumlayabilmelerinin ne denli önemli olduğu bir kez daha görülmüştür. Şirket yöneticilerinin ve proje yöneticilerinin, bilgi sistemi verilerini doğru bir şekilde yorumlayabilmesi, proje yönetim süreci boyunca alacakları kararların başarısında önemli rol oynar [1]. Bu bilgi sistemi verilerinden en önemlisi şirketlerin finansal dokümanlarıdır. Temel gösterge finansal tabloları; bilanço ve gelir tablosu şeklinde nitelendirilebilir [2]. Şirket yöneticilerinin bu dokümanları kullanılarak hesaplanan finansal oranları ve bunları değerlendirme tekniklerini ana hatları ile bilmeleri gerekmektedir [1]. Finansal oranlar, firmaların mali yapısı konusunda ilgili kişi veya kuruluşlara bilgi veren değerlerdir. Finansal analiz ise; işletmelerin mali tablolarında yer alan kalemler arasındaki ilişkilerin ve bunların yıllar içindeki gelişimlerinin incelenmesidir [3]. Finansal oran analizi, şirketlerin finansal performansının değerlendirilmesinde kullandıkları araçlardan biridir. Bu oranlar; firmanın kısa süreli yükümlülüklerini ödeme gücünde yeterli likit değerlere sahip olup olmadığını gösteren *likidite oranları* (cari oran, likidite oranı, nakit oranı vb.), firmanın uzun süreli yükümlülüklerini yerine getirip getirmeyeceği (taşıdığı finansman risk) ve finansal kaldıraçtan yararlanma derecesi hakkında önemli ipuçları veren *Mali Yapı (sermaye yapısı) oranları* (borçların aktif toplama oranı, öz sermayenin aktif toplama oranı, borç/öz sermaye oranı, faiz karşılama oranı vb.), iktisadi varlıkların (aktif varlıklar) etkin kullanılıp/kullanılmadığını gösteren *faaliyet (etkinlik) oranları* (aktif varlık devir hızı, stok devir hızı, alacak devir hızı vb.), firmanın elde ettiği kârın yeterli olup olmadığı konusunda değerlendirmelerin yapılmasında kullanılan *kârlılık oranları* (aktif karlılık oranı, ekonomik rantabilite oranı, net kar marjı vb.), *büyüme oranları* (satışlardaki, dönem kârındaki ve varlıklardaki büyüme oranı) ve *piyasa değerini yansıtan oranlar* (fiyat/kazanç oranı, hisse senedi getirisi vb) şeklinde sınıflandırılabilir [1], [3], [4]. İncelenen firma/firmalar için hesaplanan bu oranlar ile bir şirketin performansı; farklı zaman dilimlerindeki kendi performansı ile (firmanın geçmiş yıl oranlarıyla), rakip işletmelerin oranlarıyla veya sektörün ortalaması ile karşılaştırılarak yorumlanabilir [4]. Literatürde yapılan çalışmalar, farklı ülkelerdeki, farklı sektörlerdeki, farklı finansal oranların tanımlanması ve sınıflandırılmasına odaklanmıştır. Bu çalışmalar; finansal oran analizleri ile şirketleri sıralayarak, finansal performansları bireysel olarak değerlendirerek ve çeşitli makroekonomik göstergelerle değerlendirmektedir [5], [6], [7]. Literatürde şirketlerin finansal durumunun tespiti ve tahmini için faktör analizi, regresyon analizi, logit ve probit analizi gibi çeşitli istatistiksel teknikler kullanılmaktadır [8], [9], [10].

Ancak şirketlerin niteliksel özelliklerini dikkate almadan, sadece finansal oranlarını dikkate alarak yapılan mali değerlendirmeler tek başına pek de gerçekçi olmayacaktır [5]. Şirketin bu süreçteki yönetim tarzı, organizasyonel yapısı ve diğer niteliksel özellikleri de (sektör içindeki yeri, verimlilik ve kapasite artırıcı yatırımları, kapasite kullanım oranları, iştirakleri, toplumsal ve çevresel sonuç doğuran şirket faaliyetleri, yapılan bağışlar ve sosyal sorumluluk projeleri, faaliyetlerini etkileyebilecek mevzuat değişiklikleri, açılan dava sayısı ve karşılaştığı yaptırımlar vb.) finansal analizlerle birlikte ele alınmalıdır. Bu niteliksel özellikler; şirketin durumunu ve yapılan işlemlerin özetini gösteren yıllık faaliyet raporlarından ve firma özelinde yapılacak anketlerle elde edilebilir. Her iki değerlendirme ile ancak, söz konusu şirketlerin finansal açıdan sıkıntıya neden girdikleri anlaşılabilir, finansal durumu düzeltmede etkili olacağı düşünülen niteliksel özellikler ve mali göstergeler belirlenebilir [11].

Bu çalışmada yapı malzemeleri konusunda üretici veya tedarikçi konumundaki firmaların 2012-2018 yıllarını kapsayan 7 yıllık döneme ait finansal açıdan durumlarını araştırmak amacıyla faktör analizi kullanılmıştır. Bu yıllar arasındaki niteliksel özelliklerinin tespiti için de anket sonuçları, yıllık faaliyet raporları ve firmaların internet sayfaları incelenmiş ve finansal göstergelerle beraber değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda finansal veriler ve niteliksel özellikler birlikte değerlendirilerek, söz konusu şirketlerin finansal açıdan sıkıntıya neden girdikleri/girmedikleri tartışılmıştır.

3.Materyal ve Metot

Bu çalışmada, yapı malzemeleri konusunda üretici veya tedarikçi konumundaki 40 firmanın finansal ve yönetsel açıdan durumları incelenmiştir. Bu firmalar; çimento, demir-çelik ürünleri**,** boru ve profil, yalıtım malzemeleri, boya, yapı kimyasalları, cam ve cam ürünleri, plastik esaslı inşaat malzemeleri, seramik esaslı inşaat malzemeleri ve bina ve kompozit, membran gibi inşaat tekstillerini üreten veya tedarikçi konumundaki firmalardır. Çalışmada, şirketlerin finansal açıdan durumunun tespiti için 2012-2018 yıllarını kapsayan 7 yıllık döneme ait finansal oranları kullanılmıştır. Şirketlerin söz konusu döneme ait bilanço ve gelir tabloları Kamu Aydınlatma Platformunun (KAP) web sitesinden alınmış ve analizde kullanılacak finansal oranlar hesaplanmıştır. Çalışmada faktör analizi için kullanılan oranlar (değişkenler) Tablo 1’ de gösterilmiştir.

Tablo 1-Faktör Analizinde Kullanılan Finansal Oranlar

No	Finansal Oranlar (Değişkenler)	Kısaltma
X1	Cari oran	CO
X2	Likidite oranı	LO
X3	Nakit oranı	NO
X4	Kısa Vadeli Alacaklar/Toplam Aktif Oranı	KVA/AT
X5	Kaldıraç Oranı	KO
X6	Dönen Varlıklar /Toplam Aktif Oranı	DV/TA
X7	Faiz ve Vergiden Önceki Kâr (FVÖK)/Faiz Oranı	FVÖK/F
X8	Ekonomik Rantabilite	ER
X9	Vergiden Önceki Kâr/Net Satışlar Oranı	VÖK/NS
X10	Stok Devir Hızı	SDH
X11	Aktif Devir Hızı	ADH
X12	Çalışma Sermayesi Devir Hızı	ÇSDH
X13	Duran Varlıklar Devir Hızı	DVDH
X14	Aktif Büyüme Oranı	ABO
X15	Faiz ve Vergiden Önceki Kâr/Net Satışlar Oranı	FVÖK
X16	Net Kâr/Net Satışlar Oranı	NK/NS
X17	Alacak Devir Hızı	ADH
X18	Vergi Öncesi Kâr/Özkaynaklar Oranı	VÖK/ÖK
X19	Net Kâr Büyüme Oranı	NKBO
X20	Stoklar/Toplam Aktif Oranı	ST/TA
X21	Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar/Yabancı Kaynaklar Toplamı Oranı	KVYK/YK
X22	Duran Varlıklar/Öz Kaynaklar Oranı	DV/ÖK
X23	Özkaynak Devir Hızı	ÖDH
X24	Özsermaye Büyüme Oranı	ÖBO
X25	Net Satışlar Büyüme Oranı	NSBO

Bu oranlar, SPSS 20 paket programı kullanılarak gerçekleştirilen faktör analizi için temel teşkil etmiştir. Faktör analizi sonucunda bu dönemlerde şirketlerin önem vermesi gereken finansal faktörlerin neler olabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca, şirketlerin finansal açıdan sıkıntıya girmesinde etkili olacağı düşünülen niteliksel özellikleri ile ilgili bilgilere de anket sonuçlarından, yıllık faaliyet raporları ve firmaların internet sayfasından ulaşılmıştır. Bu niteliksel özellikler; yönetim yapısı, firmanın sektör içindeki yeri ve verimlilik ve kapasite artırıcı yatırımları şeklinde çalışmada 3 başlıkta sınırlandırılmıştır. Çalışmada 3 şirket özelinde finansal açıdan sıkıntıya girmesinde/girmemesinde etkili olacağı düşünülen temel mali göstergeler/oranlar faktör analizi ile açıklanmış, bu şirketlerin niteliksel özellikleri, firmaya ait temel finansal oranları ile birlikte incelenerek finansal açıdan sıkıntıya neden girdikleri/girmedikleri tartışılmıştır.

4.Bulgular ve Tartışma

4.1.Finansal Durumun Tespiti ve Tahmini (Faktör Analizi)

Faktör analizi için, ilk aşamada değişkenlere ait korelasyon değerlerinin büyük ve olasılık değerlerinin küçük (sıfıra yakın) olup olmadığı incelenmiş ve sonuçların analiz için uygun olduğu görülmüştür. Daha sonra korelasyon matrisinin birim matris olup olmadığı test edilmiştir. Bu safhada Barlett'in küresellik testi sonucunun 0.0 olduğu anlaşılmış olup, bu sonuç, bizlere faktör analizinin uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Örneklem büyüklüğünün faktör analizi için yeterli olup olmadığının testi ise Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ölçütüyle incelenmiştir. Verilerin yorumlanabilmesi için KMO test sonucunun en az 0,50 olması gerekmektedir (Erdiş, 2004). Bu safhada KMO test sonucunun 0,762 olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2-Kaiser-Meyer-Olkin ve Bartlett'in Küresellik Testi Test Sonuçları

Kaiser-Meyer-Olkin ile örneklem yeterliliğinin ölçümü		0,762
Yaklasık Ki-Kare Değeri		5882,396
Bartlett'ın Küresellik Testi Sonuçları	*Serbestlik Derecesi*	45
	Önem Düzeyi	0,000

Çalışmada faktör çözümü için elde edilen öz değerler, açıklanan varyans değerleri ve birikimli varyans değerleri Tablo 3' de verilmiş olup; birinci önemli bileşenin toplam varyansın %39,883' ünü açıkladığı, ikinci önemli bileşenin toplam varyansın %30,066' unu açıkladığı ve üçüncü bileşenin ise %18,25 'ini açıkladığı görülmektedir. Bu faktörler, faktörleştirme sonrasında öz değerleri 1.00 'den büyük olan faktörlerdir ve kümülatif olarak varyans açıklama düzeyleri %88, 204' dür.

Tablo 3-Açıklanan Toplam Varyans Miktarlar

Başlangıç Değerleri			
Bileşenler	**Toplam**	**Varyans%**	**Birikimli%**
	3,992	39,916	39,916
2	3,450	34,497	74,412
3	1,379	13,791	88,204
4	,633	6,327	94,530
5	,299	2,989	97,520
6	,191	1,909	99,429
7	,040	,402	99,831
8	,012	,116	99,947
9	,005	,052	99,999
10	,000	,001	100,000

	Faktörleşme Sonrası Değerler		
Bileşenler	**Toplam**	**Varyans%**	**Birikimli%**
1	3,992	39,916	39,916
2	3,450	34,497	74,412
3	1,379	13,791	88,204

	Rotasyon Sonrası Değerler		
Bileşenler	**Toplam**	**Varyans%**	**Birikimli%**
1	3,988	39,883	39,883
2	3,007	30,066	69,949
3	1,825	18,25	88,204

Rotasyonsuz faktör matrisinde birden fazla faktör, aynı değişken için yüksek yüklere sahipse faktörler arasındaki farklılık ortaya çıkarılamayacağından, bu matrise dayanarak anlamlı faktörleri tanımlamak zorlaşacaktır. Bu nedenle Tablo 4' de Varimax yöntemi kullanılarak elde edilen "Rotasyonlu Faktör Matrisi" ile 3 önemli değişken grubu belirlenmiştir.

Tablo 4 - Rotasyonlu Faktör Matrisi

Değişkenler	Faktör		
	1	2	3
Aktif Devir Hızı	0,999		
Ekonomik Rantabilite	0,999		
Çalışma Sermayesi Devir Hızı	0,996		
Özkaynak Devir Hızı	0,996		
Likidite (Asit-Test) Oranı		0,952	
Cari Oran		0,946	
Nakit Oranı		0,861	
Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar/Yabancı Kaynaklar Toplamı Oranı		-0,615	
Net Kar/Net Satışlar Oranı			0,936
Vergiden Önceki Kar/Net Satışlar Oranı			0,889

Birinci faktörün varyans açıklama düzeyi %39,883' tür. Bu faktörlerde yer alan oranların; Aktif Devir Hızı (0,999), Ekonomik Rantabilite (0,999), Çalışma Sermayesi Devir Hızı (0,996) ve Özkaynak Devir Hızı (0,996) olduğu Tablo 4' te görülmektedir. Bu faktör çalışmada "Verimlilik Faktörü" olarak isimlendirilmiştir. Bu faktörler arasında, kârlılık oranı olarak isimlendirilen Ekonomik Rantabilite oranının olması, üretim faaliyetinde bulunan bir işletmenin kârlılık durumunu belirten bir oran olması nedeniyle, kabul edilebilir bir gösterge olarak değerlendirilebilir. Bu faktör işletmelerin iktisadi varlıklarını verimli ve kârlı bir şekilde kullanılıp/kullanmadığını göstermektedir. Bu faktörde yer alan oranlar bir firma için ne kadar yüksekse, varlıklarını o kadar verimli ve kârlı kullanmaktadır, denilebilir. İkinci faktör toplam varyansın %30,066'sını açıklamaktadır. Bu faktörlerde bulunan oranlar sırasıyla; Likidite (Asit-Test) Oranı (0,952), Cari Oran (0,946), Nakit Oranı (0,861) ve Kısa Vadeli Yabancı Kaynaklar/Yabancı Kaynaklar Toplamı Oranı(-0,615)'dır. Bu faktör "Likidite Faktörü" olarak adlandırılabilir. Bu faktör, bir firmanın kısa süreli yükümlülüklerini ödeme gücünde yeterli likit değerlere sahip olup olmadığını gösterir. Bu faktör incelendiğinde, kısa vadeli yabancı kaynaklar/yabancı kaynaklar toplamı oranı ile likidite oran, cari oran ve nakit oran arasında negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. Ülkemizde firmaların uzun süreli yabancı kaynakları temininde yaşadıkları sıkıntılar ve toplam aktifler kısmında dönen varlık değerlerinin yüksek olması gibi nedenlerle, bu oran genelde nispeten yüksektir. Kısa vadeli borçların oranı eğer yüksekse, firmanın finansal borçlarının burada ne kadar yer kapladığı, bu borçların ne zaman sonlanacağının bilinmesi gerekir ve bu borçları ödeme gücünü belirten cari oranın ve likidite oranının birlikte incelenmesi gerekir. Dolayısı ile aralarında negatif bir ilişkinin varlığı söylenebilir. Üçüncü faktörün varyans açıklama düzeyi ise %.18,25' tir. Bu faktör de yer alan oranlar sırasıyla; Net Kâr/Net Satışlar Oranı (0,936) ve Vergiden Önceki Kâr/Net Satışlar Oranı (0,889)' dır. Bu faktör "Kârlılık Faktörü" olarak isimlendirilebilir. İşletmenin elde ettiği kârın yeterliliği, sermayenin alternatif yatırım alanlarında kullanılması durumunda elde edilebilecek getirisi ile birlikte değerlendirilmelidir. Bu değerlendirmede

genel ekonomik koşullar ve aynı iş kolundaki benzer işletmelerin kârlılık oranları dikkate alınır (Canbaş ve Vural, 2016).

4.2.Firmaların Mali Göstergeleri ve Niteliksel Özellikleri

Çalışmada 3 firmaya ait; anket sonuçları, yıllık faaliyet raporları ve her firmanın internet sayfası incelenerek, bu firmaların finansal açıdan sıkıntıya girmesinde/girmemesinde etkili olacağı düşünülen niteliksel özellikleri; yönetim tarzı, firmanın sektör içindeki yeri, verimlilik ve kapasite artırıcı yatırımları olmak üzere sınırlı 3 temel kategori de incelenmiş ve finansal durumu düzeltmede etkili olacağı düşünülen bu niteliksel özellikler, firmaya ait temel finansal oranlar ile birlikte değerlendirilmiştir.

4.2.1.S1 Şirketi için niteliksel özellikler ve mali göstergeler

S1şirketi,organizasyonel yapı olarak fonksiyonel yapıya sahip ve yönetimde Toplam Kalite Yönetimi (TKY), benchmarking, performansa dayalı yapı, çok fonksiyonluluk ve dış kaynaklardan yararlanma (Outsourcing) anlayışına sahip bir şirkettir. Şirket 2012-2018 döneminde Türkiye'deki kendi sektöründeki üretimde %3,66' lık paya sahip olup, yine bu dönemlerde son 4 yıl hariç KDV ve gümrük vergisi istisnasından yararlanmış olup, aktifleştirilmeyen yatırımları mevcuttur.

Tablo 5-S1 Şirketinin 2012-2018 Dönemine Ait Finansal Oranları

Yıllar	1.FAKTÖR (VERİMLİLİK)				2.FAKTÖR (LİKİDİTE)				3.FAKTÖR (KÂRLILIK)	
	ADH	ER	ÇSDH	ÖDH	LO	CO	NO	KVYK/TYK	NK/NS	VÖK/NS
2012	21,08	0,02	77,47	2,63	*0,53*	*1,05*	*0,27*	*0,24*	0,13	0,00
2013	11,92	0,03	-10,23	3,47	*0,53*	*0,85*	*0,37*	*0,33*	-0,07	-0,09
2014	11,21	0,02	-6,43	4,55	*0,37*	*0,64*	*0,20*	*0,32*	-0,01	-0,02
2015	9,34	0,02	-5,82	7,80	*0,45*	*0,67*	*0,22*	*0,34*	-0,10	-0,12
2016	8,01	0,03	-4,15	3,27	*0,40*	*0,64*	*0,20*	*0,33*	0,21	-0,04
2017	10,71	0,04	-5,42	4,36	*0,28*	*0,66*	*0,12*	*0,35*	0,00	0,00
2018	16,56	0,00	-4,95	14,73	*0,21*	*0,58*	*0,10*	*0,40*	-0,08	-0,10

Tablo 5 incelendiğinde şirketin verimlilik faktörünün nispeten iyi olduğu, ancak dönen varlıklarını yeterince iyi kullanamayarak likit kalamadığı, kâr ve kâr-sermaye durumunun iyi durumda olmadığı ve bu dönemlerde ekonomik açıdan bir takım sıkıntılar yaşadığı söylenebilir. Bu değerlendirmeler ışığında, şirkete ait aktifleştirilmeyen yatırımların olmasının şirketin finansal oranlarını etkilediği söylenebilir.

4.2.2.S2 Şirketi için niteliksel özellikler ve mali göstergeler

S2 şirketi, bürokratik yapıya sahip, yönetimde toplam kalite yönetimi, eş zamanlı mühendislik ve benchmarking anlayışını benimsemiş bir şirkettir. Şirket 2012-2018 döneminde Türkiye' deki kendi sektöründeki üretimde önemli bir paya sahip olup, yine bu dönemlerde çeşitli yenileme ve modernizasyon yatırımlarında bulunmuştur.

Tablo 6-S2 Şirketinin 2012-2018 Dönemine Ait Finansal Oranları

Yıllar	1.FAKTÖR (VERİMLİLİK)				2.FAKTÖR (LİKİDİTE)				3.FAKTÖR (KÂRLILIK)	
	ADH	ER	ÇSDH	ÖDH	LO	CO	NO	KVYK/TYK	NK/NS	VÖK/NS
2012	0,87	0,06	-10,79	7,76	*0,72*	*0,87*	*0,08*	*0,39*	003	0,03
2013	0,91	0,10	7,64	5,96	*0,99*	*1,28*	*0,11*	*0,30*	0,06	0,02
2014	1,03	0,08	13,91	5,84	*0,93*	*1,15*	*0,13*	*0,33*	0,03	0,02
2015	0,82	0,06	13,96	6,86	*0,93*	*1,10*	*0,05*	*0,37*	-0,01	0,00
2016	0,99	0,09	6,43	6,46	*1,08*	*1,36*	*0,13*	*0,30*	0,01	0,01
2017	1,00	0,06	19,03	6,20	*0,82*	*1,10*	*0,09*	*0,34*	0,03	-0,01
2018	1,04	0,06	-62,56	8,24	*0,71*	*0,97*	*0,06*	*0,38*	-0,03	-0,04

Tablo 6 incelendiğinde şirketin, periyod boyunca, verimlilik (faaliyet faktörünün) inişli çıkışlı bir seyir izlediği, diğer şirketlere göre dönen varlıklarını nispeten iyi kullandığı ancak çok fazla likit kalamadığı ve kârlılık durumunun iyi olmadığı anlaşılmaktadır. Bu değerlendirmeler ışığında, şirketin yenileme ve modernizasyon yatırımlarının olmasının finansal oranlarını etkilediği söylenebilir.

4.2.3. S3 Şirketi için niteliksel özellikler ve mali göstergeler

S3 şirketi, fonksiyonel yapıya sahip ve yönetimde TKY, Benchmarking ve Outsourcing anlayışına sahip bir şirkettir. Şirketin toplam yatırımlarının yaklaşık önemli bir kısmı çevre, iş sağlığı ve güvenliği konuları ile ilgili olup, ürettiği ürün anlamında önemli şirketlerden biridir. Şirket ürettiği ürünler bakımından yaygın bir dağıtım ağına da sahiptir.

Tablo 7 incelendiğinde 2012-2018 periyodu boyunca, şirketin verimlilik faktörünün iyi olmadığı, daha az likit kaldığı, özellikle dönen varlıklarını yeterince iyi kullanamadığı, kârının ve kâr-sermaye durumunun iyi durumda olmadığı görülmüştür. Şirketin toplam yatırımlarının yaklaşık önemli bir kısmını sosyal konulara ayırmasının finansal oranlarını etkilediği, ancak uzun vadede getirisinin olacağı düşünülmektedir.

Tablo 7.-S3 Şirketinin 2012-2018 Dönemine Ait Finansal Oranları

Yıllar	1.FAKTÖR (VERİMLİLİK)				2.FAKTÖR (LİKİDİTE)				3.FAKTÖR (KÂRLILIK)	
	ADH	ER	ÇSDH	ÖDH	LO	CO	NO	KVYK/TYK	NK/NS	VÖK/NS
2012	0,55	0,09	-22,57	0,83	*0,61*	*0,90*	*0,08*	*0,19*	0,27	0,16
2013	0,66	0,12	6,50	0,85	*1,19*	*1,66*	*0,23*	*0,13*	0,20	0,36
2014	0,73	0,16	6,53	0,94	*1,18*	*1,63*	*0,22*	*0,15*	0,18	0,23
2015	0,59	0,15	4,82	0,91	*1,35*	*1,57*	*0,57*	*0,18*	0,21	0,26
2016	0,46	0,12	-3,54	0,86	*0,44*	*0,64*	*0,10*	*0,26*	0,23	0,26
2017	0,46	0,10	-6,31	1,05	*0,68*	*0,80*	*0,24*	*0,27*	0,17	0,20
2018	0,49	0,09	-3,42	1,17	*0,52*	*0,65*	*0,23*	*0,29*	0,06	0,10

5.Sonuç ve Öneriler

Şirketlerin geleceğe dönük politikalarını daha doğru bir biçimde saptayabilmesi ve stratejik faaliyetlerini daha etkin ve verimli bir biçimde planlayabilmesi için finansal oran analizi ile finansal performanslarını, bireysel olarak ve çeşitli makroekonomik göstergelerle birlikte değerlendirmeleri gerekmektedir. Ancak şirketlerin niteliksel özelliklerini dikkate almadan, sadece finansal oranlarını dikkate alarak yapılan mali değerlendirmeler tek başına pek de gerçekçi olmayacaktır. Şirketin bu süreçteki; yönetim tarzı, organizasyonel yapısı, sektör içindeki yeri, verimlilik ve kapasite artırıcı yatırımları, kapasite kullanım oranları, iştirakleri, toplumsal ve çevresel sonuç doğuran şirket faaliyetleri, yapılan bağışlar ve sosyal sorumluluk projeleri, faaliyetlerini etkileyebilecek mevzuat değişiklikleri, açılan dava sayısı ve karşılaştığı yaptırımlar, finansal analizlerle birlikte ele alınmalıdır. Her iki değerlendirme ile ancak, söz konusu şirketleri finansal açıdan sıkıntıya sokan organizasyonel ve dış çevre faktörleri anlaşılabilir, finansal durumu düzeltmede etkili olacağı düşünülen niteliksel özellikler ve mali göstergeler belirlenebilir. Bu tip çalışmaların düzenli olarak yapılması, şirketin gelecekteki politika ve faaliyetlerinin düzenlenmesinde ve diğer şirketlere göre geleceğe daha güvenli bakmasında etkili olacaktır.

Şirketlerin finansal durumunun tespiti ve tahmini için çalışmada faktör analizi kullanılmış olup; çalışma sonucunda şirketlerin aktiflerini verimli bir şekilde kullanmasının ve likidite durumlarının önemli olduğunun ve tüm faaliyetlerinde kârlı çalışıp çalışmadığının belirlenmesinin gerekliliğinin altı çizilmiştir.

Çalışmada firmaların finansal açıdan sıkıntıya girmesinde/girmemesinde etkili olacağı düşünülen niteliksel özellikleri ise anket sonuçları, yıllık faaliyet raporlarından ve firmaların internet sayfası incelenerek elde edilmiştir. Çalışmada bu niteliksel özellikler; yönetim tarzı, firmanın sektör içindeki yeri, verimlilik ve kapasite artırıcı yatırımları olmak üzere kısıtlı üç temel kategori de incelenmiş ve özellikle firmaların aktifleştirilmemiş yenileme ve modernizasyon, çevre ve iş sağlığı gibi yatırımlara sahip olmasının finansal oranlar üzerinde etkili olabileceği vurgulanmıştır. Çalışmada, firmalara ait diğer niteliksel özelliklerin de

belirlenerek, yapılacak finansal analizlerle beraber değerlendirilmesinin önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kaynaklar

1. Oral, E.L., & Erdiş, E. (2002). *Yeni Proje Yöneticileri İçin Finansal Dökümanlar ve Oranlar*, Türkiye Mühendislik Haberleri, 418/2, 40-45.
2. Helfert, E. A. (1982). *Techniques of financial analysis.* Richard D. Irwin, Inc. Homewood, III.
3. Akgüç, Ö. (1994). *Finansal Yönetim,* Avcıol Basım Yayın, 957s. İstanbul.
4. Canbaş, S., & Vural, G. (2016). *Finansal yönetim: açıklamalı örnekler ve problemler*. Karahan Kitabevi.
5. Öcal, M. E., Oral, E. L., Erdis, E., & Vural, G. (2007). Industry financial ratios—application of factor analysis in Turkish construction industry. *Building and Environment*, *42*(1), 385-392.
6. Strischek, D., & McIntyre, M. (2008). Credit Risk Management-Red Flags and Warning Signs of Contractor Failure-A timely review from a surety industry perspective on warning signs of impending contractor failure. *RMA Journal*, *90*(6), 72.
7. Rajasekhar, R. (2017), "Financial performance evaluation of construction industries", *International Journal of Scientific and Research Publications*, 7(1), 115-132.
8. Olinsky, A. D., Harlow, L. L., & Chen, S. K. (1996). A priori classification of financial ratios by the method of confirmatory factor analysis. In *Proceedings–Annual Meeting of the Decision Sciences Institute* (No. 2, pp. 1161-1163).
9. Özgür, E. (2003). Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ve bir uygulama. *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Ankara*.
10. Trost, S. M., & Oberlender, G. D. (2003). Predicting accuracy of early cost estimates using factor analysis and multivariate regression. *Journal of construction Engineering and Management*, *129*(2), 198-204.
11. Erdiş, E. (2004). Kriz yönetimi yaklaşımının Türk inşaat sektöründe algılanma ve uygulanma düzeyi ve bu konuya yönelik bir model önerisi. *Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi*.

Türkiye'de Üç Boyutlu Beton Yazıcının Az Katlı Konut Yapımında Kullanılabilirliği ve Kalıp Uygulama Önerisi (Sözlü)

Zafer GENÇ[1], Fahri BİRİNCİ[2]

[1,2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye
Emails: zafer.genc@hotmail.com, fbirinci@omu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, dünyada son yıllarda uygulama alanı bulmaya başlayan üç boyutlu beton yazıcıların Türkiye'de az katlı konut yapımında kullanılabilirliği ve genelde sorun oluşturan kalıp kullanılması araştırılmıştır. Böylelikle, Türkiye'de konut yapımı ve inşaat sektöründe üç boyutlu beton yazıcı tekniği kullanımı ile yeni bir bakış açısı ve uygulama alanı kazandırılmaya çalışılmıştır. Türkiye'de uygulanabilirlik maliyet, zaman ve gerekli iş gücü miktarının tespiti şeklinde incelenmiştir. Karşılaştırma için yığma, ahşap, prefabrik ve betonarme konut tipleri dikkate alınmıştır. Türkiye'de henüz üç boyutlu beton yazıcılar konulu çalışmalar ve üç boyutlu beton yazıcı bulunmamaktadır. Henüz mevcut uygulama olmaması ve geliştirilen model için yazdırma yöntemindeki teknolojik benzerliği nedeniyle Eriyik Yığma Modelleme (FDM) yazıcısı kullanılmıştır. Bu yazıcı ile maliyet, zaman ve işçilik kıyaslamalarının yapılabilmesi için iki katlı geleneksel bir konut tasarımı yapılarak baskılanmıştır. Yapılan tasarımın baskılanmasında döşeme kalıbı, kapı ve pencerelerde lento gibi boşluk geçişlerinde kalıp kullanılması başarıyla uygulanmıştır. FDM yazıcı ile baskılanan bu konut modeli üzerinden üç boyutlu beton yazdırma tekniğinin konut yapım aşamalarında da uygulanabilirliği irdelenmiştir. Bu irdelemeler üzerinden üç boyutlu beton yazıcı ile Türkiye'de üretilebilecek az katlı binalar için (iki katlı bir konut dikkate alınmıştır) maliyet, zaman ve işçilik hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile geleneksel konut tiplerinin yaklaşık birim fiyatları (metrekare maliyetleri), toplam imalat süreleri ve işçilik miktarları hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda üç boyutlu beton yazıcı ile beton konut yapımının maliyet, üretim süresi ve işçilik miktarı bakımından oldukça ekonomik olduğu görülmüştür. Bu yeni konut üretim tekniğinin dünyada az sayıda uygulaması mevcuttur. Elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'de de bu yeni konut imalatının uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu beton yazıcı, hızlı prototipleme, kalıp kullanımı, eklemeli üretim

Application of Three Dimensional Concrete Printer in Low-Rise Housing Construction in Turkey and Use of Concrete Formwork Proposal (Oral)

Abstract

In this study, it is focused to investigate usability, application problems and the solution approaches of 3D concrete printers utilized in recent years in the world in construction of low rise buildings in Turkey. Thus, a new perspective and application area in the 3D concrete printer technique usage in civil engineering has been tried to analyzed. The application process is investigated based on the amount of cost, time and labor required. For comparison, stacking, wood, prefabricated and reinforced concrete housing types were taken into consideration. Due to the lack of existing application and the technological similarity in the printing method for the developed model, the Fused Deposition Modeling (FDM) printer was

used. A traditional two-story house design was printed in the printer to evaluate for cost, time and labor comparisons. In the printing of the design, the use of the formwork was successfully applied in space transitions of floor, door, and lintel in windows. The applicability of the three-dimensional concrete printing technique in the building construction phases is also examined according to the model pressed FDM printer. Based on the considerations, the cost, time and labor calculations for low-rise buildings produced with a three-dimensional printer in Turkey, (a two-story building is considered) are made. The approximate unit prices (square meter costs), total manufacturing times and labor quantities of traditional housing types were calculated according to obtained results. As a result of the comparisons, it was seen that the construction of three-dimensional concrete printer and concrete housing was very economical in terms of cost, production time and quantity of workmanship. There are few applications of this new housing production technique in the world. According to the results obtained in this study, it was concluded that this new manufacturing technique can be applied efficiently in Turkey.

Keyword(s): Three-dimensional concrete printer, rapid prototyping, use of concrete formwork, additive manufacturing

1. Giriş

Beton, dünya genelinde inşaat sektöründe en çok kullanılan malzemelerden biridir. Özellikle Türkiye'de inşaat denildiğinde ilk akla gelen malzeme betondur. Beton, kolayca kalıplanıp şekil verilebilmesi ve bakım istemeyen uzun kullanım ömrü nedeniyle tercih edilmektedir. Beton konut yapımında kullanılan en önemli malzeme konumundadır. Beton üretimindeki gelişmeler çok hızlı üretime imkân verse de priz süresi, kalıplama, kalıp yapımında çok fazla emek yoğun çalışma zorunluluğu ve kalıp alma süresi halen çok sayılabilecek miktardadır. Bu nedenle kalıpla ilgili işçiliği ve zamanı azaltma, hızlı konut inşasına imkân verecek nitelikte yeni teknikler, gelişme aşamasındadır. Bu tekniklerden en önemlisi, literatürde "Additive Manufacturing of Concrete" veya "3D Concrete Printing" adı ile anılmakta olan "3 Boyutlu Beton Yazıcı" kullanılmasıdır.

Üç boyutlu beton baskı tekniği 1990'ların ortalarından beri inşaat sektöründe yer almaktadır [1]. Üç boyutlu yazıcılar ile beton baskılanması klasik beton döküm yöntemlerindeki gibi değildir. Burada beton üç boyutlu yazıcının pompalama sisteminden sıkıştırılmış bir şekilde ekstrüze (sıkma) edilerek basılıp, baskılanmaktadır. Burada ekstrüze edilen betonun slump değeri kalıp kullanılmamasından dolayı oldukça düşüktür. Üç boyutlu beton yazıcılarla ilgili çalışmalarda taş benzeri malzemelerden kalıpsız, robotik biriktirme yolu ile 0,1-10 m aralığında boyutlara sahip katı nesneler oluşturulabilmektedir. Bu teknikte çeşitli biriktirme stratejileri, robotlar, yazıcı kafaları ve malzemeler kullanılmaktadır [2].

Ekstrüzyon ile üç boyutlu beton yazdırılmasında kendini kanıtlamış iki adet teknik bulunmaktadır. Bunlar; Contour Crafting ve Concrete Printing teknikleridir [3,5]. Contour Crafting metodu Prof. Behrokh Khoshnevis'in tam otomatik ve robotik inşaat modelidir. Khoshnevis çalışmalarında, inşaat sektörünün günümüzde yaşanan ciddi sorunlarından bahsederek inşaatta otomatikleşme ve robotizasyonun önemine değinmiştir [3]. Ayrıca

Khoshnevis Contour Crafting metodunda en uygun makine kullanımı için bir yazdırma operasyonu planı da oluşturmuştur [4]. Concrete Printing yönteminde ise Richard Buswell "Freedom Construction" projesi ile tam ölçekli yapı bileşenlerinin üretimini ele almaktadır. Khoshnevis'e benzer şekilde Buswell de inşaat sektöründeki güvenlik eksiklikleri ve iş gücü kayıpları gibi olumsuz koşulların üç boyutlu yazıcı kullanımı ile aşılabileceğini düşünmektedir [5].

Le ve araştırma grubuna göre üç boyutlu yazıcı ile beton konut inşası sırasıyla; CAD (Computer Aided Design) tasarımı, Slicer (Dilimleyici) işlemi ve üç boyutlu yazıcıda baskılama aşamalarından oluşmaktadır. İstenilen tasarım bir CAD programı aracılığı ile üç boyutlu olarak modellenir. Tasarımı tamamlanan model ".stl" uzantılı olarak kayıt edilir. Ardından eklemeli (katmanlı) üretimin yapılabilmesi adına bir dilimleyici program ile üç boyutlu tasarım yatayda istenen kalınlıkta katmanlarına ayrılarak yazıcı yazdırma yol haritasının oluşturulabilmesi için dilimleyici program tarafından G-CODE formatına dönüştürülmektedir. Tüm bu işlemlerin tamamlanmasından sonra artık üç boyutlu beton yazıcıda baskılanabilecek bir tasarım dosyası elde edilmiş olmaktadır. Baskılamada kullanılacak betonun hazırlanmasında ise geleneksel yöntemlerdeki gibi gerekli miktarda agrega, kum, bağlayıcı (çimento), su ve ilgili katkılar karıştırılmaktadır. Le ve araştırma grubu belli oranlarda karıştırılarak hazırlanan betonun üç boyutlu yazıcıda kullanılabilmesi için kesme değerinin 0,55 kPa olması gerektiğine ilgili deneyler ile karar vermiştir [6]. Dünyada birçok araştırma grubu ve özel firma (WinSun, HuaShang Luhai/Tengda, Totalkustom vb.) üç boyutlu beton yazıcı ile konut yapımı üzerine çalışmalarda bulunmaktadır [7,8,9].

Konut yapımında üç boyutlu beton yazıcı kullanılması halinde döşeme, kapı ve pencere gibi düşey boşluklarda kalıplama ihtiyacı doğmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada henüz Türkiye'de bir üç boyutlu beton yazıcı bulunmaması nedeni ile döşeme, kapı ve pencere kalıplamalarının incelenmesi adına FDM (Fused Deposition Modeling) tekniğinde çalışan bir polimer plastik yazıcı kullanılmıştır. FDM tipi yazıcı kullanımının nedeni, FDM yazıcı tekniğinin üç boyutlu beton yazıcı tekniğine (yığma modeli) oldukça benzemesidir. Bu yazıcı ile baskılanan konut tasarımında kalıplama işlemleri aşamalı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca üç boyutlu beton yazıcı ile Türkiye'de yapılabilecek az katlı konutların geleneksel yöntemlerden yığma, ahşap, prefabrik ve betonarme konut tiplerine göre maliyet, zaman ve işçilik kazançları yaklaşık hesaplamalar ile irdelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Üç boyutlu beton yazıcı ile konut yapımında kalıplama aşamalarının incelenmesi anlamında çalışma tekniğinin benzerliği nedeni ile Prusa i3 mk2 FDM tipi yazıcı kullanılmıştır [10]. Kullanılan yazıcının polimer plastik kökenli malzeme kullanması nedeniyle PLA (Polylactic acid) tipi filament (iplik, lif) tercih edilmiştir. Kullanılan PLA filamentin işlenmemiş sargı halindeki iplik kalınlığı 1,75 mm'dir. Üç boyutlu konut modellemesi bilgisayar üzerinden AutoCAD 2011 programı ile yapılmıştır [11]. Yapılan

tasarımın üç boyutlu yazıcıda baskılanabilmesi için CURA 4.0 programında dilimleme işlemi gerçekleştirilmiştir [12].

Şekil 1 - Prusa i3 Mk2, FDM Tipi Üç Boyutlu Yazıcı [10]

2.2. Yöntem

Yazıcıda baskılanacak konut modeli iki katlı olup toplamda yaklaşık 120 m^2 brüt alana sahiptir. Üç boyutlu beton yazıcıların gerçek boyutlu konut yapımı için ebatları düşünüldüğünde Şekil 1'de bulunan yazıcıda baskılanması için planlanan konut modeli CAD programında 1/100 ölçeğinde üç boyutlu olarak çizilmiştir. Yapılan modellemenin baskılanmasında kullanılacak kalıplar (döşeme kalıbı, kapı ve pencere lentoları) ölçek hassasiyeti nedeni ile üç boyutlu yazıcıda baskılanmıştır. Kalıplar konut baskılanmasında kullanılabilmesi için önceden baskılanarak hazır hale getirilmiştir. Toplamda iki adet döşeme kalıbı, iki adet pencere lentosu ve bir adet kapı lentosu baskılanmıştır. Baskılanan kalıpların konut tasarımında yerlerine konulabilmesi için geçmeli boşluklar (oturma yuvası) bırakılmıştır. Ayrıca konut modelinde zemin kattan birinci kata geçiş için bir adet döner merdiven tasarımına yer verilmiştir. Baskılanan kalıplar belirlenen kapı, pencere ve döşeme yüksekliklerinde yazdırma işleminin duraksatılması ile başarılı bir şekilde yerlerine konulmuştur. Kalıplama işleminin başarı ile tamamlanması sonucunda tasarlanan konut üç boyutlu olarak baskılanmıştır.

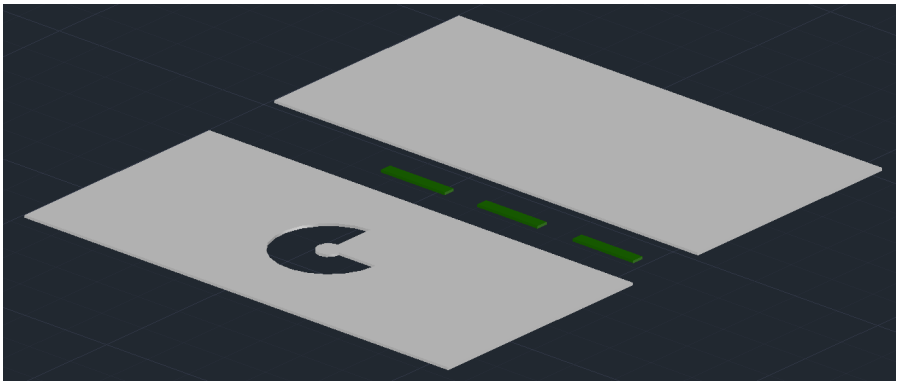
Baskılaması tamamlanan konut modeli üzerinden geleneksel konut yapım yöntemleri ile kıyaslamada kullanılmak üzere üç boyutlu beton yazıcılar yönünden maliyet, zaman ve işçilik hesaplamaları yapılmıştır.

3. Uygulama

3.1. AutoCAD Programında Üç Boyutlu Tasarım

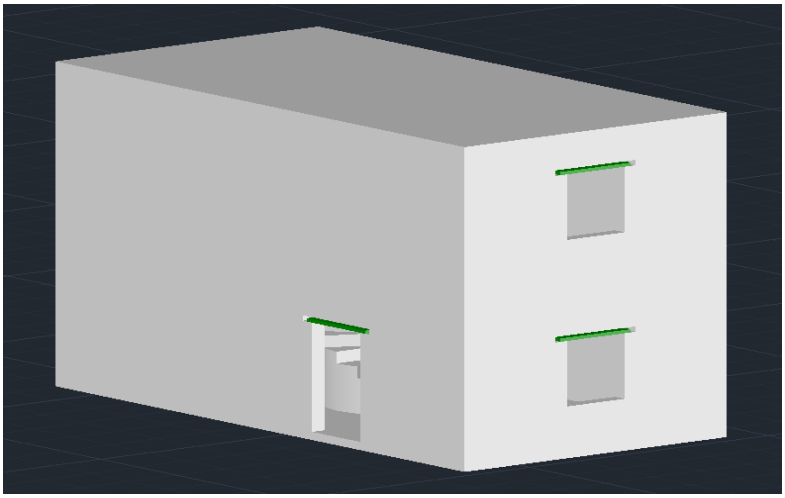
Üç boyutlu baskılamanın ilk aşaması olan üç boyutlu konut tasarımı için AutoCAD programında gerçek ölçüleri 10,75 m (uzunluk) x 5,50 m (genişlik) x 5,95 m (yükseklik) olan iki katlı bir konut örneği bilgisayar ortamında çizilmiştir. Döşeme kalınlığı 0,15 m, duvar kalınlıkları ise 0,25 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca kat yükseklikleri 2,70 m olacak şekilde ayarlanmıştır.

Baskısı yapılacak konutta her katta birer adet olmak üzere 1,20 m x 1,20 m ebatların toplamda iki pencere ve zemin katta bina girişi için 1,25 m x 2,00 m ebatlarında bir adet dış kapı boşluğu bırakılmıştır. Burada az sayıda pencere ve kapı boşluğu bırakılmasının nedeni birer örnek ile kalıp uygulamasının test edilmesidir. Döşemelerde kalıpların oturacağı bölgelerde 0,10 m dişler oluşturulmuştur. Bu boşluklara gelecek olan kalıp kalınlıkları 0,06 m şeklinde ayarlanmıştır. Böylece malzeme ekstrüzyonu sırasında plastik malzemeden kaynaklanabilecek kabarmaların önüne geçebilmek için 0,04 m pay oluşturulmuştur. Aynı zamanda yatayda döşeme kalıpları ile döşeme kalıp yerlerinin arasında kalıp oturmasının sorunsuz olması adına her kenarda 0,05 m fark bırakılmıştır. Aynı işlemler kapı ve pencere lentoları için de yapılmıştır. Döşeme kalıbı 10,35 m (uzunluk) x 5,10 m (genişlik) ve 0,06 m (yükseklik), pencere lentoları 1,48 m (uzunluk) x 0,25 m (genişlik) x 0,06 m (yükseklik), kapı lentosu ise 1,55 m (uzunluk), 0,25 m (genişlik) ve 0,06 m (yükseklik) boyutlarındadır.



Şekil 2 - Üç Boyutlu Yazıcıda Yazdırılacak Olan Kalıpların AutoCAD Çizimi

Modellemede zemin kattan birinci kata geçişin sağlanabilmesi için 12 adet basamaklı, 270º dönüşlü bir döner merdiven tasarımı yapılmıştır. Döner merdiven tasarımında merdiven yapım kurallarına dikkat edilmiştir [13]. Tasarlanan tüm modelleme ölçüleri AutoCAD programında yazıcı yazdırma alanı ve boyutları düşünülerek 1/100 ölçeğinde yapılmıştır. Örneğin, ölçekli tasarımda konut ölçüleri 107,5 mm (uzunluk), 55,0 mm (genişlik), 59,5 mm (yükseklik) şeklindedir. Ölçekli değerler baskılanacak konut modelinin somut ebatlarını temsil etmektedir.



Şekil 3 - Üç Boyutlu Yazıcıda Yazdırılacak Olan Konut Tasarımının AutoCAD Çizimi

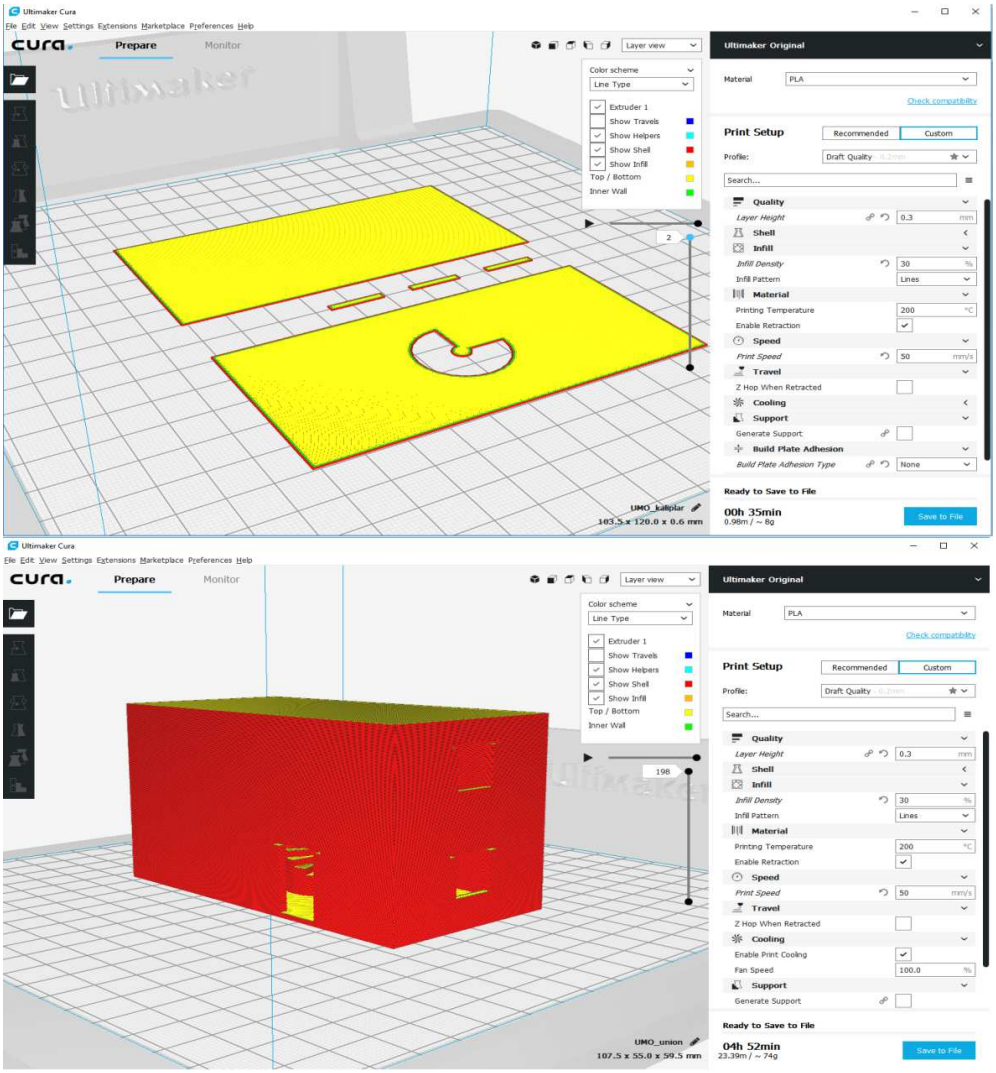
Tasarımı tamamlanan kalıp ve konut modellemeleri AutoCAD programı üzerinden ".stl" uzantılı olacak şekilde kaydedilmiştir.

3.2. CURA Programında Dilimleme

STL uzantılı kalıp ve konut dosyalarının dilimleme işlemi için CURA programına aktarılması sağlanmıştır. Öncelikle kalıp dosyası yazdırılacağından, kalıplar Tablo 1'deki parametreler üzerinden katmanlarına dilimlenmiştir. Dilimleme işleminin ardından program üzerinden yazdırma yolu incelenmiştir. Kalıpların tasarım dosyası G-CODE formatında yazıcıya aktarılmak üzere kaydedilmiştir. İki katlı konut modelinin dilimlenme işlemi kalıp tasarımının dilimleme işlemindeki gibi yapılmıştır. Yine konut tasarımı için ilgili baskılama parametreleri Tablo 1'deki gibidir. CURA programına göre dilimleme işlemi tamamlanan kalıpların baskılanmasının yaklaşık 35 dk süreceği ve filament kullanımının yine yaklaşık 0,98 m / 8 g olacağını görülmüştür. Aynı şekilde konut tasarımının baskılanması için program yaklaşık 4 saat 52 dk süre ve 23,39 m / 74 g filament kullanımı değerlerini göstermiştir. Dilimleme işlemi yapılan kalıplar için katman sayısı 2, iki katlı konut için katman sayısı 198'dir. Dilimlenen tasarımlar bir hafıza kartına alınarak yazıcıda yazdırılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

Tablo 1 - Konut ve Kalıpların CURA Programında Seçilen Yazdırma Verileri

CURA Yazdırma Özellikleri	Seçilen Yazdırma Verileri
Yazıcı nozül hareket hızı (mm/sn)	50
Katman kalınlığı (mm)	0,3
Doluluk (%)	60
Raft ve Support (Destek)	Yok
Tabla sıcaklığı (^{O}C)	60
Ekstruder sıcaklığı (^{O}C)	200



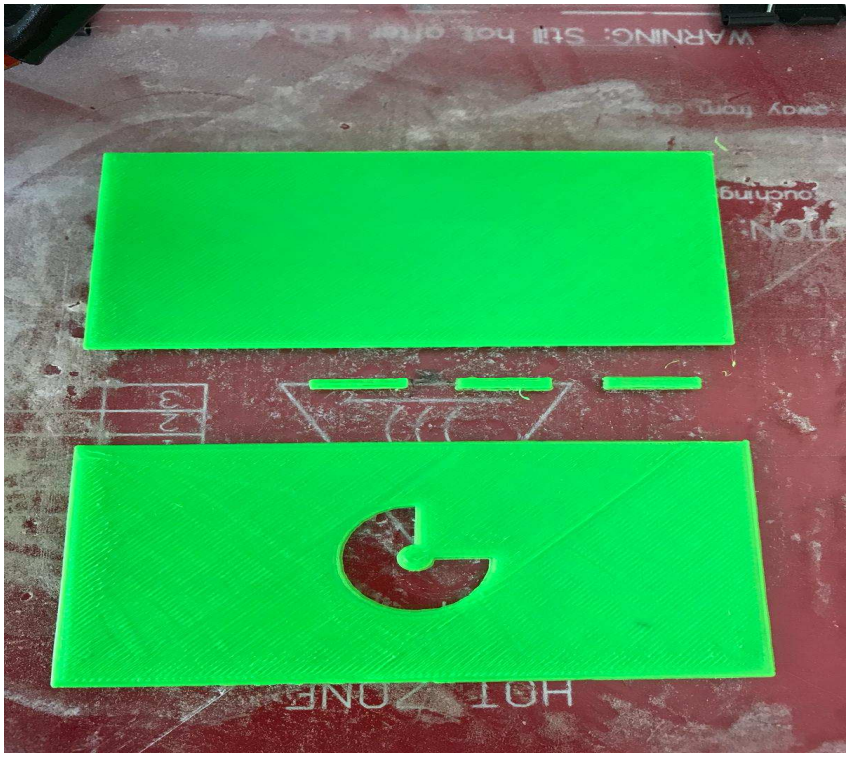
Şekil 4 – CURA Programında Dilimlenen Kalıplar ve Konut Tasarımı

Raft ve support (destek) parametresinin kullanılmama sebebi polimer plastik malzeme kullanan yazıcılarda, eriyik plastikten oluşturulan destek çubukların üç boyutlu beton yazıcılarda beton ile yapılamayacak olmasındandır. Zaten buradaki amaç üç boyutlu beton yazıcılardaki gibi kalıp kullanımının uygunluğunu gözlemleyerek kanıtlayabilmektir.

3.3. Prusa i3 Mk2 FDM Tipi Üç Boyutlu Yazıcıda Baskılama

Üç boyutlu beton yazıcılar büyük boyutlarda olabildiğinden, kalıp malzemesi ahşap seçilerek kullanıma hazırlanabilmektedir. Burada daha önce de belirtildiği üzere konut modelinin ölçek kaynaklı mikronluk hassasiyete sahip olması nedeni ile kalıpların üç boyutlu yazıcıda baskılanmasına karar verilmiştir. Bu boyutlarda çalışan ve katman kalınlığı 0,3 mm olarak ayarlanan bir yazıcıda ahşap kalıp kullanımı nozül hasarı gibi olumsuz sonuçlara neden olabilir. Kalıpların baskılama işlemi 45 dakika sürmüştür. Yazdırma işlemi için toplamda iki katman yapılmıştır. Katmanlar yazıcı tarafından birbirine şaşırtmalı olacak şekilde çapraz atılmıştır. Kalıp modellemelerinde birinci kat kalıbında daha önce tasarım aşamasında da

görüldüğü gibi merdiven boşluğu için 270º'lik bir boşluk bulunmaktadır. Kalıplar üç boyutlu yazıcıda baskılanarak konutun baskılanmasında kullanılmak üzere bir kenara alınmıştır.



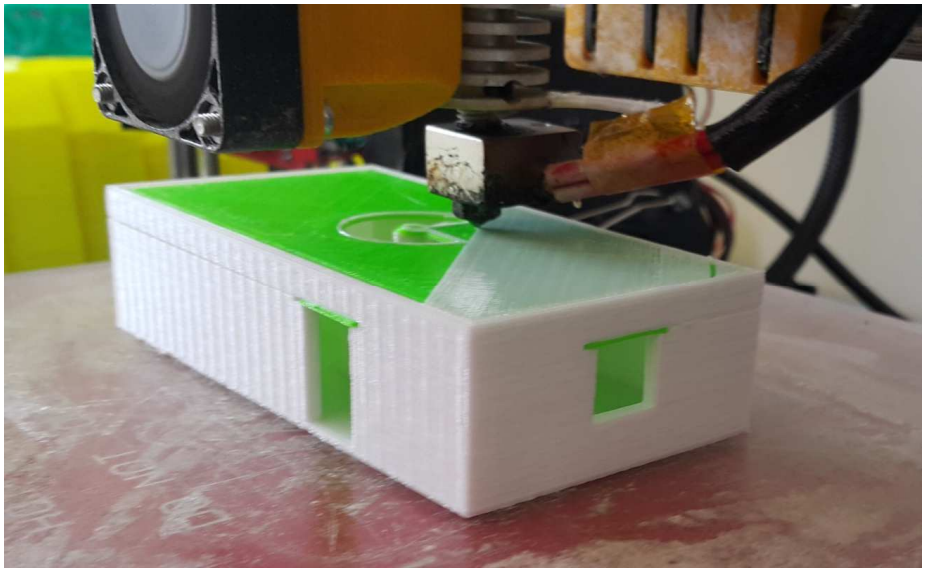
Şekil 5 – Üç Boyutlu Yazıcıda Baskılaması Tamamlanan Döşeme Kalıpları ve Lentolar

Kalıpların baskılanmasının ardından konutun baskılanma öncesi hangi yüksekliklerinde kalıp kullanımı için durdurulma işleminin yapılması gerektiğine AutoCAD programı üzerinden yapılan incelemeler ile Tablo 2'deki gibi karar verilmiştir.

Tablo 2 – Baskılanacak Konut Modelinde Kalıplar İçin Yazıcı Durdurma İşlemleri

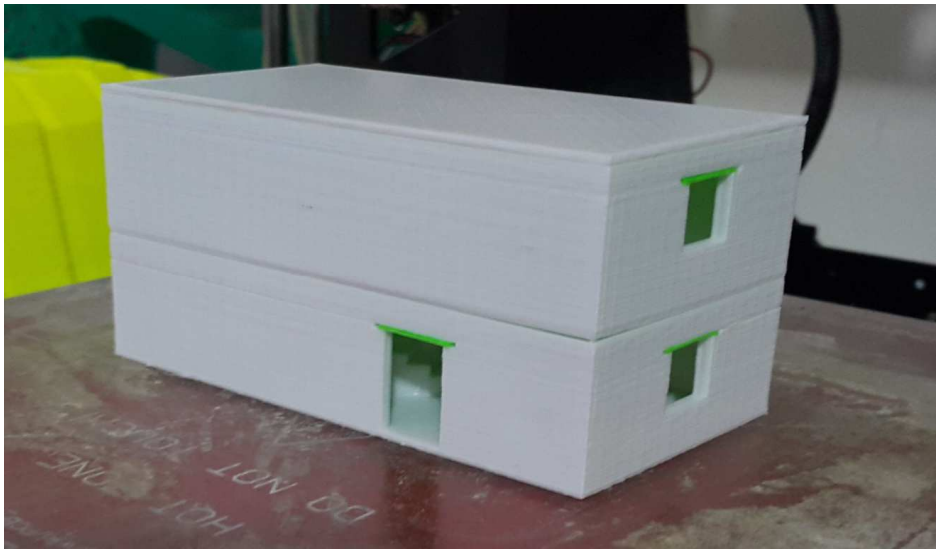
Kalıp Yerleştirme Konumları	Kalıp Yerleştirme Konum Yükseklikleri
Zemin kat kapı ve pencere lentoları	21,5 - 22,1
Birinci kat döşeme kalıbı	28,5 – 29,1
Birinci kat pencere lentosu	52,0 – 52,6
İkinci kat döşeme kalıbı	57,0 – 57,6

Tablo 2'de belirtilen tasarımda kalıp yerleştirilmesi için z-ekseninde konum yükseklikleri belirli verilmiştir. Yazıcı sırasıyla, zemin kat döşemesi, zemin kat duvar ve döner merdiveni, birinci kat döşemesi, birinci kat duvarları ve ikinci kat döşemesini başarı ile tek seferde baskılamıştır. Baskılama işlemi yaklaşık 5 saat sürmüştür. Yazıcının konutu baskılama işleminde Tablo 2' de verilen aralık değerlerde yazıcı durdurularak fazla bekleme yapılmadan kalıplar yerlerine başarı ile yerleştirilmiştir. Aralıklara dikkat edildiğinde, kalıp kalınlığı olan 0,06 mm kadar olduğu görülmektedir. Eğer bu aralıklar içerisinde ilgili kalıp yerine konulmaz ise yazdırma parametrelerinde yazıcı raft ve support (destek) özelliği kullanılmadığından malzeme ilgili boşluğa akacak ve bozulmalara neden olacaktır.



Şekil 6 – Birinci Kat Döşeme Kalıbının Yerleştirilmesi ve Döşeme Baskılama İşlemi

Şekil 6'da görüldüğü üzere birinci kat döşeme kalıbı verilen 0,10 m'lik kalıp oturma dişlerine kusursuz uyum sağlamıştır. Böylece yazıcının yazdırma yüzeyinde kalıptan kaynaklanan bir yükseklik oluşmamış ve döşeme yazdırma işlemi sorunsuz olarak yapılmıştır.



Şekil 7 – Baskılama İşlemi Tamamlanan İki Katlı Konut Modeli

Şekil 7'de dış kapı boşluğundan döner merdiven basamakları gözükmektedir. Farklı filament renkleri kullanılarak lento ve döşeme kalıplarının görülebilir olması sağlanmıştır. Tüm kalıpların ilgili yüksekliklerde yerleştirilmesinin ve kalıp üzerine malzemenin baskılanmasının ardından konutun baskılama işlemi tamamlanarak tasarlanan üç boyutlu konut modeli somut hale dönüştürülmüştür. Böylece yapılan çalışmada FDM tipi baskılama ile üç boyutlu beton yazıcılarda az katlı konutların döşeme, kapı ve pencere bölümlerinde kalıp uygulamasının sorunsuz yapılabileceği ortaya konulmuştur. Aynı zamanda bu çalışma ile ileride Türkiye'de kullanılabilecek üç boyutlu beton yazıcılarla konut yapım aşamalarının nasıl olması gerektiği gösterilmiştir.

3.4. Maliyet, Zaman ve İşçilik Hesaplamaları ve Kıyaslamaları

Baskılanan konut modeli üzerinden üç boyutlu beton yazıcılarla yapılabilecek konutlar için kaba ve ince inşaat işleri üzerinden metraj hesaplamaları yapılmıştır. Dünya genelinde de olduğu gibi ince inşaat işleri geleneksel betonarme konut tiplerindeki gibi yapılmaktadır. Kaba inşaat işleri ise baskılanan konut modeline göre hesaplanmıştır.

Dünyadaki üç boyutlu beton yazıcıda baskılanan konut örneklerinde yalıtım ve dayanım artırma gibi amaçlarla beton içeriğine cam lifi ve polipropilen lif katkısı kullanılmaktadır. Buradaki hesaplamalarda bu katkıların miktarları dikkate alınarak metraja dahil edilmiştir.

Gerçek boyutlu baskılanacak konutta temel gereksinimi de bulunmaktadır. Burada seçilen ve metrajı çıkarılan temel türü mütemadi (sürekli) temeldir. Ayrıca çatı tipi olarak ahşap tek dikmeli oturma basit kırma çatı seçilerek ilgili metrajlar hesaba katılmıştır [13]. Baskılanan konut modelinde iç duvarların bulunmaması nedeni ile ince işçilik metrajları için hesaplamalarda iç duvar konumlandırılması yapılmıştır.

Hesaplanan tüm metrajlar iş kalem numaraları (poz no) ve açıklamaları üzerinden Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2019 Birim Fiyat Cetvelinden ilgili birim fiyatları alınarak konut toplam fiyat tutarı bulunmuştur [14]. Tasarlanan konut için yapılmış tesisat projesi bulunmadığından, piyasa araştırması yapılarak yaklaşık bir tesisat bedeli toplam konut fiyatına eklenmiştir. Bulunan fiyattan %25'lik yüklenici kârı ve genel giderleri çıkarılarak bu tasarım üzerinden toplam konut maliyeti elde edilmiştir. Elde edilen toplam maliyet bedeli toplam konut alanına (m^2) bölünerek üç boyutlu baskılanmış olan konutun yaklaşık yapı birim maliyeti 592 TL/m^2 olarak bulunmuştur. Yapılan araştırmalarda elde edilen üç boyutlu beton yazıcı fiyatlarına göre, 8 metre derinliğe kadar olan binalarda 3 milyon TL (güncel döviz kuru üzerinden) gibi bir üç boyutlu beton yazıcı fiyatına ulaşılmıştır. Böylece yapılmış olan iki katlı konut tasarımı üzerinden 10 yıllık bir amortisman bedeli hesaplanmıştır. Bulunan maliyete yazıcı fiyatı üzerinden yapılan 10 yıllık amortisman bedeli hesaplanarak 165 TL/m^2 olarak eklenmiştir. Böylelikle üç boyutlu beton yazıcı ile baskılanabilecek bu konut modelinin toplam yaklaşık yapı birim maliyetinin 757 TL/m^2 olduğu görülmüştür.

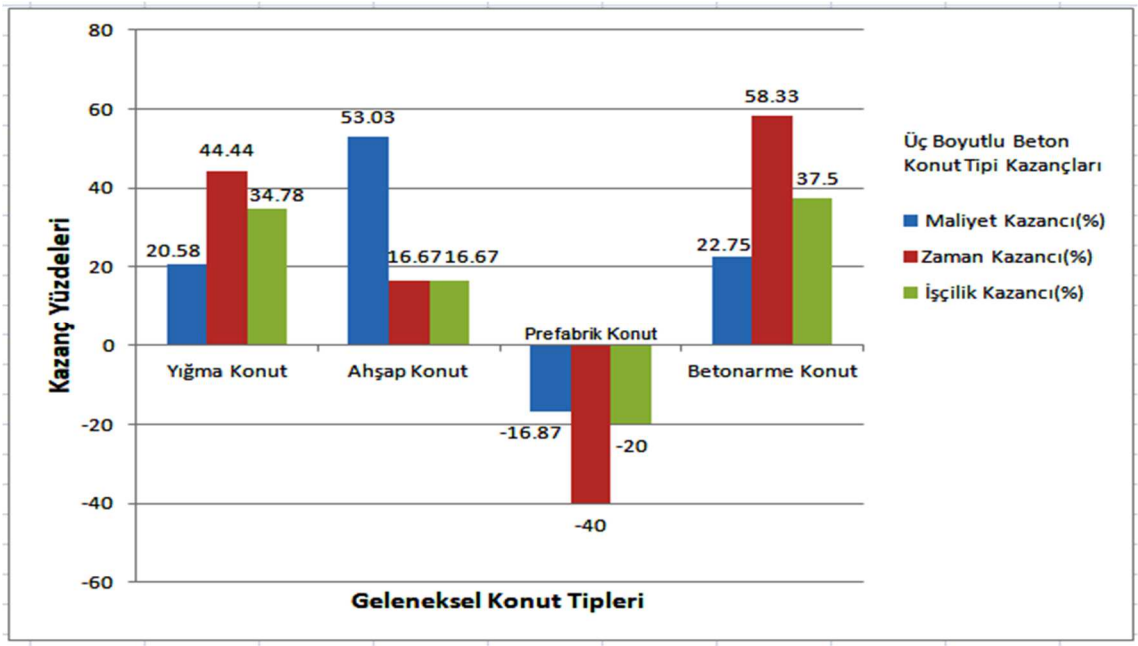
Bulunan yaklaşık birim metrekare maliyetinin geleneksel yöntemlerin yaklaşık birim metrekare maliyetleri ile kıyaslanabilmesi adına inşaatta kullanılan malzemeler üzerinden bir konut/mesken sınıflandırılması yapılmıştır [15]. Yapılan sınıflandırmada üç boyutlu baskılanan konutun 1.Sınıf İnşaat statüsünde olduğu varsayılmıştır. Ayrıca yığma, ahşap, prefabrik (hafif) ve betonarme konut tipleri için yaklaşık birim metrekare maliyetleri 30513 Sayılı Resmi Gazetesinde yayınlanan 2019 Yılı İçin Binaların Metrekare Normal İnşaat Maliyet Bedellerini Gösterir Cetvelden alınmıştır [16]. Alınan bu cetvelde betonarme karkas sistemler için belirtilmiş tüm bina sınıflarının metrekare birim fiyatları ortalaması alındığında 938 TL/m^2 yapı birim maliyetine ulaşılmıştır. Ancak betonarme konut tipi için 30716 Sayılı Resmi Gazetesinde yayınlanan, 2019 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetlerinde III. Sınıf Yapıların A Grubu Yapılar bölümünde yer alan üç kata kadar konutların yaklaşık yapı birim maliyeti olarak gösterilen 980 TL/m^2 kıyaslamalarda kullanılmıştır [17].

Konutun yapım süresi anlamında hesaplamaların yapılabilmesi için adam/saat tabloları kullanılmıştır [18]. Yapılan hesaplamalar ile toplam yapım süresi tam verim olması koşulu ile 500 saat olarak bulunmuştur. Günlük çalışma süresi 10 saat alınarak üç boyutlu beton yazıcıda baskılanabilecek bu konut için yapım süresi toplam 50 gün olarak tespit edilmiştir. Yazıcının bu toplam yapım süresinde beton baskılama gün sayısı 6-7 gündür. Ancak yazıcının şantiye alanına kurulmasından, çatı işlerinin başlangıcına kadar geçen gün sayısı 14 gündür. Kaba inşaat işleri 30 gün, ince inşaat işleri ise 20 gün sürmektedir. Geleneksel yöntemlerin yapım sürelerinin hesaplanmasında adam/saat tablolarından yararlanılmıştır. Yaklaşık yapım süresi olarak yığma konut tipi için 90, ahşap konut tipi için 60, prefabrik konut tipi için 30 ve betonarme konut tipi için 120 gün bulunmuştur. Burada bulunan süreler daha önce tasarlanmış konut ebatları üzerinden kıyaslamalar için yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3 – Tüm Konut Tiplerinin Maliyet, Zaman ve İşçilik Değerleri

Konut Tipi (1.Sınıf)	Maliyet (TL/m^2)	Zaman (Gün)	İşçilik (Gün)
Yığma	953,19	90	46
Ahşap	1611,63	60	36
Prefabrik	629,29	30	24
Betonarme	980,00	120	48
Üç Boyutlu Beton Yazıcı	757,00	50	30

Elde edilen ve cetvellerden alınan tüm maliyet, zaman ve işçilik değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Geleneksel yöntemlere göre üç boyutlu beton yazıcı kullanımının maliyet, zaman ve işçilik kazançları Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8 – Üç Boyutlu Beton Yazıcı Konut Tipinin Geleneksel Yöntemler ile Kıyaslanması

İşçilik hesaplamalarında ince işçiliklerin geleneksel yöntemler ile benzerlik göstermesinden ve üç boyutlu beton yazıcının konutta kaba inşaat aşamasında kullanılmasından dolayı kıyaslamada yaklaşık kaba inşaat süreleri kullanılmıştır. Geleneksel

konut tiplerinde yapılan işçilikler göz önünde bulundurularak hesaplanan kaba işçilik süreleri yığma konut tipi için 46 gün, ahşap konut tipi için 36 gün, prefabrik konut tipi için 24 gün, betonarme konut tipi için 48 gün olarak bulunmuştur. Örneğin, prefabrik konutlarda neredeyse tüm yapı elemanları ve işçiliklerin çoğu (tesisat, boya, ısı yalıtım, kapı-pencere vb.) bir atölye veya fabrika alanında üretildiğinden, prefabrik konutlarda kaba işçilik yaklaşık %80'e (24 gün) denk gelmektedir.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Bu çalışmada FDM tipi üç boyutlu bir yazıcıda baskılanan konut modeli ile üç boyutlu beton yazıcılarda döşeme, kapı ve pencerelerde kalıp kullanımının başarı ile uygulanabileceği gösterilmiştir.
- Türkiye' de az katlı konut yapımında üç boyutlu beton yazıcı kullanımının uygulanabilirliği FDM tipi yazıcıda baskılanan iki katlı bir konut modeli üzerinden incelenen yapım aşamaları ile kanıtlanmıştır.
- FDM tipi yazıcıda baskılanan ve daha önce tasarlanmış olan iki katlı bir konut modeli üzerinden üç boyutlu beton yazıcılarla konut yapımı için yaklaşık maliyet, zaman ve işçilik miktarları elde edilmiştir. Aynı zamandan bulunan maliyete yazıcı fiyatı 10 yıllık amortisman süresi dikkate alınarak eklenmiştir.
- Üç boyutlu beton yazıcı konut tipi için bulunan maliyet, zaman ve işçilik miktarları, geleneksel yöntemlerden yığma, ahşap, prefabrik ve betonarme konut tiplerinin maliyet, zaman ve işçilik miktarları ile kıyaslanmıştır.
- Yapılan maliyet kıyaslamalarında üç boyutlu beton yazıcı tekniği ile konut yapımının yaklaşık olarak yığma konut tipine göre % 21, ahşap konut tipine göre % 53, betonarme konut tipine göre % 23 oranında kazanç sağladığı saptanmıştır. Ancak diğer geleneksel konut tiplerinin aksine prefabrik konut tipinin üç boyutlu beton yazıcı konut tipine göre maliyet bakımından % 17 oranında kazançlı olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan zaman (yapım süresi) kıyaslamalarında üç boyutlu beton yazıcı tekniği ile konut yapımının yaklaşık olarak yığma konut tipine göre % 45, ahşap konut tipine göre % 17, betonarme konut tipine göre % 58 oranında kazanç sağladığı saptanmıştır. Ancak diğer geleneksel konut tiplerinin aksine prefabrik konut tipinin üç boyutlu beton yazıcı konut tipine göre zaman bakımından % 40 oranında kazançlı olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan işçilik kıyaslamalarında üç boyutlu beton yazıcı tekniği ile konut yapımının yaklaşık olarak yığma konut tipine göre % 35, ahşap konut tipine göre % 17, betonarme konut tipine göre % 38 oranında kazanç sağladığı saptanmıştır. Ancak diğer geleneksel konut tiplerinin aksine prefabrik konut tipinin üç boyutlu beton yazıcı konut tipine göre % 20 oranında kazançlı olduğu tespit edilmiştir.
- Geleneksel konut tiplerinden prefabrik(hafif) konut tipinin diğer geleneksel yerinde yapım konut tiplerinin aksine atölye veya fabrikalarda üretilmesi sebebiyle üç boyutlu beton yazıcı konut tipine göre kazançlı olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

1. Pegna, J. (1997). Exploratory Investigation of Solid Freeform Construction. Automation in Construction, 5(5), 427–437.doi:10.1016/s0926-5805(96)00166-5
2. Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive Manufacturing of Concrete in Construction: Potentials and Challenges of 3D Concrete Printing. Virtual and Physical Prototyping, 11(3), 209–225.doi:10.1080/17452759.2016.1209867
3. Khoshnevis, B., Hwang, D., Yao, K. T., & Yeh, Z. (2006). Mega-Scale Fabrication by Contour Crafting. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 1(3), 301.doi:10.1504/ijise.2006.009791
4. Zhang, J., & Khoshnevis, B. (2013). Optimal Machine Operation Planning For Construction by Contour Crafting. Automation in Construction, 29, 50–67. doi:10.1016/j.autcon.2012.08.006
5. Buswell, R., Lim, S. A., Le, T. T., Austin, S. A., Gibb, A. G. F., & Thorpe, T. (2012). Developments in Construction-Scale Additive Manufacturing Processes. Automation in Construction, 21, 262–268. doi:10.1016/j.autcon.2011.06.010
6. Le, T. T., Austin, S. A., Lim, S., Buswell, R. A., Gibb, A. G. F., & Thorpe, T. (2012). Mix Design and Fresh Properties For High-Performance Printing Concrete. Materials and Structures, 45(8), 1221–1232.doi:10.1617/s11527-012-9828-z
7. Yingchuang Building Technique (Shangai) Co. Ltd. WinSun. <http://www.winsun3d.com/>
8. Beijing Huashang Luhai Technology Co. Ltd. <http://www.hstdgm.com/>
9. Totalkustom Co. Ltd. <http://www.totalkustom.com/>
10. Prusa i3 mk2 FDM Printer, 2017. < https://www.prusa3d.com/prusa-i3-kit/>
11. AutoCAD , Computer Aided Design Software For Architects-Engineers, Educational Version, Autodesk Inc., 2011.
12. Ultimaker Cura Software 4.0, 2011-2019 Ultimaker B.V. <https://ultimaker.com/en/products/ultimaker-cura-software>
13. Özcan, K. (2002). Yapı (9.Baskı). Bilim Yayınevi, Ankara / TÜRKİYE ISBN: 975-556-020-3
14. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı' nın 2019 Birim Fiyatları, Analiz ve Tarifleri. <https://www.ampyazilim.com.tr/haberler/2019-birim-fiyatlari-cikti/>
15. Bina İnşaat Sınıflarının Tespitine Dair Cetvel. 17899 Sayılı Resmi Gazete <https://intvd.gib.gov.tr/2014_Emlak_Arsa/pdf/BinaInsaatSiniflarininTespitineDairCetvel.pdf>
16. 2019 Yılı İçin Binaların Metrekare Normal İnşaat Maliyet Bedellerini Gösterir Cetvel. < http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/08/20180818-11-1.pdf>
17. Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2019 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ 30716 Sayılı Resmi Gazete <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/03/20190316-12.htm>
18. Kuruoğlu, M. ve Bayoğlu, F. (2001). Yapı Üretiminde Adam Saat Değerlerinin Belirlenmesi Bir Araştırma ve Sonuçları. 16. İnşaat Mühendisliği Teknik Kongresi, 1-3 Kasım, 1-10, Ankara

A SURVEY OF FACTORS INFLUENCING THE REVENUE AND COST IN REAL ESTATE PROJECTS

Mustafa Barış FAZİLET[1], Deniz ARTAN[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Istanbul Technical University, Turkey
Emails: mbfazilet@yahoo.com, artande@itu.edu.tr

Abstract

Main goal of investment projects, excluding infrastructure and public ones, is to make profit. Therefore, profitability is a critical performance indicator of real estate investment projects. Project profitability depends on the difference between the revenue and cost resulting from decisions taken and practices carried out by the project stakeholders at each stage of the investment cycle. This study presents the determinants of revenue and cost in real estate construction investment projects in Turkey. Factors that affect profitability are divided into two groups; (i) factors that affect cost of the project, (ii) factors that affect revenue of the project. As a result of an in-depth review of literature, 171 studies are examined over the period of 2000-2019 in selected databases and journals on construction and real estate, finance and economics. Based on this examination, 191 factors are identified and categorized. 82 of them are cost/expense related factors of projects while 109 of them are income/revenue related factors. The most prominent factors in the group of cost/expense related factors are found as communication between stakeholders, project management capabilities, financial stability & adequacy of funding. On the other hand, the most prominent factors in the group of income/revenue related factors are distance to city center & shopping center, per capita income, price level of real estate.

Keyword(s): profitability, real estate, construction, cost factors, revenue factors.

1. Introduction

Investment projects may be carried out by governments to solve a problem and to meet the public needs. On the other hand the primary concern of private enterprises carrying out real estate construction investment projects is to maximize profit under certain constraints.

Real estate investment projects involve many processes and at each process, different stakeholders need to cooperate. Figure 1 summarizes these stages. Each process is a stage that determines the profitability at the end of the project. In these processes, the parties involved in the project have an impact on the project profitability. Real estate investment project development is a complicated process and understanding the stages is fundamental for being successful in this business.

1.1. Definition of each stages at the investment cycle

Demand: A construction project is developed to satisfy the needs of a demander which might be residential population, private institutions or government.

Research: Legal, technical, economic and financial issues of the project are investigated in this stage. At research stage, various data are collected to use in the next stage which is evaluation and feasibility. Preliminary project cost and revenue forecasts are estimated by professionals at this stage.

Evaluation and Feasibility: Collected data in the previous stage are analyzed using static or dynamic methods to decide whether the investment project will proceed or not. So, data used in the feasibility model has a critical effect on the decision. For this reason, it is key to know which parameters have impacts on the revenue and the cost data used in the feasibility model.

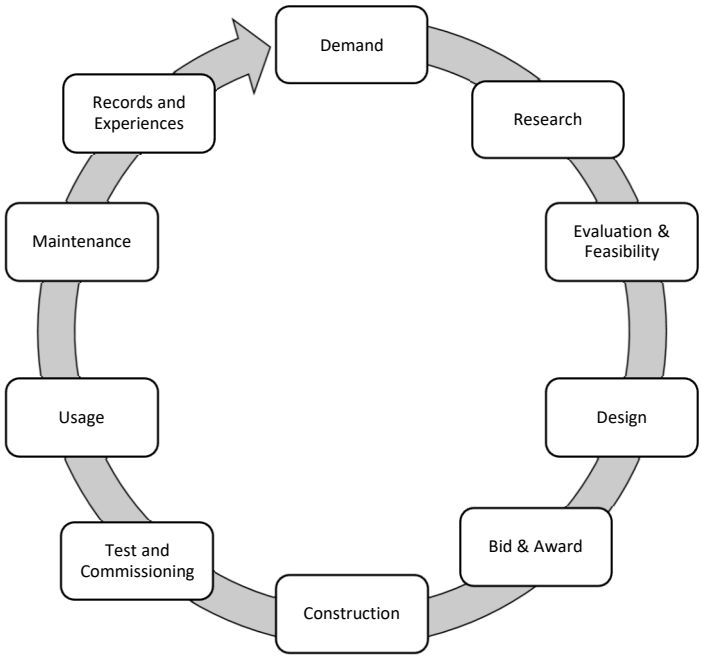


Figure 1 – Investment cycle [1]

Design: Drawings and specifications are conducted. As the project idea becomes more tangible, cost and revenue estimates become more realistic.

Bid and Award: According to results of the bidding process, construction contract is signed with one of the contractor candidates.

Construction: After legal permits and approvals are obtained, construction process is started. There are so many participants like owner, consultants, contractor(s), suppliers, design team, sub-contractors, controlling agencies etc. to perform a single goal. A significant cost of the project consists of expenditures at this stage. Therefore, cost control at this stage is so critical for overall profitability of the project.

Test and Commissioning: This stage aims to be carried out on installations to ensure that they are safe and meet the design requirements and specifications.

Usage: After completion of the construction, project is delivered to owners. Project is managed and operated by facility managers. Investment starts to generate revenue and profit.

Maintenance: Defects arising from usage of the facility or any installations not carried out by the contractor in accordance with specifications must be eliminated.

Records and Experiences: All experiences during the investment cycle must be recorded, documented and classified to implement in the next project. Thanks to these records, more successful and profitable projects can be managed.

Briefly, project profitability is the difference between the revenues and the costs resulting from decisions and practices carried out by the project stakeholders at each stage of the investment cycle.

Today, especially in Turkey, when medium and large scale real estate projects, named as branded housing and mixed use projects, of many companies in the construction sector are examined, it is evident that there are significant differences between initial forecasts and realizations in both cost and revenue.

So, it is critical to be aware of factors that affect profitability to prevent the discrepancy between forecasts and realizations. Since there are mainly two components of profitability, the factors should also be examined in two groups, namely cost and revenue.

1.2. Cost related factors

Cost is a fundamental norm of measuring project profitability. Projects are rarely finalized with estimated project costs. For improving cost performance, it is very important to identify the reasons affecting cost performance (Memon, Rahman, Abdullah and Azis, 2014: 30). Cost overrun is occurred because of several factors as stated in the following chapters. These factors are categorized into nine (9) groups, bidding and contractual arrangements, project characteristics, environmental, material-equipment-resources, people-labor, economic-financial-political-legal, stakeholders, project management items, design-documentation related factors.

1.3. Revenue related factors

Revenue is the income that a company receives due to sale or rental activity of the real estate development projects. At the end of the investment, if project makes less revenue than estimated, profitability rate decreases or the project does not make any profit. There are many revenue related factors which are categorized into eight (8) groups: house, environmental, location, accessibility, design-quality, financial-economic-politic-market, society-humanity, construction-real estate firms related factors.

2. Methodology

The articles that are examined in this study are obtained from a group of international academic databases, namely ASCE, Taylor & Francis, Emerald, Science Direct, Scopus.

As a result of an in-depth review of literature, 171 studies are examined over the period of 2000-2019 from the following academic journals: International Journal of Academic Value Studies (Javstudies), ZKU Journal of Social Science, Ege Academic Review, Journal of Management in Engineering, International Conference on Construction and Real Estate Management, Journal of Construction Engineering and Management, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Urban Policy and Research, International Journal of Sustainable Transportation, Journal of ITU/ Serie A: Architecture, Planning, Design, International Journal of Construction Management, International Journal of Science and Research (IJSR), Yıldız Technical University Faculty of Architecture E-Journal (Megaron), Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering, International Conference on Sustainable Design, Engineering and

Construction, International Journal of Civil Engineering and Built Environment, Association of Researchers in Construction Management (Arcom), International Journal of Civil Engineering, Construction and Estate Management, Çankaya University Journal of Science and Engineering.

Based on this examination, 191 factors are identified and categorized. 82 of them are cost / expense related factors of projects while 109 of them are income / revenue related factors.

3. Analysis and Results

An extensive review of the literature shows that some factors mentioned above are more commonly analyzed than others. For instance, communication between stakeholders and departments is the most significant one in cost related factors. On the other hand, relationship with government department is mentioned only by Lu W. et al. (2008) in cost related factors. Regarding revenue related factors, accessibility to city center, shopping center, school and business district is the most important one, while presence of servant's room is analyzed only by Unlukara T. (2008).

Frequency distribution of factors in the literature are based on subject and scope of the articles. Gonzalez P. and Gonzalez V. (2014) examines causes of delay and time performance in construction projects, and therefore cost related factors in this article are about activity delay and schedule. Unlukara T. (2008) focus on luxury residential projects in Istanbul. Since scope of this paper is limited to luxury residential projects, revenue related factors studied in this article -like presence of servant's room- is not mentioned in rest of the literature.

As shown in Table 1, communication between stakeholders, departments is the most frequent factor studied in the literature. So, it can be assumed that it is the most important and critical factor for the cost performance of projects. Also, project management capabilities, competency, leadership skills and financial stability, cash flow performance and adequacy of funding factors are frequently analyzed in the literature. Other factors and frequency distribution are included in Annex-1.

Table 1 – Most frequent 3 factors in cost related factors.

Factor No	Years	2002	2008	2014	2015	2013	2010	2015	1999	2008	2012	2006	2015	2015	2014	2015	2014	2018	2017	2016	Frequency
	Author(s)	Takim R. & Akintoye A.	Shaban S. S. A.	Memon A. H. et al.	Helen B. I. et al.	Basdogan S. & Onel H.	Karatepe D. & Yıldırım F.	Saraf D. D.	Chua D. K. H. et al.	Lu W. et al.	Inayat A. et al.	Yu A. T. W. et al.	Liu J. et al.	Hwang B. et al.	Gonzalez P. & Gonzalez V.	Erdem D. & Ozorhon B.	Zhang F. et al.	Muhammed Z. & Johar F.	Sineilassie E. G. et al.	Mahamid I.	
5	Communication between stakeholders, departments	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	**16**

17	Project management capabilities, competency and leadership skills	X	X	X	X				X	X	X		X			X	X				**10**
21	Financial stability & management, cash flow performance, adequacy of funding	X	X	X					X	X	X		X			X		X		X	**10**

As shown in Table 2, accessibility to city center, shopping, school and business district is the most frequent factor studied in the literature. So, it can be assumed that it is the most important and critical factor for the revenue performance and sales performance of real estate projects. Also, per capita income, per capita disposable income, wealth levels and distribution and price level of real estate factors are frequently analyzed in the literature. Other factors and frequency distribution are included in Annex-2.

Table 2 – Most frequent 3 factors in revenue related factors.

Factor No	**Years**	2014	2012	2008	2009	2018	2016	2015	2014	2017	2013	2013	2016	2009	2007	2018	2007	2015	2011	2017	**Frequency**
	Author(s)	Yayar R. & Karaca S. S.	Gül G.	Unlukara T.	Ozturk N. & Fitoz E.	Memis S.	Niu X. & Wang P.	Erdem D. & Ozorhon B.	Zhang F. et al.	Cao Q.	Wang Z. & Zhang J.	Zhang B. & Gao X.	Rafiei M. H. & Adeli H.	Erna L.	Tokgöz A. O.	Park H. et al.	Berry M. & Dalton T.	Mulley C. & Tsai C.	Cetintahra G. E. & Cubukcu E.	Afşar A. et al.	
8	Accessibility to city center, shopping center, school district, business district	X	X	X		X								X	X	X		X			**8**

77	Per capita income, per capita disposable income, wealth levels and distribution				X				X	X	X	X					X	X			**7**
79	Price level of real estate				X	X			X			X			X	X		X			**7**

4. Conclusion

Factors affecting profitability of real estate investment projects are examined in this study. Since there are mainly two components of profitability, these factors are examined in two groups, namely cost and revenue. 82 of 191 factors which are categorized in 9 subgroups, are cost related, 109 of 191 factors which are categorized in 8 subgroups, are revenue related. Also, for each factors frequency of being studied in the literature is identified.

Identification of factors affecting profitability is beneficial both to academic researchers and practitioners. The factors listed in this study, can serve as a checklist during initial phase or execution phase of an investment. As stated in the introduction, most of the investments aim to make profit. Especially in early stage of investment cycle, all these factors should be considered while doing cost and revenue forecast of the project. All these factors should be taken into consideration during the execution phase of the project, so that there is no significant difference between initial forecasts and realizations in both cost and revenue. Also, this study contributes to the academic literature by identifying all factors of profitability including both cost and revenue related ones. Future research will focus on testing and validating the proposed factors associated with profitability.

References

1. 2014, Chapter 2.4: Stages of construction investment process, lecture notes, Construction management INS 341, Istanbul Technical University
2. Afşar A., Yılmazel O. and Yılmazel S. (2017) Determining the parameters of housing prices using hedonic model: A case study in Eskisehir. Selcuk University, The Journal of Institue of Social Sciences, Vol. 37, pp 195-205.
3. Basdogan S. and Onel H. (2013) Cash Flow Valuation in Real Estate Development Projects with Decision Tree Analysis. Megaron, Vol. 8, No. 3, pp 149-164.
4. Berry M. and Dalton T. (2007) Housing prices and policy dilemmas: a peculiarly Australian problem? Urban Policy and Reseacrh, Vol. 22, No. 1, pp 69-91.
5. Cao Q. (2017) Empirical analysis of influencing factors of real estate development: A case study of Harbin. International Conference on Construction and Real Estate Management 2017: Project Management and Construction Technology, pp 225-231.
6. Cetintahra G. E. and Cubukcu E. (2011) The effect of environmental aesthetics on house prices. Journal of ITU/ Serie A: Architecture, Planning, Design, Vol. 10, No. 1, pp 3-12.
7. Chua D. K. H., Kog Y. C., Loh P. K. (1999) Critical success factors for different project objectives. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 125, No. 3, pp 142-150.
8. Erdem D. and Ozorhon B. (2015) Assessing real estate project success using an analytic network process. Journal of Management in Engineering, Vol. 31, No. 4, 04014065.
9. Erna L. (2009) The factors affecting the prices of upper middle and high income residential projects in the urban development areas of Istanbul. (Master's thesis). Retrieved from https://polen.itu.edu.tr/ xmlui/bitstream /handle/11527/1593/9270.pdf
10. Gonzalez P. and Gonzalez V. (2014) Analysis of causes of delay and time performance in construction projects. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 140, No. 1, 04013027.
11. Gül G. (2012) Marketing management processes in construction firms active in real estate development. (Master's thesis). Retrieved from https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/8357/1/ 13392.pdf
12. Helen B. I., Emmanuel O. O., Lawal A. and Elkanah A. (2015) Factors influencing the performance of construction projects in Akure, Nigeria. International Journal of Civil Engineering, Construction and Estate Management, Vol. 3, No. 4, pp 57-67.
13. Hwang B., Zhao X. and Ong S. H. (2015) Value management in Singaporean building projects: Implementation status, critical success factors and risk factors. Journal of Management in Engineering, Vol. 31, No. 6, 04014094.
14. Inayat A., Melhem H., Esmaeily A. (2012) Critical success factors for different organizations in construction projects. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction 2012, pp 695-702.
15. Karatepe D. and Yıldırım F. (2010) Investment projects comparison with net present value at risk. Çankaya Üniversitesi Journal of Science and Engineering, Vol. 7, No. 2, pp 155-167.
16. Liu J., Love P. E. D., Smith J., Regan M. and Davis P. R. (2015) Life cycle critical success factors for public private partnership infrastructure projects. Journal of Management in Engineering, Vol. 31, No.5, 04014073.
17. Lu W., Shen L., Yam M. C. H. (2008) Critical success factors for competitivenes of contractors: China study. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 134, No. 12, pp 972-982.
18. Mahamid I. (2016) Factors contributing to poor performance in construction projects: studies of Saudia Arabia. Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering, Vol. 12, No. 1, pp 27-38.
19. Memis S. (2018) A study on determining the factors influencing the housing choices of consumers. International Journal of Academic Value Studies, Vol. 4, No. 20, pp 652-665.
20. Memon A. H., Rahman I. A., Abdullah M. R., and Azis A. A. A. (2014) Factors affecting construction cost performance in project management projects: Case of MARA large projects. International Journal of Civil Engineering and Built Environment, Vol. 1, No. 1, pp 30-35.

21. Muhammad Z. and Johar F. (2018) Critical success factors of public private partnership projects: a comparative analysis of the housing sector between Malaysia and Nigeria. International Journal of Construction Management, Vol. 19, No. 3, pp 257-269.
22. Mulley C. and Tsai C. (2015) The impact of bus rapid transit on housing price and accessibility changes in Sydney: A repeat sales approach. International Journal of Sustainable Transportation, DOI: 10.1080/15568318.2015.1106223.
23. Niu X. and Wang P. (2016) A risk assessment system of real estate trust financing. International Conference on Construction and Real Estate Management 2016: BIM Application and Off-Site Construction, pp 1338-1347.
24. Ozturk N. and Fitoz E. (2009) The determinants of housing sector in Turkey: An empirical analysis. ZKU Journal of Social Sciences, Vol. 5, No. 10, pp 21-46.
25. Park H., Lee D. and Kim S. (2018) A feasible sales price decision model for apartment housing units considering the market price and buying power. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 15, No. 2, pp 201-208.
26. Rafiei M. H. and Adeli H. (2016) A novel machine learning model for estimation of sale prices of real estate units. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 142, No. 2, 04015066.
27. Saraf D. D. (2015) Study of factors affecting performance of construction project. International Jurnal of Science and Research (IJSR), Vol. 4, No. 5, pp 1339-1341.
28. Shaban S. S. A. (2008) Factors affecting the performance of construction projects in the Gaza Strip (Master's thesis). Retrieved from https://library.iugaza.edu.ps/Thesis/81507.pdf
29. Sinesilassie E. G. , Tabish S. Z. S. and Jha K. N. (2017) Critical factors affecting cost performance: a case of Ethiopian public construction projects. International Journal of Construction Management, Vol. 18, No. 2, pp 108-119.
30. Takim R. and Akintoye A. (2002) Performance indicators for successful construction project performance. In: Greenwood, D (Ed.), 18th Annual ARCOM Conference, 2-4 September 2002, University of Northumbria. Association of Researchers in Construction Management, Vol. 2, 545-55.
31. Tokgöz A. O. (2007) Strategical market research for the residential development project: Bodrum Peninsula and Bayrampaşa study. (Master's thesis).Retrieved from https://polen.itu.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11527/1577/7460.pdf
32. Unlukara T. (2008) Analyzing housing price criteria on luxury residential projects: Example of Istanbul. (Master's thesis). Retrieved from https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/1590/1/8948.pdf
33. Wang Z. and Zhang J. (2013) Principal component analysis of influencing factors of the development of China's real estate market. International Conference on Construction and Real Estate Management 2013: Construction and Operation in the Context of Sustainability, pp 1027-1035.
34. Yayar R. and Karaca S. S. (2014) Determining factors effecting housing prices with hedonic model: A case of TR83 region. EGE Academic Review, Vol. 14, No. 4, pp 509-518.
35. Yu A. T. W., Shen Q., Kelly J. and Hunter K. (2006) Investigation of critical success factors in construction project briefing by way of content analysis. Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132, No. 11, pp 1178-1186.
36. Zhang F., Hao S., Ren X. and Li W. (2014) Influence factors and evaluation of real estate development project. International Conference on Construction and Real Estate Management 2014: Smart Construction and Management in the Context of New Technology, pp 1199-1206.
37. Zhang B. and Gao X. (2013) Demand forecasting analysis of Xi'an real estates. International Conference on Construction and Real Estate Management 2013: Construction and Operation in the Context of Sustainability, pp 920-928.

Annex 1: Cost related factors affecting profitability

Factor No	Cost affecting factors	Year	2002	2008	2014	2015	2013	2010	2015	1999	2008	2012	2006	2015	2015	2014	2015	2014	2018	2017	2016	Frequency
		Author(s)	Takim & Akintoye [3]	S. S. Abu Shaban [4]	A.H. Memon et al. [2]	B.I.Helen et al. [5]	S. Başdoğan & H. Önel [6]	D. Karatepe & F. Yıldırım [7]	Darshan D. Saraf [8]	D.K.H.Chua et al. [9]	W. Lu et al. [10]	H. Melhem et al. [11]	A. T. W. Yu et al. [12]	J. Liu et al. [13]	B.G. Hwang et al. [14]	P. Gonzalez et al. [15]	D. Erdem & B. Ozorhon [16]	F. Zhang et al. [17]	Z. Muhammed & F. Johar [18]	E. G. Sineilassie et al. [19]	I. Mahamid [20]	
Bidding and contractual arrangements related factors																						
1	Procurement & delivery strategy		X			X					X											3
2	Transparent, competitive procurement process																		X			1
3	Selection of suitable subcontractors													X								1
34	Contract management, contractual motivation / incentives								X		X	X										3
35	Dispute resolution process system, resolving skills		X							X	X	X										4
36	Number of disputes between owner and other parties			X					X													2
37	Conflicts management style, conflict between parties		X																	X		2
Project characteristics related factors																						
53	Project size									X		X								X		3
54	Constructability & project complexity		X	X		X			X	X		X								X	X	8
74	Neighbors and site conditions problems			X					X	X												3
75	Site limitations and location									X											X	2
77	Unforeseen ground and site conditions				X			X				X										3
Environmental related factors																						
76	Environmental factors (Weather, air quality, noise level etc.)			X					X					X		X				X	X	6
Material, equipment and resources related factors																						

40	Quality of equipment and raw materials in project, inappropriate material		X		X															X	3
45	Escalation & Fluctuation of material prices		X	X	X															X	4
55	Delay because of closures and materials shortage		X												X						2
56	Availability of resources (as planned through project duration), resource mng.		X	X	X		X	X		X					X				X	X	9
People, labor related factors																					
6	Employee attitudes in project		X					X								X					3
13	Employees motivation		X						X	X						X				X	5
15	Skillful workers, productivity of labors				X				X		X				X				X	X	6
18	Sustainable development and status of human resources									X							X				2
26	Capability and competency of key personnel (owner & contractor & et al.)								X		X										2
58	Availability of personals with high experience and qualification		X												X						2
Economic, financial, political, legal related factors																					
21	Financial stability & management, cash flow performance, adequacy of funding	X	X	X					X	X	X		X			X		X		X	10
28	Political, economic, social, legal & environment influences	X			X		X		X		X		X					X	X		8
29	Knowledge and expertise on law									X											1
30	Legal permissions					X															1
31	Fluctuation of exchange rate					X	X													X	3
32	Fluctuation of inflation rate					X	X														2
33	Interest rate charged by bankers on loans																			X	1
Stakeholders related factors																					
7	Owner interference & involvement & competency			X															X		2
8	Owner emphasize on low construction cost				X																1
9	Owners need thoroughly understood and defined																		X		1
10	Owner emphasize on quick construction instead of quality				X																1
20	Contractor & project team leaders level of experience	X		X	X														X		4
23	Owner's, developer's, contractor's history and size									X											1
24	Contractor / subcontractor past performance	X																			1
25	Contractor / subcontractor productivity and contribution															X					1
27	Contractor manpower and technical capabilities	X																			1

67	Consultants cooperation, involvement and contribution to project				X											X					2
68	Capability and competency of consultant key personnel								X												1
81	Relationship with government departments									X											1
82	Relationship with public and favorable social environment								X	X			X							X	4
Project management items related factors																					
4	Clear defined responsibilities and roles												X	X							2
5	Communication between stakeholders, departments	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	16
11	Realistic obligations/clear objectives and goal								X		X	X									3
12	Risk identification, allocation and management system								X	X			X	X		X		X			6
14	Common goal								X				X								2
16	Excessive bureaucracy	X																			1
17	Project management capabilities, competency and leadership skills	X	X	X	X				X	X	X		X			X	X				10
19	Low speed of decisions making, reluctance in timely decision			X				X											X	X	4
22	Overhead percentage of project		X																		1
38	Quality control & assessment system	X	X							X							X		X		5
39	Quality assurance, conformance to specification	X	X		X			X													4
41	Cost control mechanism	X	X		X		X			X						X	X				7
42	Cost of Reworks		X					X												X	3
43	Cost of change orders		X	X																	2
44	Waste rate of materials		X																		1
46	Construction method and technology	X						X							X	X			X		5
47	Level of automation, technology innovation ability								X	X	X		X			X			X		6
48	Sustainable development of technology and R&D									X						X					2
49	Site management capabilities									X										X	2
50	Construction control meetings								X		X								X		3
51	Site inspections								X		X										2
52	Scope management, clear understanding of scope of work, scope clarity									X									X		2
57	Logistic and supply chain management									X											1
59	Accurate planning and scheduling for project		X	X				X							X					X	5
65	Realistic budget and schedule, accuracy of cost and schedule estimation											X			X	X	X				4

66	Budget and schedule updates								X		X						X				3
69	Orders delivered late		X	X																	2
70	Time management									X						X					2
71	Claim skills									X	X										2
72	Delay in claim approval		X																		1
73	Delay in payment from owner to other parties (contractor, supplier etc.)		X		X			X												X	4
78	Application of health and safety mechanism		X		X					X						X					4
79	Reportable accidents rate in project		X																		1
80	Assurance rate of project, project insurance		X							X											2
Design and documentation related factors																					
60	Skillful guidance and advice from designer											X									1
61	Adequacy of design & drawings and specification				X		X	X	X		X				X					X	7
62	Design change														X				X	X	3
63	Clear end user requirements											X									1
64	Design control meetings								X		X								X		3

Annex 2: Revenue related factors affecting profitability

Factor No	Revenue affecting factors	Year	2014	2012	2008	2009	2018	2016	2015	2014	2017	2013	2013	2016	2009	2007	2018	2007	2015	2011	2017	Frequency
		Author(s)	R. Yayar & S.S.Karaca [21]	Gözde Gül [22]	Tuba Ünlükara [23]	N. Öztürk & E. Fitöz [24]	S. Memiş [25]	X. Niu & R. Wang [26]	D. Erdem & B. Ozorhon [16]	F. Zhang et al. [17]	Qun Cao [27]	X. Wang & J. Zhang [28]	B. Zhang & X. Gao [29]	M. H. Rafiei et al. [30]	L. Erna [31]	A. O. Tokgöz [32]	H. Park [33]	M. Berry & T. Dalton [34]	C. Mulley & Chi-Hong Tsai [35]	G. E. Çetintahra & E. Çubukçu [36]	A. Afşar et al. [37]	
House related factors																						
1	Heating, lighting and air conditioning specifications of house		X	X			X														X	4
2	Energy efficiency of house						X		X													2
3	Availability of waste management facilities						X															1
4	Size of the bathroom, type of bathtub		X				X															2
5	Type of roof covering		X																			1
24	Concierge services		X																	X		2
25	Whether the house is suitable for disasters such as fire and earthquake		X	X																		2
26	Building construction method technology and ground investigation			X																		1
32	Winter and summer temperature satisfaction of the house			X																		1
33	Guarantee or construction quality certificate			X																		1
34	Noise insulation, sound reduction index			X																		1
36	Design targeting customer satisfaction			X											X							2
44	Whether the house has water tank, generator etc.			X																		1
47	Presence of built-in products in the kitchen		X																		X	2
48	Size of the kitchen						X															1

49	Parking area			X		X												X	X	X	5
50	Parking garage					X								X			X	X		4
51	Number of bathrooms (en-suite bathroom)	X		X														X	X	4
52	Number of balconies	X															X	X		3
53	Size of the balcony					X														1
54	Number of rooms	X	X	X		X											X	X	X	7
55	Swimming pool			X		X								X	X			X		5
56	Steam room			X																1
57	Barbecue area			X																1
58	Hobby room			X																1
59	Terrace			X																1
60	Number of bedrooms			X																1
61	Study room			X																1
62	Dressing room			X																1
63	Servant's room			X																1
64	Presence of storage			X																1
65	Number of apartments on a floor																	X		1
66	Number of floors			X														X		2
67	Elevator	X		X														X	X	4
70	Residence services					X														1
71	Sports facilities					X								X						2
72	Winter garden			X																1
73	Size of living room (Salon)			X		X												X		3
74	Size of the house, net m2 usage area	X	X			X										X		X	X	6
75	Monthly dues and consumption expenses etc.																	X		1
76	Type of door and window profile	X																		1
Environment related factors																					
16	Presence of environmental regulations like playgrounds, sports grounds, green areas et.		X			X								X	X					4
17	Garbage, noise, air pollution and traffic problems around the house		X			X										X				3
18	The natural environment (presence and easy access to the see, the forest)		X																	1

19	Whether there are permanent staff in the common areas, neighborhood and site for repair and maintenance		X																X		2
20	Whether the necessary arrangements for security (guard, security walls, electronic security cameras, video intercom system etc.) are available	X	X			X									X				X		5
21	Neighborhood relations		X																		1
35	Environmental and landscape features seen from the house, view		X	X		X								X	X	X			X		7
41	Number of building permits issued by the city/municipality												X								1
42	Total floor areas of building permits issued by the city/municipality												X								1
68	Presence / size of green space			X		X													X		3
69	Presence / size of playground					X								X							2
108	Land price										X		X								2
Location related factors																					
6	Location of the house	X	X			X	X	X						X							6
7	The house is on site, street or avenue																		X		1
11	Ease of shopping					X									X						2
12	Easy access to health services					X															1
22	The climate of the location of house and whether the house catch the sun		X			X													X		3
23	The locations of all the dwellings in the project and the settlement criteria		X																		1
Accessibility related factors																					
8	Accessibility to city center, shopping center, school district, business district	X	X	X		X								X	X	X		X			8
9	Distance, accessibility to kindergarten					X															1
10	Accessibility to public transport vehicles					X								X				X			3
13	Road, water, electricity, sewage, natural gas and communication infrastructure, continuous improvement of infrastructure		X							X											2
14	Presence and easy access of social, cultural and recreational activity areas		X			X								X	X	X					5
Design, quality related factors																					
27	Quality of construction and material used		X			X	X							X					X		5
28	Ease of use, architectural plan of houses and rooms		X			X								X							3

29	Functional design, ergonomic solutions							X													1
30	Exterior and interior aesthetic features of the house		X											X					X		3
31	Intended interior comfort, decoration level of the house		X			X								X							3
Financial, economic, politic, market related factors																					
15	Future expectations about surrounding of the house		X											X							2
39	Home buyers' expectation of future real estate prices, premium expectations		X									X			X						3
43	Housing price and payment terms		X												X	X					3
77	Per capita income, per capita disposable income, wealth levels and distribution				X				X	X	X	X					X	X			7
78	Saving deposits (tasarruf mevduatı)											X									1
79	Price level of real estate				X	X			X			X			X	X		X			7
80	Average cons. cost of buildings by private sector of construction per m2 in the city												X								1
81	Tax policy, levies and charges								X			X				X	X				4
82	Market cumulative liquidity (millions of dollars)												X								1
83	Mortgage loan policy				X	X	X					X			X	X					6
84	Loan interest rate risk				X	X	X					X	X				X				6
85	Inflation rate level						X				X		X								3
86	Exchange rate risk						X				X		X								3
89	Political environment risk				X		X		X												3
90	Government incentives, investment expenditure for infrastructure, entertainment etc.									X							X				2
91	Private sector investment in new buildings in the city (millions of dollars)												X								1
92	Urban economic structure and development, GDP (Gross Domestic Product)								X	X	X	X			X		X				6
94	Industrialization level and improvement of people's living standards									X											1
100	Project economic evaluation results, payback period				X				X							X					3
101	Return on other investment instruments				X																1
102	Stock market index												X								1
104	Proper analysis of financial and operational risks, correctness of feasibility study							X	X												2

Society and humanity related factors																					
87	Urbanization level				X					X											2
88	Resident consumption structure								X												1
93	Demographic factors				X												X				2
95	Social security level								X												1
96	Religious belief								X												1
97	Population size and density								X		X	X	X								4
98	Population quality								X												1
99	Population age structure and population (un)employment structure								X			X						X			3
Construction, real estate firms related factors																					
37	The reliability, reputation, financial capacity and brand recognition of the construction company		X			X	X		X					X		X					6
38	Firm's credibility						X		X												2
40	Whether the firm has necessary construction permit documents		X																		1
45	Duration of housing delivery		X																		1
46	Construction delay						X														1
103	Success of sales/renting of real estate and sale strategy							X	X												2
105	Project awards							X													1
106	New ideas and technology employed in the project							X													1
107	Firm's status of land reserve, land supply								X								X				2
109	Firms' public relations ability								X												1

Küçük Ölçekli İnşaat İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Algısı

A. Erkan KARAMAN

Department of Civil Engineering, Balikesir University, Turkey
Email: ekaraman@balikesir.edu.tr

Özet

Ülkemizdeki iş kazası istasistikleri incelendiğinde, küçük ölçekli inşaat işletmelerinde meydana gelen kazaların büyük ölçekli işletmelere göre sayıca daha fazla ve daha yıkıcı etkide olduğu görülmektedir. Bu durumun ortaya çıkmasına sebep olan önemli faktörlerden biri de sektörde yer alan işverenlerin ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliği (İSG) algısıdır. Bu çalışmada küçük ölçekli inşaat işletmelerindeki İSG algısı işveren ve çalışan boyutu ile incelenmiş, algıyı etkileyen faktörler tanımlanmıştır. İşverenlerin ve çalışanların İSG algısının arttırılması, İSG uygulamalarının başarısını da arttıracağı vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, iş sağlığı ve güvenliği algısı, risk algısı

Abstract

Examining the work accident in Turkey, it is seen that accidents occurring in small scale construction enterprises are more and more destructive than the large scale enterprises. One of the important factors causing this situation is the perception of occupational health and safety (OHS) of employers and employees in the sector. In this study, the perception of OHS in small-scale construction enterprises was examined by employer and employee dimension, and factors affecting perception were defined. Improving that the OHS perception of employers and employees will increase the success of OHS applications.

Keywords: Occupational health and safety, occupational health and safety perception, risk perception

1. Giriş

Ülkemizde 2012 yılında yayınlanan 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK, 2012) ile birlikte iki ve daha fazla çalışanı olan işletmeler kanun kapsamına alınmıştır. Yayınlanan kanun ve kanun kapsamındaki yönetmeliklerle birlikte tüm işletmelerde, hem iş güvenliğinin sağlanmasına hem de mevzuat gerekliliklerinin yerine getirilmesine yönelik hızlı bir çalışma başlamıştır. Orta ve büyük ölçekli işletmelerde, gerek kurumsal kimliğe sahip olmaları gerek ise 6331 sayılı kanun çıkmadan önce yürürlükteki yönetmeliklerin kendilerini kapsayan İSG uygulamalarından dolayı, 6331 sayılı İSG Kanununa geçiş süreci küçük ölçekli işletmelere göre daha başarılı gerçekleşmiştir. 6331 sayılı kanun öncesi küçük ölçekli işletmelerde İSG uygulamaları yok denecek kadar azdı. Kanunun çıkması ve yeni mevzuata adaptasyon, küçük ölçekli işletmelerdeki işverenler ve çalışanlar üzerinde büyük baskıya yol açmıştır.

İnşaat sektöründe faaliyet gösteren küçük ölçekli işletmelerde İSG mevzuatının uygulanması diğer sektörlere göre daha zor olmuştur. İnşaat sektörünün kendine özgün yapısı, firmaların çok tehlikeli sınıfta yer alması, işletmelerin kurumsallıktan uzak olması ve çalışanların eğitim düzeyi gibi birçok faktör İSG uygulamalarının başarısını etkilemektedir. Literatürde İSG uygulamalarını etkileyen en önemli faktörlerden biri olarak İSG algısı gösterilmektedir (Ulubeyli ve diğerleri, 2014; Sanni-Anibire ve diğerleri, 2018).

Bu çalışmada, küçük ölçekli inşaat işletmelerinde İSG algısı; işveren ve çalışan ölçeğinde ele alınmıştır. İnşaat sektöründeki İSG mevzuatı incelenmiş ve küçük ölçekli iletmelerde İSG uygulamasının önündeki engeller araştırılmıştır. İşverenler ve çalışanların İSG algısı incelenmiş, İSG'nin uygulanma etkinliğini arttıracak önerilerde bulunulmuştur.

2. Küçük ölçekli işletmelerde İSG

İSG ve çalışma ortamı ile ilgili araştırmaların çoğu orta ve büyük ölçekli işletmelere yönelik yapılmaktadır (çalışan sayısı 100 ve üzeri). Bunun birçok nedeni olsa da en önemli nedeni; bu firmaların kurumsallaşma yolunda büyük yol kat etmeleri ve çok değişken olmayan çalışan profili gösterilmektedir. Bu iki durum firmalardan sağlıklı veri toplama sürecini olumlu etkilediğinden dolayı yapılan araştırmalar da bu yöne kaymaktadır (Targoutzidis ve diğerleri, 2014). Halbuki kaza istatistikleri incelendiğinde; ölümcül iş kazalarının çoğu küçük işletmelerde meydana gelmektedir (Yılmaz, 2009). İşverenlerin İSG'ye bakışı ve çalışan sayısındaki süreksizliğe rağmen küçük ölçekli işletmelerde araştırmaların yapılması, bu kazaların önlenmesi ya da azaltılmasına katkı sağlayacaktır (Legg ve diğerleri 2015).

Küçük ölçekli inşaat işletmelerinin yapısına bakıldığında bu firmalar; ya yapsat sektöründe faaliyet göstermekte ya da altyüklenici pozisyonunda görevler üstlenmektedir. İnşaat sektöründeki en önemli İSG problemi olarak bu firmalar gösterilmektedir. Alt yükleniciliğe duyulan bağımlılığın her geçen yıl artması ve inşaat sürecinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmesi İSG uygulamalarının etkinliğini daha da önemli hale getirmektedir (Mayhew ve diğerleri. 1997) .

Holmes (1999) yaptığı çalışmada küçük inşaat firmalarının İSG risklerini, daha büyük firmalar kadar etkili bir şekilde yönetmediğini belirlemiştir. Holmes'e göre küçük işletmeler yönetim süreçlerinde İSG'ye odaklanma gereğini hissetmemekte ve risk kontrolünün çalışanların sorumluluğunda olduğuna inanmaktadırlar. Wilson (2000) tarafından yapılan benzer bir çalışmada, iş güvenliği tutumlarının şirketin büyüklüğüne göre değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Küçük işletmeler; İSG'nin uygulama maliyetleri nedeniyle yüksek düzeyde İSG uygulamasından faydalanamamaktadırlar. Lingard ve Rowlinson (1994) yaptığı çalışmada daha fazla kaynağa ve deneyime sahip firmaların sağlık ve güvenlik konularını daha etkin bir şekilde ele alma eğiliminde olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, göreceli olarak, daha büyük şirketler güvenliğe daha fazla bağlı olma eğilimindedir. İSG uygulamalarında resmi dokümantasyon prosedürlerinin çok fazla olması çok küçük şirketlerin geleneklerine, yetkinliğine ve ihtiyaçlarına uymayabilmektedir (Hale 1998). Mayhew (1997), altyükleniciliğin yaygın olduğu

endüstrilerin genelinde, "ciddi yaralanma" ve "ölüm" oranlarının daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Ülkemizde küçük ölçekli inşaat firmalarının neredeyse tamamı İSG hizmetlerini, OSGB (Ortak Sağlık Güvenlik Birimi) dediğimiz kurumlar aracılığı ile yürütmektedirler. OSGB'ler işveren adına işyerinde İSG hizmetlerini yürütmekte olup, bu durum işverenin mevzuattan kaynaklanan İSG yükümlülüklerini etkilememektedir. İnşaat işletmeleri yayınlanan tebliğ gereği çok tehlikeli sınıfta yer almaktadır. İşveren tarafından ISGKATIP üzerinden OSGB ile yapılan sözleşme gereği; A sınıfı iş güvenliği uzmanı (geçici olarak 01.01.2020'e kadar B sınıfı İSG uzmanları), işyeri hekimi ve diğer sağlık personeli (çalışan sayısı on ve üzeri ise) tarafından İSG hizmetleri yürütülmektedir.

3. Küçük ölçekli işletmelerde İSG algısı

İşyeri güvenliği algısı, çalışanların temel emniyet bilgisi, işyeri tehlikeleri, bu tehlikelerle ilgili riskler, önlemlerinin uygulanması ve işyerinde pratikte daha güvenli yöntem, teknik, süreç ve güvenlik kültürü kullanımı ile ilgili farkındalığını ifade eder. İşyeri güvenliği algısı; çalışanların tutumları, bilinçlendirme programları, çalışanların katılımı, güvenlik hedefleri, güvenlik politikası, prosedür ve düzenlemeler, güvenlik yönetimi, güvenlik değerlendirmeleri, iletişim, disiplin, eğitim, tehlikenin ortadan kaldırılması gibi çeşitli unsurlara sahiptir. Herhangi bir kurumun çalışanlarının işyeri güvenliği algısı, etkili bir insan kaynakları ve yönetim politikasının kilit göstergesidir. Güvenlik algısı iyi olan çalışanlar yüksek kaliteli ürünler ve hizmetler üretir, daha yüksek verimlilikle çalışırlar, kaza ve yaralanmalar için kullanılacak paradan ve zamandan tasarruf sağlarlar (WSP, 2019).

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi'nin (ÇASGEM) tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği algısını ilgilendiren 8 tespit aşağıda verilmiştir.

- İş sağlığı ve güvenliği uygulamaları (çalışma hayatı, istihdam, çalışma şartları, sosyal güvenlik ve mesleki eğitim) ile ilgili genel durum
- İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili Yasa, Mevzuat ve Yönetmelik vb. genel durum
- İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili beklentiler
- İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili Kamu Kurum ve Kuruluşları, Meslek Kuruluşlar ve Sivil Toplum Örgütlerinin Yürüttüğü Faaliyetler, Eylem Planları, Projeler, vb. ile ilgili sorunlar
- İş sağlığı ve güvenliği açısından İnsan Kaynakları ve Eğitim ile ilgili genel durum
- İş sağlığı ve güvenliği açısından Avrupa Birliği katılım sürecinin etkileri ile ilgili genel durum
- İş sağlığı ve güvenliği açısından meslek dallarında karşılaşılan sorunlar
- İş sağlığı ve güvenliği açısından yeni teknolojilerin yarattığı tehditler

ÇASGEM'in yapmış olduğu araştırmada iş sağlığı ve güvenliği algısının güçlü ve zayıf yönleri tespit edilmiş ve puanlanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği algısının güçlü ve zayıf yönleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Algısı (ÇASGEM, 2017)

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
• İş sağlığı ve güvenliği kanunu • Eğitim sistemine bütünleşme çalışmaları • İlgili kurum ve kuruluşların (Sağlık Bakanlığı'nın) konuyu sahiplenmesi • Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın yaptığı tanıtım faaliyetleri, kamu spotu • Çalışanların katılımı • Avrupa Birliği katılım süreci • Çalışanların eğitimi • Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının saha çalışmaları • İş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri ve insan kaynakları • Kurumsal işyerlerinde iyi uygulama örneklerinin varlığı • Akademik çalışmaların artması • Sivil toplum örgütlerinin faaliyetleri • Destek hizmetleri yönetmeliği	• İş sağlığı ve güvenliği kültürünün toplumda istenen düzeyde olmaması • İş sağlığı ve güvenliği konusundaki eğitim ve bilgi eksikliği • İş sağlığı ve güvenliği konusunda kurum ve kuruluşlar arasında koordinasyon eksikliği • Mevzuatta ertelemelerin olması • İşverenlerin ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliğinin gerekliliğine olan eksik inancı • İş sağlığı ve güvenliği açısından elde yeterli ve doğru verilerin olmaması • İş güvenliği uzmanlarının (iş güvenliği profesyonelleri) iş güvencesinin zayıf olması • Mevzuat gereği oluşturulması gereken kurulların etkin işlememesi • Sektörel ayrımın yapılmaması • Yatırım maliyetleri (iş sağlığı ve güvenliği için) • Mesleki eğitimlerin yetersizliği • İş yerlerindeki iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin oluşturulmaması • İş sağlığı ve güvenliği konusunda sektörel rehberin olmaması • Standartlara uygun iş ekipmanları yerli üreticilerinin yetersizliği

Türkiye'de küçük ölçekli işletmelerdeki İSG algısını, mizahi bir şekilde ifade eden bir karikatür Şekil 1'de verilmiştir. Bu işletmelere İSG hizmetlerinin OSGB'ler üzerinden verilmesi ve işletmelere istedikleri OSGB ile çalışma özgürlüğünün tanınması, hizmeti sunan iş güvenliği uzmanlarının etik ilkeler çerçevesinde çalışmasını engellemektedir. Bu çalışmada küçük ve orta ölçekli işletmelerdeki İSG algısı işveren ve çalışan boyutu ile ele alınmıştır. Büyük ölçekli işletmeler İSG uygulamalarına kurumsal düzeyde ve politika üreterek yaklaşırken küçük ölçekli işletmelerde bu durum çoğu zaman işverenin iki dudağının arasında kalmaktadır. İşverenin olumlu tutum sergilediği durumlarda ise süreç çalışanlarda sekteye uğramaktadır. Küçük ölçekli inşaat işletmelerinde uygulanan İSG çalışmalarının en yakın tanığı

olan OSG firmalarından elde edilen bilgiler de değerlendirilerek işveren ve çalışanın algısı ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Şekil 1. Türkiye'de İSG algısı

4. İşverenin İSG algısı

Ülkemizde 6331 sayılı İSG kanunu ve kanun çerçevesinde çıkartılan yasal düzenlemeler ile işverenlerin İSG konusundaki görevleri ve sorumlulukları kapsamlı bir şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca görevlerini yerine getirmemeleri durumunda karşılaşacakları yasal yaptırımlar da bu düzenlemelerde açıkça ortaya konmuştur. Yasal mevzuatta işverenlere çok büyük sorumluluklar yüklenmiş olup, yerine getirilmemeleri ya da eksik getirilmelerinden dolayı meydana gelecek iş kazalarında birincil derecede sorumlu tutulmaktadırlar. Durum böyle iken; işverenlerin İSG ile ilgili algısı araştırıldığında aşağıdaki 10 tespit ortaya çıkmıştır.

1) Yasal sorumluluklarının farkında değiller.
2) Hizmet alımı yaptıklarında sorumluluklardan kurtulacaklarını düşünmekteler.
3) İş güvenliği uzmanını her şeyin sorumlusu gibi görmekteler.
4) Parası ney ise yaptırayım görüşündeler.
5) Üretim maliyetini arttırdığını düşünmekteler.
6) Verimliliği azaltacağını düşünmekteler.
7) Gereksiz olduğunu düşünmekteler.
8) İşyerlerinde iş kazası olmayacağını düşünmekteler.

9) Cezai yaptırımların farkında değiller.

10) Evrak bazında eksiğimiz olmasın, uygulama çok da önemli değil görüşündeler.

OSGB firmalarından hizmet alan işverenlerin neredeyse tamamı İSG ile ilgili kulaktan duyma bilgilere sahip olup, yasal sorumluluklarının farkında değildirler. Yine işverenlerin çoğu İSG mevzuatının işyerleri üzerindeki yaptırımlarının fazlalığını gereksiz olarak görmekte olup, bunların acele ile hazırlanmış düzenlemeler olduğunu düşünmektedirler. Buna gerekçe olarak da çok sık değişen ya da güncellenen mevzuatı göstermektedirler. Küçük ölçekli işletmelerde maalesef işverenler İSG'yi bir ihtiyaç, bir gereklilik olarak görmek yerine bir dayatma, zorla yaptırma olarak görmektedirler. Hal böyle olunca da, işverenlerde parası neyse yaptırır, sorumluluklarımdan kurtulurum görüşü oluşmaktadır. Uygulamada karşılaşılan en önemli bir diğer algı ise evrak olarak eksiğimiz olmasın gerisi hallolur algısıdır. Unutulmamalıdır ki bir işletmede İSG başarısı, süreci destekleyen ve uygulamada öncülük eden işverenler ile artmaktadır. Uygulaması olmayan kâğıt üzerinde kalan bir İSG çalışması, işletmeyi belli bir süre yasal cezalandırma riskinden uzak tutabilir ama iş kazası ve bununla birlikte ortaya çıkabilecek maddi ve manevi kayıpların önüne geçemez.

Ülkemizde uygulanan İSG mevzuatı kapsamlı ve birçok sektördeki uygulamalara ilişkin düzenlemeler içerse de iş güvenliği uzmanlarını işverenin emrinde çalıştırtmak gibi çok önemli bir eksikliği bulunmaktadır. Zira bu durum işverenler tarafından yanlış algılanmakta olup, iş güvenliği uzmanları üzerinde olumsuz baskı ile sonuçlanmaktadır. Benzer şekilde işverenlerin OSGB ile hizmet sözleşmesi imzalama süreci de işveren algısını olumsuz etkilemektedir. Parasını ben veriyorum, seni seçtim ve benim dediğim olacak şeklindeki bir algı birçok yanlış adımın atılmasına ortam hazırlamaktadır.

5. Çalışanın İSG algısı

Çok tehlikeli sınıfta yer alan küçük ölçekte ki inşaat işletmelerinin çalışan profili (eğitim düzeyi gibi) farklı sektördeki çalışanlara göre biraz daha düşük seviyededir. Algı kavramı çalışan ölçeğinde incelediğinde kişiden kişiye değişen bir durum olduğu ortaya çıkmaktadır. Çalışanlarda İSG algısına bakıldığında iki ana gurubun varlığı ortaya çıkmaktadır: (1) İSG algısı, (2) risk algısı.

(1) İSG algısı: Bir işletmede İSG'nin eksiksiz uygulanması, sadece devlet tarafından çıkartılan mevzuat ile ya da işverenin istemesiyle gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Bu süreç; devlet, işveren ve çalışanın ortak başarısı olarak tanımlanmaktadır. Çalışan İSG talimatlarını eksiksiz yerine getirerek işletmede İSG'nin artırılmasına katkı sağlamak zorundadır. Ancak uygulamada, çalışanların İSG'ye bakışını etkileyen aşağıdaki faktörler ortaya çıkmaktadır.

- Bunları zaten biliyoruz.
- İSG gereksiz.
- Daha önce böyle bir şey yapmıyorduk, nereden çıktı şimdi.

• Eğitimler gereksiz.

• Yaş seviyesinin yüksek olması.

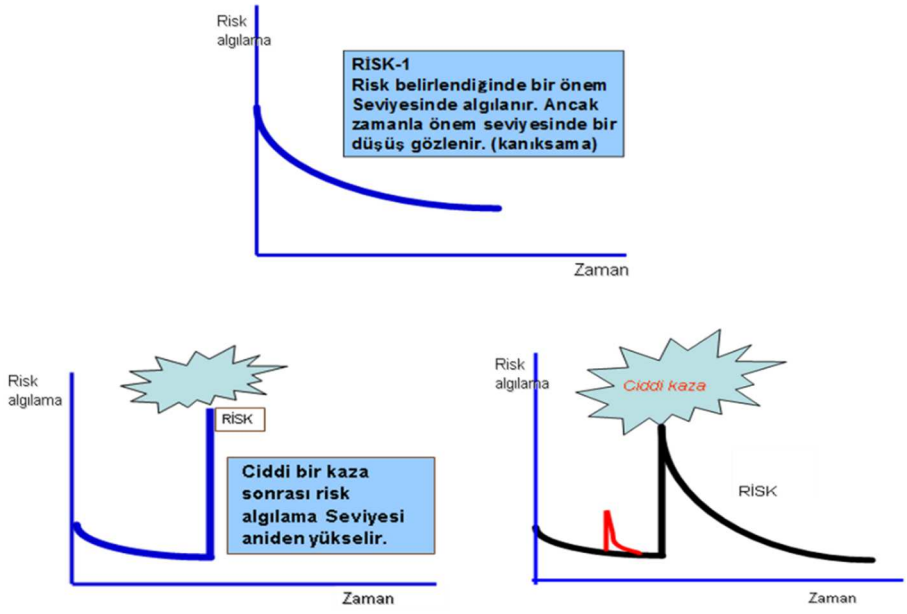
• Eğitim seviyesinin düşük olması.

• Alışkanlıklardan vazgeçememe.

• İşverenin tutumu.

İSG uygulamalarında işverenin olumlu tutum ve davranışlarına karşın çalışanlar tarafından sürecin yeteri kadar sahiplenilmediği durumlarla da karşılaşılmaktadır. Unutulmamalıdır ki çalışanların sahiplenmediği bir İSG sürecinin işletme içerisinde başarıya kavuşması mümkün değildir. İSG ile ilgili medya ortamında yayımlanan yayınlar ve yapılan programların ekran başındaki çalışanların İSG algıları üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Bu ve buna benzer çalışmalar ile çalışanların İSG algı düzeyi sürekli yüksek tutulmalıdır.

(2) Çalışanların risk algısı: Risk algısı zamanla değişen bir kavram olarak tanımlanır. İşyerinde riskler ilk belirlendiğinde belirli bir önem seviyesinde algılanır. Fakat gerek yapılan işin temposundan gerek ise çalışanın yeterli İSG bilincine sahip olmamasından dolayı zamanla çalışanların risk algısı düzeyinde bir düşüş gözlemlenir (Şekil 2). Kanıksama olarak tanımlanan bu durumda çalışanlar, ortamda hiç İSG riski yokmuşçasına gibi davranmakta olup, olağan çalışma yaşamını sürdürmektedirler (Şekil 3). İnşaat faaliyetleri devam ederken birçok tehlike faktörü ve bu tehlikelerden kaynaklanan çok fazla risk faktörü ortaya çıkmaktadır. Yapılan risk değerlendirmeleri, eğitimler, seminerle ve toplantılar ile çalışanların bu risklere karşı algıları yüksek tutulmaya çalışılmaktadır.



Şekil 2. Risk algısı – zaman ilişkisi

Şekil 3. Çalışanların risk algısı

Çalışanların gerek İSG'ye gerek ise risklere karşı gösterdiği algı seviyesi, bu risklere karşı verilecek tepkin (alınacak önlemlerin) düzeyini belirlemektedir. Hiç ya da yeterince algılanmayan bir riske karşı alınacak güvenlik önlemleri de sınırlı ve yetersiz olmaktadır. Algılanmayan riskler iş kazalarına davetiye çıkartmakta, maddi ve manevi kayıpları arttırmaktadır.

6. Sonuçlar

Ülkemizde İs sağlığı ve güvenliği mevzuatı 6331 sayılı kanun çatısı altında toplanmış olup, kanunda belirtilen istisnalar haricinde tüm çalışma yaşamını kapsamaktadır. Yasal mevzuatların varlığı kadar işveren ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliğine karşı tutumları da İSG çalışmalarının başarısında rol oynamaktadır. İşveren ve çalışanların bu tutumunu etkileyen faktörlerin başında İSG'yi nasıl algıladıkları gelmektedir. Bu çalışmada işverenlerin ve çalışanların İSG algısı kişisel deneyimlemeler göz önünde bulundurularak açıklanmaya çalışılmış, algıyı etkileyen faktörler belirtilmiştir.

İSG'ye karşı olumsuz algıyı ortadan kaldırmaya yönelik yapılacak çalışmaların başında eğitim ve bilinçlendirme çalışmaları gelmektedir. Fakat belirli bir yaşın üzerine çıkmış çalışanlarda, verilen eğitimlerin ve bilgilendirme çalışmalarının davranış değişikliğine yol açmadığı görülmüştür. Ağaç yaşken eğilir atasözünden de yola çıkarak İSG ile ilgili genel eğitimsel çalışmaların temel eğitim öğretim düzeyinde verilmesi (ortaokul-lise) gerektiği düşünülmektedir. Burada verilen eğitimlerle belli bir bilincin aşılanması, daha sonra da çalışma hayatında verilen destekleyici eğitimlerle bunun arttırılması sağlanarak, etkili bir güvenlik kültürü oluşturulmaya çalışılmalıdır.

Yürürlükteki yasal düzenlemeler; tüm işverenlere sağlıklı ve güvenlikli bir çalışma ortamının sağlanması yükümlülüğünü verdiği gibi çalışanlara da sağlıklı ve güvenlikli bir çalışma ortamını talep etme hakkını vermiştir. Gerek işverenlerde gerek ise çalışanlarda İSG algısının artması bu yasal düzenlemelere uyumu kolaylaştıracaktır.

References

1. ÇASGEM, 2017. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi'nin (ÇASGEM) Kurumsal kapasitesinin güçlendirilmesi için teknik destek projesi, Türkiye'de iş sağliği ve güvenliği algisi araştirma raporu.
2. Hale, A, Baram, M. 1998. Safety Management, Pergamon Books, Netherlands.
3. Holmes, N. 1999. 'An exploratory study of meanings of risk control for long term and acute effect occupational health and safety risk in small business construction firms', Journal of Safety Reserach, 30 (4), 61-71.
4. İSGK, 2012. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu.
5. Legg, S., Olsen, K., Laird, I., & Hasle, P. 2015. Managing safety in small and medium enterprises (Editorial). Safety Science, Special Issue,71, 189-1967
6. Lingard, H & Rowlinson, S. 1994. 'Construction site safety in Hong Kong', Construction Management and Economics, 12, 501-10.
7. Mayhew, C., Quinlan, M & Ferris, R. 1997. 'The effects of sub-contracting/outsourcing on occupational health and safety : Survey evidence from four Australian industries', Safety Science, 163-78.
8. Sanni-Anibire, M. O., Mahmoud, A. S., Hassanain, M. A., & Almutairi, 2018. F. Health and safety perception of construction workers in Saudi Arabia. Architecture Civil Engineering Environment, volume 11(3).
9. Targoutzidis, A., Koukoulaki, T., Schmitz-Felten, E., Kuhl, K., Hengel, K.M.O., Rijken, E., Van den Broek, K., Klüser, R., 2014. The business case for safety and health at work: cost-benefit analyses of interventions in small and medium-sized enterprises. European Agency for Safety and Health at Work, Luxembourg.
10. Ulubeyli S., Kazaz A., and Er B., 2014. Health and safety perception of workers in Turkey: a survey of construction sites; International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 20(2), 323–338.
11. Wilson, J. 2000. 'Safety Management: Problems encountered and recommended solutions', Journal of Construction Engineering and Management, 126 (1), 77-9.
12. WSP, 2019. https://www.safeopedia.com/definition/722/workplace-safety-perception
13. Yılmaz, F. 2009. Ülkemizde kobi'lerde iş sağlığı ve güvenliği avrupa birliği ülkeleriyle karşılaştırmalı bir inceleme.

İnşaat Projelerinde Altyüklenici Seçimi

A. Erkan KARAMAN[1], Koray SANDAL[2]

[1]Department of Civil Engineering, Balikesir University, Turkey
[2]Department of Civil Engineering, Master Student, Balikesir University, Turkey

Email: ekaraman@balikesir.edu.tr; koraysandal@gmail.com

Özet

İnşaat sektörü ülke ekonomisinde lokomotif görevi üstlenmektedir. İnşaat sektörü; gelişen teknolojiler, bunlara bağlı olarak farklı uzmanlık alanları, talep değişkenliği ve üretim hızının arttılrılması gibi sektörel gereklilikleri içermekte ve gelişim göstermektedir. Bu süreçte sektörde yer alan firmalar hızlı ve etkin çözüm üretilme adına alt yüklenici kullanmaktadır. Bu nedenle projlerdeki başarı ana yükleniciden çok alt yüklenicilerin performanslarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu çalışmada; projelerinde altyüklenici çalıştıran inşaat firmaları incelenmiş olup, altyüklenici seçiminde ortaya çıkan değerlendirme kriterleri araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: İnşaat projelerinde altyüklenicilik, altyüklenicilik seçimi, altyüklenicilik kavramı

Abstract

The construction sector is the locomotive of the country's economy. The construction sector includes sectoral requirements such as developing technologies, depending on these, different areas of expertise, demand variability and increase of production speed. In this process, firms in the sector use subcontractors to produce fast and effective solutions. Therefore, the success of the projects varies depending on the performance of subcontractors. In this study; In this study, the construction firms working in the subcontractors were examined and the evaluation criteria that emerged in the selection of subcontractors were investigated.

Keywords: Subcontracting in construction projects, selection of subcontracting, concept of subcontracting

1. Giriş

Altyüklenicilik, inşaat sektöründe popüler bir kavramdır (El-Mashaleh 2009). Ana yükleniciler, maliyet, zaman ve kalitenin daha iyi yönetilmesi, uzmanlarla çalışma olanağının olması, vb. gibi nedenlerden dolayı alt yükleniciler ile çalışma eğilimindedirler (Ng, Tang 2008). Genel olarak, altyükleniciler; inşaat projelerinin yürütülmesindeki becerileri ve yetkinliklerine dayanarak ana yükleniciler ile işbirliği yapan bir taraf olarak tanımlanabilir.

Bir inşaat projesi, belirli bir proje faaliyetini yürütmek üzere, konusunda uzman, daha önce bitirdiği projeleri olmuş, ana yükleniciye verilir. Müşterilerle sözleşme yapılması, proje finansmanı, malzeme ve ekipman temini gibi yönetimsel süreçten ve proje ilerlemesinin izlenmesinden ana yüklenici sorumludur (Benjaoran, 2009). Yüklenici seçim sürecinin temel amacı, proje riskini azaltmak, kaliteyi en üst seviyeye çıkarmak ve proje tarafları arasında güçlü ilişkileri sürdürmektir. Aynı konsept altyüklenici seçim sürecinde de uygulanmaktadır. Albino ve Garavelli'ye (1998) göre, ana yüklenicinin başarımı, altyüklenicilerin başarısına bağlıdır. Bu durum Mbachu (2008) tarafından yapılan çalışma ile de ortaya konmuştur. Bazı mal sahipleri, müteahhit seçim sürecinde maliyeti en önemli kriterler olarak görür. Fakat yapılan araştırmalar çok kriterli bir seçim sürecinin, yüklenici seçiminde daha fazla dikkate alınması gerektiğini önermektedir. Birçok ana müteahhit ve mal sahibi yalnızca en düşük teklifi verenlerle ilgilenirken, dikkate alınması gereken başka kriterlerin varlığını göz ardı etmektedirler. Benzer durum altyüklenici seçim süreci için de geçerlidir (Marzouk, 2013).

Dainty ve ark. (2001), inşaat sektöründeki brüt işlerin% 57'sinin (küçük ölçekli onarım ve bakım dahil), sarf malzemeler ve altyüklenicilik hizmetlerini içerdiğini belirtmişlerdir. Proje ne kadar büyük ve karmaşık olursa, o kadar fazla altyükleniciye ihtiyaç duyulmaktadır (Eccles 1981). Bu nedenle, daha büyük inşaat projeleri söz konusu olduğunda, yapılan alt sözleşme oranı daha da yükselmektedir. Miller ve diğ. (2002), tedarikçilerinden ve taşeronlardan malzeme ve hizmet satın alımının, toplam maliyetlerin yaklaşık % 75-80'ini oluşturduğunu belirtmektedir. Kumaraswamy ve Matthews (2000), taşeronların toplam inşaat proje değerinin% 90'ına katkıda bulunabileceğini iddia etmektedir. Altyüklenicilik, taraflar arasında güven, teknik ve finansal risklerin paylaşıldığı belirsizlik ve karmaşıklığa bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır (Brook, 1993). Altyüklenici seçim yöntemi; ihtiyaca, ortama ve sözleşmeye bağlı koşullara göre değişmektedir. Sözleşme ne kadar önemliyse, seçme ve satın alma süreçlerine o kadar fazla dikkat edilmektedir (Shiau et al, 2009).

Türk inşaat sektörü; altyüklenicilik uygulamasını en kapsamlı biçimde kullanan sanayi dallarından birisidir. Altyüklenicilik hizmeti inşaat tabanlı organizasyonların temel ve değişmez bir özelliği olarak kabul edilmektedir (Ulubeyli, 2008). Alt yüklenicilik inşaat projelerinde en alt seviyede iş gücü istihdam edilmesine ve uzmanlığın özendirilmesine imkân sağlar (Arslan ve diğ., 2008).

2. Literatür araştırması

Albino ve Garavelli (1998), inşaat sektöründe faaliyet gösteren firmaların alt yüklenici seçiminin karmaşıklığını ve bu sürecin veriler üzerinden değil de firma yöneticilerinin sezgi ve tecrübelerine dayanılarak yapıldığını açıklamıştır. Hatush ve Skitmore (1998), fayda teorisine dayalı olarak sistematik çok kriterli karar analiz tekniği tanımlamış, inşaat projesinde teklif ve seçim için farklı altyüklenicilerin kapasitelerine göre değerlendirme yapmıştır. Okoroh ve Torrance (1999), tadilat projelerinde altyüklenici seçimi için bulanık mantık teorisini kullanmıştır. Bingöl ve Polat (2017), ana yüklenicilerin altyüklenicileri genel olarak düşük teklif fiyatlarına göre seçmeleri kalitesiz altyüklenicilerle çalışılmasına neden olduğunu

belirtmiş, altyüklenici seçim sürecinde performans değerlendirmesinin önemini belirterek, kilit performans göstergelerini (KPI) model alan bir performans ölçüm sistemi geliştirmiştir.

3. İnşaat projelerinde altyüklenicilik

Şantiyelerde çalışan pekçok ana yüklenici bulunmaktadır ve bunlar projelerinde altyüklenici çalıştırırlar. .Ana yüklenici işlerin bir kısmını kendi başlarına yapabilir; Ancak, çoğu projeyi başarılı bir şekilde tamamlayabilmesi için uzman altyükleniciler ile çalışması gerekir. Altyüklenicilerin faaliyet alanları. OSHA'nın (Occupational Safety and Health Administration) 17 nolu ana gurubunda aşağıdaki başlıklarla tanımlanmıştır (OSHA, 2019).

- Tesisat, Isıtma ve İklimlendirme
- Boya ve duvar kağıdı kaplama
- Elektrik İşleri
- Duvarcılık, taş işçiliği, fayans döşeme ve sıva
- Marangozluk ve zemin çalışması
- Çatı, cephe ve sac işi
- Beton İşi
- Çeşitli Özel Ticaret Müteahhitleri

Sıhhi tesisat, ısıtma ve iklimlendirme önemli bir altyüklenicilik türüdür. Bu alandaki altyükleniciler mekanik yükleniciler olarak da bilinir. Faaliyet alanı olarak; sıhhi tesisat veya ısıtma ve klima veya soğutma konularında daha da uzmanlaşmayı seçen bu yükleniciler HVAC müteahhitleri olarak bilinir. Sıhhi tesisat, ısıtma ve iklimlendirme inşaatta önemli bir altyüklenicilik türüdür. İnşaatta kullanılan boya ve duvar kağıdı kaplama işleri de ayrı bir altyüklenicilik gurubudur. . Kendi içerisinde bir uzmanlık gerektirir ve inşaat faliyetlerinin olmaz ise olmazıdır. Elektrik işleri altyüklenicileri inşaatta geniş bir çalışma alanına sahiptir. Bir elektrik altyüklenicisinin üzerinde çalışabileceği çok fazla şey vardır. Elektrik işleri altyüklenicileri; yapıların elektrik, yangın alarmı tesisatları, telekomünikasyon ekipmanı ve montajı işlerinde çalışma olanağına sahiptirler. OSHA, duvar, taş döşeme, sıva, alçıpan, yalıtım ve daha fazlasına ait iş gruplarını tek bir altyüklenicilik altında sınıflandırmaktadır. Yapının her kademesi için önemli olan bu altyükleniciler, projeyi temelden son rutujlara kadar inşa edebilmektedirler. Marangozluk ve zemin işleri inşaatta çok önemli altyüklenicilik türüdür. Bu yükleniciler dolap yapımı ve kurumu, kapı, pencere yapımında çalştıkları gibi çoğu zaman projedeki tüm kaplamalardan sorumlu olabilmektedirler. Yukarıda belirtilen diğer altyüklenicilik türleri de kendi içinde birer uzmanlığı gerektirir.

4. Altyüklenici seçimi

Doğru alt yüklenici seçimi, ana yüklenicilerin inşaat projelerindeki başarısını arttırmaktadır (Yin ve diğerleri. 2009). Altyüklenici seçiminin önemine ilişkin, literatürde farklı modeller ortaya konmuştur. Mbachu'nun (2008) çalışmasında, altyüklenicilerin ihale sürecine davet edilme yeteneklerinin değerlendirilmesindeki etkili kriterleri incelemiştir. Altyükleniciler karar vericilerin belirlenen kriterlere göre görüşleri doğrultusunda sıralanmıştır. Her bir karar

vericinin ağırlığını, kriter ağırlıklarını ve altyüklenici puanlarını içeren üç parametre en iyi adayın seçiminde dikkate alınmıştır. Wang ve diğ. (2001) altyüklenicilerin seçiminde bulanık bir hibrid model geliştirmek için bulanık mantık ve genetik algoritmayı birlikte uygulamıştır. Çalışmalarında projeleri bulanık mantık kullanarak alt projelere böldüler ve her alt projeye en iyi altyükleniciye verdiler. Ng ve Luu (2008) başarılı ve başarısız altyüklenicilerin geçmiş kayıtlarını topladı ve vaka temelli akıl yürütmeye dayanan bir model sundu. Hartmann ve Caerteling (2010), ana yüklenicilerin daha fazla önem verdiği bazı kriterleri araştırdı. Elde ettiği sonuçlar, fiyatların ana yüklenicilerr için en önemli kriter olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada inşaat projelerinde ana yüklenici firmaların alt yüklenici seçerken kullanabilecekleri temel faktörler, yapılan literatür çalışması yardımıyla gerek inşaat sektöründeki ve gerekse farklı düzenlerdeki benzer çalışmalar değerlendirilerek belirlenmiştir. Diğer taraftan alt yükleniciler bir tür yüklenici oldukları için ilgili faktörlerin belirlenmesinde ana yüklenici seçimi için oluşturulmuş kriterlerden de faydalanılmıştır. Bu çerçevede altyüklenicilerin başarımında rol oynayan 5 seçim kriteri bu çalışma kapsamında incelenmiştir; (1) İş ve işgücünün sağlamlığı, (2) İşin planlanması ve kontrolü, (3) Kalite, (4) Geçmişteki iş başarısı, (5) İş güvenliği (Örn; Doloi ve diğerleri, 2010).

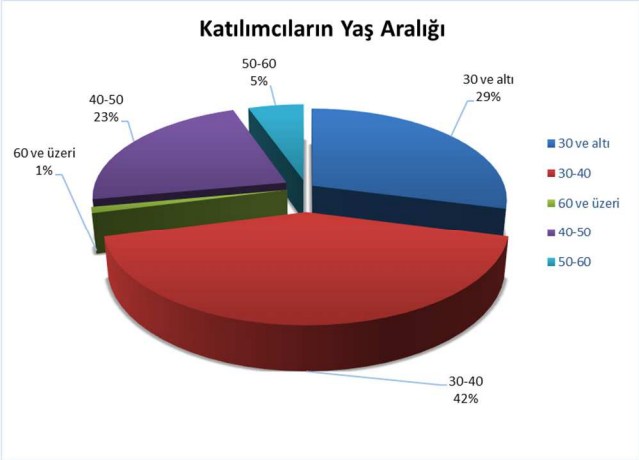
5. Araştırma yöntemi

İnşaat projelerinde, alt yüklenicilerin proje başarısına etkisini belirlemek amacıyla bir anket çalışması yapılmış ve veriler toplanmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan anket formu, bilimsel araştırma yöntemlerinin belirlemiş olduğu ilkeler ışığında hazırlanmıştır (Kinnear ve Taylor, 1991). Anket sorularının değerlendirilmesi “hiç katılmıyorum ile tamamen katılıyorum” arasında değişen beşli Likert ölçeği ile yapılmıştır.

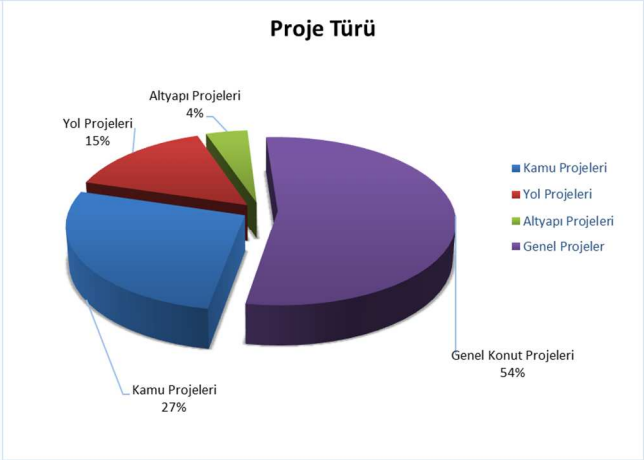
Alt Yüklenicilerin Proje Başarısına Etkisinin Ölçülmesini incelemeyi amaçlayan bu çalışmanın örneklemi, altyüklenici çalıştıran inşaat projeleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Altyüklenici çalıştırılan projeleri gösteren herhangi bir veri tabanı olmadığından, araştırma örnekleminin belirlenmesinde yargısal örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Araştırmada yer alan altyüklenicilerin başarımına yönelik kavramlar, teknik personeli ve firma yöneticilerini kapsamaktadır. Bu nedenle proje yöneticileri, proje müdürleri, teknik ofis müdürleri, şantiye şefleri ve mühendisleri araştırmanın hedef yanıtlayıcıları olarak tespit edilmiştir. Örneklem ve hedef yanıtlayıcılar belirlendikten sonra, belirtilen kriterlere uyan 150 inşaat firması ile gerek ziyaret edilerek gerekse telefon ve e-posta yoluyla temasa geçilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen ankete 98 katılımcı katılmıştır. Eksik bilgiler nedeniyle 5 adet anket formu, yapılan analizlerde değerlendirme dışı tutulmuştur. Alt Yüklenicilerin Proje Başarısına Etkisinin Ölçülmesinin hedefleyen anket çalışması 93 katılımcıdan alınan bilgiler ışığında değerlendirilmiştir.

6. Araştırma bulguları

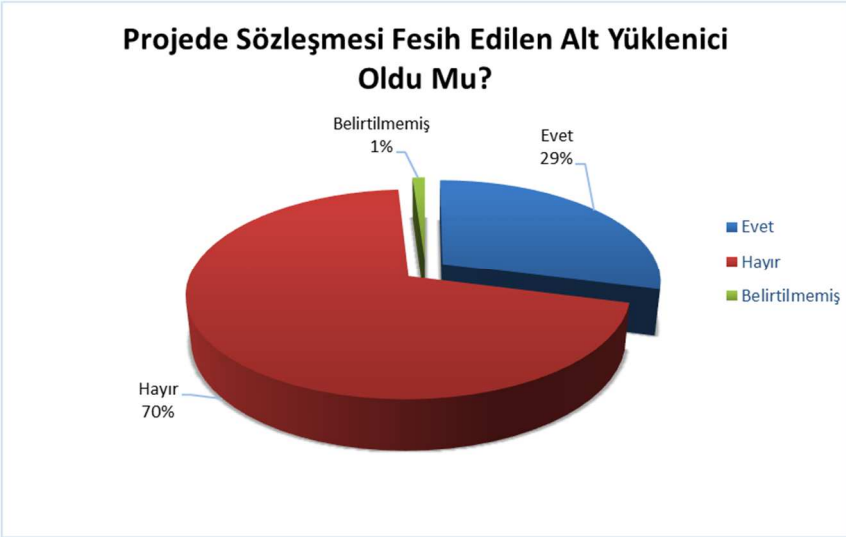
Araştırmaya katılan katılımcıların yaş aralığı verilmiştir. Şekil 1'de verilmiştir. Katılımcıların %42 si "30-40" , %29 u "30 ve altı", %23 ü "40-50", %5 i "50-60" ve % 1 i "60 ve üzeri" yaş aralığındadır. Ankete katılan firmaların yapmakta oldukları proje türleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Ankete katılan firmaların proje türleri %54 "Genel Konut Projeleri", %27 "Kamu Projeleri", %15 "Yol Projeleri", %4 "Altyapı Projeleri" olarak dağılım göstermiştir. Ankete katılan firmaların yapmakta oldukları projede sözleşmesi fesih edilen alt yüklenici firmalar ile ilgili bilgiler Şekil 3'de gösterilmiştir. Katılımcıların %70 "Hayır", %29 "Evet", %1 "Belirtilmemiş" şeklinde yanıt vermişlerdir.



Şekil 1. Katılımcıların yaş aralığı



Şekil 2. Proje türleri



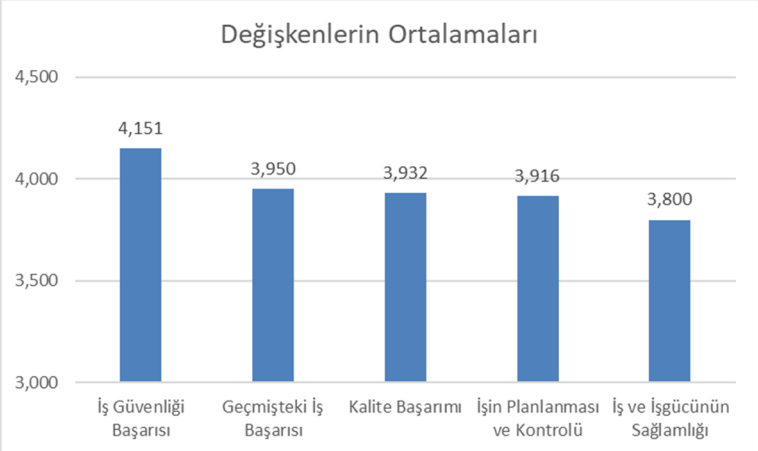
Şekil 3. Altyüklenici sözleşmesi fesih durumu

Araştırma kapsamında proje başarısına etki eden 5 altyüklenici seçim kriterinin değerlendirilmesinde kullanılacak verilerin güvenilirlik analizleri SPSS programı yardımıyla yapılmıştır. Güvenilirlik analizi, ölçüm konuları içerisinde yer alan soruların kendi içerisindeki tutarlılığını belirlemek için yapılmaktadır. Güvenilirlik analizi sonucu elde edilen Cronbach alfa (α) değerleri ve değişkenlere ilişkin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada kullanılan değişkenlerin ortalamaları (μ), standart sapmaları (σ) ve Cronbach alfa (α) değerleri.

DEĞİŞKENLER	Soru Sayısı	Ortalama (μ)	Standart Sapma(σ)	Cronbach alfa (α)
İş ve İşgücünün Sağlamlığı	7	3.800	0. 73945	0.880
İşin Planlanması ve Kontrolü	6	3.916	0. 70167	0.825
Kalite Başarımı	6	3.932	0. 72844	0.826
Geçmişteki İş Başarısı	6	3.950	0.64024	0.769
İş Güvenliği Başarısı	4	4.151	0. 82305	0.858

Cronbach alfa (α) değeri örnekte yer alan soruların varyansları toplamının genel varyansa oranlanması ile bulunan bir ağırlık standart değişim ortalamasıdır. Cronbach alfa (α) değerinin 0.70 ve üzeri olması o grupta yer alan soruların güvenilir olarak kabul edileceği anlamına gelmektedir (Nunally, 1978) Bütün değişkenlerin Cronbach alfa değeri 0.70 den büyük olduğu için yapılan ölçüm istatistiksel açıdan güvenlidir. Ölçüm değişkenlerinin ortalamaya göre sıralaması Şekil 4'de sunulmuştur.



	SIRALAMA
İş Güvenliği Başarısı	1
Geçmişteki İş Başarısı	2
Kalite Başarımı	3
İşin Planlanması ve Kontrolü	4
İş ve İşgücünün Sağlamlığı	5

Şekil 4. Değişken sıralaması

Şekil 4 göstermiştir ki anayükleniciler seçecekleri altyükleniciler iş güvenliği başarımını önemsemektedirler. Anayüklenicilerin ikinci sırada önemsedikleri değerlendirme kriteri ise altyüklenicilerin geçmişteki iş başarısı gelmektedir.

7. Sonuçlar

Yüklenici seçim sürecinin temel amacı; proje riskini azaltmak, kaliteyi en üst düzeye çıkarmak ve proje tarafları arasındaki güçlü ilişkileri sürdürerek projenin zamanında bitmesini sağlamaktır. Aynı durum alt yüklenici seçim sürecinde de geçerlidir. Proje taahhüdünde bulunan firmalar için bu süreç oldukça önemlidir. Bu çalışmada; inşaat projelerinde kullanılan alt yüklenicilerin başarım faktörleri analiz edilmiş, alt yüklenici başarımının genel proje başarımı üzerindeki etkisi ölçülmüştür. Veri toplama süreci anket yöntemiyle gerçekleştirilmiş olup, 93 katılımcıdan toplanan verilere ilişkin güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde altyüklenici seçim kriterlerinin başında "iş güvenliği başarısı" gelmektedir. Bu kriter yüz yüze gerçekleştirilen veri toplama sürecinde, katılımcıların önemle durduğu bir husus olarak gözlemlenmiştir. İş güvenliği hususunda yaptırımların fazlalığı ve denetim sıklığı, anayüklenicilerin seçimlerinde bu kriteri en önemli hale getirmiştir. Geçmişteki iş başarısı ikinci derecede önemli bir kriter olarak ölçülmüştür. Bu kriterin önemli olmasının altında ana yüklenicilerin bildik ve tanıdık alt yükleniciler ile çalışmayı tercih etmeleri yatmaktadır. Daha önce iş yaptıkları ve memnun kaldıkları altyükleniciler ile ilerleyen projelerde de devam ediyorlar. Ana yükleniciler alt yüklenicilerin kalite başarımını önemsemektedirler. Çünkü alt yüklenicilerin yaptıkları işler ana yükleniciyi temsil etmektedirler. İşin planlanması ve kontrolü ile iş ve işgücünün sağlamlığı değişkenleri de diğer önemli değerlendirme kriterleri olup, ana yükleniciler tarafından kullanılmaktadır.

Bu çalışma devam etmekte olan yüksek lisans çalışmasının bir parçası olup, tamamlandığında altyüklenici seçim kriterlerinin proje başarısı üzerindeki ağırlıkları ortaya konmuş olacaktır.

References

1. Albino V and Garavelli A.C., 1998. "A neural network application to subcontractor rating in construction firms," International Journal of Project Management, vol. 16, pp. 9–14.
2. Arslan, G., Demirci, G. Kıvrak, S., Ayar, B., 2008. Contractor Selection in the Housing Sector Using the Simple Multi-Attribute Rating Technique.
3. Benjaoran, V. 2009. "A cost control system development: A collaborative approach for small and medium-sized contractors," International Journal of Project Management, vol. 27, pp. 270–277.
4. Bingöl, B.N., Polat G. 2016. Risk Analysis in the Subcontractor Selection Process for International Construction Projects, International Conference on Construction and Real Estate Management.
5. Brook,M. 1993. Estimating and Tendering for construction work.(Oxford:Butterworth Heinemann).
6. Dainty, A; Briscoe. G, and Millet.O, 2001. Subcontractor perspective on supply chain alliances. Construction management and Economics,19(2),841-848..
7. Doloi, H., Iyer, K.C. and Sawhney, A. 2010. "Structural equation model for assessing impacts ofcontractor's performance on project success",International Journal of ProjectManagement, Vol. 29, pp. 687-695.

8. Eccles,R. 1981. .Bureaucratic versus craft administration:the relationships of market structure to the construction firm.Administrative science quarterly,26(3),449-469.
9. El-Mashaleh, M. S., 2009. A Construction Subcontractor Selection Model, Asistan Professor, Department of Civil engineering, The Hashemite University, Jordan Journal Of Civil Engineering, Vol. 3. No.4, Sf. 375-378.
10. Hartmann, A.; Caerteling, J. 2010. Subcontractor procurement in construction: the interplay of price and trust, Supply Chain Management: An International Journal of Project Management 15: 354–362.
11. Hatush, Z. and Skitmore, M., 1998. Contractor selection using multicriteria utility theory: An additive model, Building and Environment, 33(2-3), 105115.
12. Kinnear, T.C. ve Taylor, J.R., 1991. Marketing research: an applied approach, fourth edition, McGraw-Hill, Singapore.
13. Kumaraswamy, M. and Matthews, J. 2000. Improved Subcontractor Selection Employing. Journal of Construction Research Partnering Principles, 16(3): 47-57.
14. Marzouk M. M. and El-Kherbawy A. A. and Khalifa M., 2013. "Factors influencing sub-contractors selection in construction projects", HBRC Journal, vol. 9, no.2, pp. 150–158.
15. Mbachu, J. 2008. Conceptual framework for the assessment of subcontractors' eligibility and performance in the construction industry, Construction Management and Economics 26: 471–484
16. Miller,C.;Packham,G. andThomas,B. 2002. Harmonisation between Main Contractors and Subcontractors:Prerequisite for Lean Construction, Journal of Management in Engineering, 16(3):47-57.
17. Ng, S. T. Luu, C. D. T. ve Chu, A. W. K., 2007. Delineating criteria for subcontractors registration considering divergence in skill base and scale. International Journal of Project Management 26, Sf. 450.
18. Ng, S. T.; Luu, C. D. T. 2008. Modeling subcontractor registration decisions through case-based reasoning approach, Automation in Construction 17(7): 873–881.
19. Nunally J.C., 1978. Psychometric theory (2nd edition), McGraw-Hill, New York.
20. Okoroh, M. I. ve Torrance, V. B., 2010. A model for subcontractor selection in refurbishment projects, Construction Management and Economics, 17:3 Sf. 325
21. OSHA, 2019. https://www.osha.gov/pls/imis/sic_manual.display?id=12&tab=group
22. Shiau,Y.,Tsai,T.,Wang,W.and Huang,M. 2009. Use questionnaire and AHP techniques to develop subcontractor selection system.Construction Management and Economics,33(2),1-6.
23. Ulubeyli, S., 2008, Uluslararası İnşaat Projelerinde Alt Yüklenici Seçimi İçin Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Modeli.
24. Wang, D.; Yung, K. L.; Ip, W. H. 2001. A heuristic genetic algorithm for subcontractor selection in a global manufacturing environment, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part C. Applications and Reviews 31(2): 189–198. http://dx.doi.org/10.1109/5326.941842
25. Yin, H.; Wang, Z.; Yu, J.; Ji, Z.; Ni, H. 2009. Application of DEA cross evaluation model in project dynamic alliance subcontractors selection, in International Workshop on "Intelligent Systems and Applications", 23–24 May 2009, Wuhan, 1–4. http://dx.doi.org/10.1109/IWISA.2009.5072743

Client Satisfaction As Perceived by Architects and Civil Engineers (Oral)

Hilmi Coskun[1], Sezer Sancar[2]

[1,2] Iskenderun Technical University, Civil Engineering Department,
Iskenderun, Hatay, TURKEY.
e-mails: hilmi.coskun@iste.edu.tr, sezer.sancar@iste.edu.tr

Abstract

A construction project fulfills both the product design and the service provision functions. There are many stakeholders in these processes. Concurrence among the stakeholders surely affects the success of the project. The most important of the stakeholders is customer/client followed by architects and civil engineers. Both architects and civil engineers are involved in the design phase as well as in the execution phase. Customer/client satisfaction is usually considered one of the success criteria of the project. This criterion, however, is a subjective concept, about which tangible values cannot be easily placed, and is determined by perception at best. Whether this perception vary between civil engineers and architects depending on different criteria, is examined in this study. The results of the questionnaires were evaluated statistically. The agreed upon and the most important issues are working together and sharing information. The behavior of client/customer and qualification of employees are the factors that civil engineers and architects do not have the same views on client satisfaction.

Keywords: Project success, Stakeholders, collaboration, construction, concurrent engineering

1. Introduction

Different groups are involved in different processes of a construction project. The fulfillment in each of these processes by these groups plays a part in the success of the project. A comparison between the two groups, who are the most likely to be involved in management of the project may yield useful information. One of these two groups is the architects while the other group is the civil engineers. It is certainly important that these groups fulfill their professions, but it is also desirable to study their affects on project output since these groups can be in managerial positions. A project manager has many responsibilities starting from the planning of the project to its completion. In general, it can be said that architects are involved in a construction project since the project emerges as a concept. The architects' participation in the project can also be as the customer representative in the design and construction stages [Burr 2010; Berman 2002]. In the course of mobilization and implementation, civil engineers undertake more functions compared to architects, including project management [Haltenhoff 1986]. It has been shown that the contribution of the project manager is great for the successful completion of a project [Prabhakar 2009]. On

the other hand, the project manager's perception of success may also differ in the subsequent processes of construction and delivery [Shenhar 1997].

The success of a construction project depends on many criteria. Success can also be expressed or defined using many different criteria. It is natural that every stakeholder involved in the project wants to measure success differently [Khan & Spang 2013]. One study has reviewed the literature about the project's success [Ika 2009]. According to this study, we are not yet aware of the relationship between customer satisfaction and criteria used by project management. As researchers said that the project management should be subjectively evaluated by all groups involved and at the same time the contribution of all stakeholders should be considered. In another study, concurrent engineering practice in construction projects was evaluated considering stakeholders' involvement. In this context, it was emphasized that the contribution of customer requirements to collaborative team work was important [Kamara 2000]. Accordingly, information sharing among stakeholders could be realized, for example, using the virtual reality environment. In one such study, a virtual reality system which could provide information sharing between the office and the construction site has been investigated [Capra 2010]. In one other study, a model was developed to at least estimate the results of a planning process that would support designers to work together and collaborate [Bletzinger 2006].

Collaboration among different groups, including customers, might be expected to increase the level of project performance and satisfaction [Baiden 2006]. First, however, it was necessary to know the groups or stakeholders affected by customer satisfaction [Brockmann 2002]. It has been argued for that the co-ordination among the groups could be further increased by the clear identification of stakeholders [Aapaoja 2014]. In another study, project performance was assessed based on a comparison of competitive and collaborative working environments [Ruan 2012]. In many studies, customer satisfaction has been taken into consideration [Kärnä et al 2004; Maloney 2002; Capra 2010; Kärnä 2004; Soetanto et al 2001], meanwhile in some other studies the contractor satisfaction with customer performance has been investigated [Soetanto & Proverbs 2002].

As a measure of success, completion of work within the budget or within the scheduled time period can be considered. Another measure is that the manufactured product meets the needs of the user in the long run. In one study, the contribution of the groups in the project to the realization of the long-term business goals was examined [Rowland 2006]. It has been explained that groups and especially project managers should be aware that this contribution was not limited to only time, budget and quality, but also that they had to make as much as possible to realize all business objectives. While the use of the duration or budget limit provides a tangible measure, the satisfaction of the user or the business owner is more abstract concept [Soetanto & Proverbs 2002]. Sometimes a project is over-budget and it is completed too late but it may still be considered successful by certain groups. In addition, some other factors such as work safety, legal aspects, effects on environment and productivity can be evaluated for success as well as budget and duration [Chovichien 2013]. As pointed out by

another study, stakeholder perceptions of success could vary [Chan 2001]. Accordingly, the main concerns for architects are aesthetics and functionality rather than costs.

While efforts on customer satisfaction are done in other sectors, the performance evaluation in construction projects is traditionally limited to time, budget, and quality. Nonetheless, the customer satisfaction in construction projects was examined in some research [Kärnä 2009]. The client's perception of project success can vary depending on different factors, including the client him/herself, the project, and the stakeholders of the project [Chan 2001]. It is also necessary that the project is fully understood by the client [Soetanto et al 2001]. In short, the answer to the question of what success is or how to measure it can be very elusive.

2. Purpose of the study

Everyone involved in construction of a building want the project be considered successful. Different groups or stakeholders, however, have also their own agendas and measure the outcome or success of the project differently. Client satisfaction during and at the end of a project may be seen as one of the important criteria. Work environment, relationships between different groups, needs, and views affect the success of a project. Because of the difference in perception of different groups, this study focuses especially on client satisfaction as a perception of success instead of how to measure success. In this study, it is desired to examine whether there is a change in the opinions of architects and civil engineers regarding customer/client satisfaction. In particular, the relationship between success perceptions and stakeholder relationships is emphasized. The opinions of the mentioned groups toward work environment are also examined.

3. Methodology

The data examined in this study were derived from the data of a larger study [Coskun 2016; Genç 2017].The questionnaire were held out to civil engineers and architects asking their perceptions about working conditions and project outcomes. In the survey, civil engineers and architects were asked the similar questions. The cooperative working of stakeholders in a project and the project outputs among which is client/customer satisfaction that could be obtained as a result of this collaborative environment were asked in the survey. The cross-data analyzes were made between the answers they gave about working relations among stakeholders and the customer satisfaction. Thus, the relations between the opinions of the specified groups were tried to be determined.

There were 176 civil engineers and 103 architects responding to the survey. The questions posed in the questionnaire are the likelihood (*1: strongly probable, 2: probable, 3: undecided, 4: not likely, 5: very unlikely*) of client/customer satisfaction as one of the consequences of the difficulties in collaboration of stakeholders starting from the design stage to the project execution process. People are asked to rank (*1: not important, 2: partly important, 3: important, 4: quite important, 5: very important*) the different types of

difficulties encountered during the implementation of such a cooperative environment from the design phase until completion. The questions require people to express their subjective opinions. There are eight questions about the stakeholders. The factors examined are:

- Fac1: Insufficient use of computer technology in design, manufacturing, and sharing all kinds of information
- Fac2: The lack of participation of the customer to the design process
- Fac3: Lack of participation of professional groups, which will be involved in implementation, to the design team as a result of separation of design and manufacturing phases in projects
- Fac4: Non-developed culture of information sharing and ideas between stakeholders (such as in concurrent engineering)
- Fac5: Attitudes and behavior of owner (such as, changes in production line and specification, and failure in doing timely payments)
- Fac6: Inadequacies of employees (skills, knowledge, personality, honesty, performance, and so on.)
- Fac7: Mistrust, fear and the habit of not saying about the mistakes among the people who worked in the project during both the design and the construction phases
- Fac8: The cultural problems among the professional groups of the project

In the expected project outputs part of the questionnaire, the ratings of customer satisfaction are included. The expected client satisfaction can be the result of the conditions of working environment. Participants are asked that with the favorable or collaborative working conditions how much client/customer satisfaction can be expected.

4. Analysis and Results

4.1 The Relation Between Factor Levels and Perceived Client Satisfaction Levels: Chi-Square Tests

The values given in the tables are found by considering the responses given by one person to both factors (cross-examination). The top rows of the tables show the ratings given for customer satisfaction; they are given as (1: strongly probable, 2: probable, 3: undecided, 4: not likely, 5: very unlikely). In the left side columns of the tables, there are rating values for the examined factor; they are given as (1: not important, 2: partly important, 3: important, 4: quite important, 5: very important). Row and column totals are given in the right column and the bottom row, respectively.

The expected customer satisfaction was compared with each of the eight factors for each level in the cross-examination. Chi-square statistic was used in the analysis. Evaluated null and alternative hypotheses are;

$$H_o: p_{ij} = p_{i.} \cdot p_{.j}$$
$$H_1: p_{ij} \neq p_{i.} \cdot p_{.j}$$

where $p_{i.}$ is row probability, $p_{.j}$ is column probability, and p_{ij} is the probability value for the cell *i* and *j*. This hypothesis is referred to as the "*r x c"* contingency table [Steel 1997.

In addition to *p*-values, the level of independence between columns and rows can be specified by the *phi*-coefficient [Steel 1997]. *Phi*-coefficient is given as (Eq. 1),

$$\Phi = \sqrt{\frac{\chi^2}{n}} \qquad \text{(Eq.1)}$$

The *phi*-coefficient can have values between 0 and 1, and values close to 1 indicate strong affinity. The calculated *phi*-coefficients shown in Table 1 also indicate that the dependencies between columns and rows are not strong.

Table 1. Summary of chi-square tests for in-between groups

Civil engineers			Architects		
Factor	p-value	Phi coefficient	Factor	p-value	Phi coefficient
Fac5	0,943	0,216	Fac6	0,946	0,280
Fac1	0,897	0,231	Fac1	0,819	0,324
Fac7	0,782	0,255	Fac7	0,651	0,359
Fac8	0,727	0,264	Fac8	0,536	0,380
Fac2	0,725	0,264	Fac2	0,524	0,382
Fac3	0,496	0,296	Fac3	0,242	0,436
Fac4	0,482	0,298	Fac5	0,216	0,442
Fac6	0,409	0,308	Fac4	0,204	0,445

Row or column totals and ratios in the tables can be used to calculate the ratio or probability of a cell in the table. In this case, the probabilities in table cells can be calculated as *pij = pi. p.j.*. The cell probabilities can be calculated in this way since the *p*-values are not closer to zero than one and the null hypothesis is accepted.

According to Table 1, the dependency (or independence) status between some factors and customer satisfaction among groups is different in some factors while that dependency status is in the same order in some other factors. The greatest difference between the two groups is related to the Fac5 and Fac6 factors. For the civil engineer, the independence situation is more pronounced in Fac5 (inadequacies of employees, such as skills, knowledge, personality, honesty, performance, and so on.) but it is the opposite for architects.

For civil engineers; if Fac5 and the response rates for customer satisfaction are assumed to be as in the table, the table cells can be filled in such a way that they are multiplied. But if

the response rates for Fac6 and customer satisfaction are assumed to be as in the table, the table cells cannot be filled in such a way that they will multiply meaning that there is an interaction between these two ratios. The table therefore can only be filled out by thinking that there may be other interactions in the background.

4.2 Difference Between Opinions of Civil Engineers And Architects: Comparison of Group Means (Student's *t* Tests)

While it is shown that there is no relationship between factors and customer satisfaction, there may be a background relationship between the rates for factor levels and the levels of customer satisfaction. Subsequently, it is also tried to determine whether there is a difference in the importance given to the factors that affect customer satisfaction between civil engineers and architects. Using all the data, the arithmetic means of the responses to the ratings given for each customer satisfaction (1: strongly probable, 2: probable, 3: undecided, 4: not likely, 5: very probable) are compared. The hypothesis that the mean of the factors is equal to one another (*student's t*-test) (H_o:$\mu_1=\mu_2$) is tested assuming different variances ($\sigma_1 \neq \sigma_2$) of two-populations.

When the data were examined, it appeared that there was a difference between the average scores of the two groups at each level. With a few minor differences in mind, these findings could be summarized in the following way as in Table 2.

Table 2. Summary of tests of equality of means tests (t-tests) at each satisfaction level

	Client satisfaction - responses (1:very likely; 5:very unlikely)				
	1	2	3	4	5
Fac1	same	not same	same	not same	same
Fac2	almost	same	not same	same	same
Fac3	not same	not same	not same	not same	not same
Fac4	not same	not same	not same	not same	not same
Fac5	almost	not same	not same	not same	not same
Fac6	not same	almost	not same	not same	not same
Fac7	same	same	same	same	almost
Fac8	same	same	same	same	same

It can be seen that some factors (Fac1: insufficient use of computer technology in design, manufacturing, and sharing all kinds of information; Fac2: the lack of participation of the customer to the design process; Fac7:mistrust, fear and the habit of not saying about the mistakes among the people who worked in the project during both the design and construction phases; and Fac8:the cultural problems among the professional groups of the project) similarly influence customer satisfaction in varying proportions among both architects and civil engineers.

According to findings, both groups agree that working together of stakeholders and that sharing information during this collaboration is important and also that the problems between groups also affect customer satisfaction.

Since some of the factors (Fac1, Fac2, Fac7, and Fac8) have the same implication by both groups, more attention should be paid to these factors. Paying more attention to these factors may not be challenging at all because it means that both groups think the same. However, when we look at the other factors (Fac3, Fac4, Fac5, and Fac6), there are disagreements. Perhaps the differences develop from the work areas of architects and civil engineers; such as architects have generally closer ties to the client/customer, but civil engineers are more occupied on site and closer to other occupational groups; architects attach more importance to design but civil engineers gives greater consideration to construction. Because of these kinds of differences, the views on working together may be also different.

The influences of some factors (Fac3:lack of participation of professional groups, which will be involved in implementation, to the design team as a result of separation of design and manufacturing phases in projects; Fac4:non-developed culture of information sharing and ideas between stakeholders in concurrent engineering; Fac5:attitudes and behavior of owner, such as, changes in production line and specification, and failure in doing timely payments; and Fac6:inadequacies of employees (skills, knowledge, personality, honesty, performance, and so on.) on customer satisfaction at varying rates can be seen in both the architects' and the civil engineers' opinions.

5. Conclusions

According to the results of the contingency tables, it is not possible to determine or estimate customer satisfaction based on the importance ratings given to the factors.

Although not predictable, the opinions of architects and civil engineers differ at least for two factors. For civil engineers, Fac5 based prediction can be made, whereas no prediction based on Fac6 is possible. The opposite is true for architects.

The ratings for some factors ("Fac3", "Fac4", "Fac5", and "Fac6") and client satisfaction ratings were found to be different between civil engineer and architect groups by hypothesis tests of equality of means.

For some factors ("Fac1", " Fac2", " Fac7", " Fac8"), it was seen that the differences were not great (hypothesis tests of equality of means). These two stakeholder groups (architects and civil engineers) have a consensus on these factors, indicating that customer satisfaction may be more likely to be achieved if these factors are focused on. In this case, the more efficient use of computer technology at each step of the construction process may help to increase the client satisfaction. Participation of the client in the design process can also be an effective way to increase client satisfaction. If the disagreement over factor "Fac3" is taken into consideration, the involvement of the client in the design process seems to be more

important factor than the other stakeholders' involvement. It can be said that factor " Fac7" is a subgroup of factor " Fac8", in which case it may be appropriate to create a more shared and open working environment, where communication channels work more effectively, among all stakeholders.

The results can also be interpreted as follows: an architect or a civil engineer can be chosen as project manager. If there are differences of approach among these groups and if these differences are recognized or known more precisely then the manager selection can be done more appropriately. If the project specific features (such as work environment, project team, information systems) can be known beforehand, then an architect or a civil engineer can be selected to work with as a project manager to assure a better client satisfaction.

Acknowledgemenets

Authors thank to Ercan Erdis for allowing the use of some data from the survey and to Olcay Genc for the contribution in the preparation of the questionnaires.

References

1. Aapaoja, A., Haapasalo, H. (2014). A framework for stakeholder identification and classification in construction projects. *Open Journal of Business and Management*, 2(01), 43-55.

2. Baiden, B. K., Price, A.D., Dainty, A. R. (2006). The extent of team integration within construction projects. *International Journal of Project Management*, 24(1), 13-23.

3. Berman, G. S. (2002). The morphing of the architect's role and how it is impacting the CM. *CM ejournal Presented At Construction Management Association of America*, October, 13-15.

4. Bletzinger, K. U., Lähr, A. (2006). Prediction of interdisciplinary consequences for decisions in AEC design processes. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 11(38), 529-545.

5. Brockmann, C. (2002). Modeling customer satisfaction for the AEC industry. *AACE International Transactions*, PM161.

6. Burr, K. L., Jones, C. B. (2010). The role of the architect: Changes of the past, practices of the present, and indications of the future. *International Journal of Construction Education and Research*, 6(2), 122-138.

7. Capra, M. (2010). Collaborative Mixed Reality Environments: An Application for Civil Engineering. *PhD thesis*, University of Nottingham.

8. Chan, A. (2001). Framework for measuring success of construction projects. *Report 2001-003-C-01*. Queensland University of Technology.

9. Chovichien, V., Nguyen, T. A. (2013). List of indicators and criteria for evaluating construction project success and their weight assignment. In *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering Project and Production Management*.

10. Coşkun, H., Erdiş, E., Genç, O. (2016). Improving the performance of construction projects by employing concurrent engineering. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 31(2), 47-58.

11. Genç, O., Erdiş, E., Çoşkun, H. (2017). İnşaat mühendisleri özelinde eşzamanlı mühendislik yaklaşımının irdelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 31-38.

12. Haltenhoff, C.E. (1986). Educating professional construction managers. *Journal of Construction Engineering and Management.* 112(2), 153-162.

13. Ika, L. A. (2009). Project success as a topic in project management journals. *Project Management Journal*, 40(4), 6-19.

14. Kamara, J.M., Anumba, C.J., Evbuomwan, N.F.O. (2000). Establishing and processing client requirements- a key aspect of concurrent engineering in construction. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 7(1), 15-28.

15. Kärnä, S. (2004). Analysing customer satisfaction and quality in construction- the case of public and private customers. *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research - Special Series*, 2.

16. Kärnä, S., Junnonen, J. M., Kankainen, J. (2004). Customer satisfaction in construction. In *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 476-488, August.

17. Kärnä, S. (2009). Concepts and Attributes of Customer Satisfaction in Construction. *Doctoral Dissertation*. Helsinki University of Technology.

18. Khan, R. A., Spang, K. (2013). An exploratory study of the association of project success with project characteristics and organization maturity. In *International Conference on New Challenges of Economic and Business Development*, May.

19. Maloney, W. F. (2002). Construction product/service and customer satisfaction. *Journal of Construction Engineering and Management.* 128(6), 522-529.

20. Prabhakar, G. P. (2009). Projects and their management: A literature review. *International Journal of Business and Management*, 3(8), 3-10.

21. Rowland, C. (2006). Optimizing the Project Team's Contribution to Business Objectives. *Master of Science Thesis*. Clemson University.

22. Ruan, X., Ochieng, E. G., Price, A. D., Egbu, C. O. (2012). Knowledge integration process in construction projects: a social network analysis approach to compare competitive and collaborative working. *Construction Management and Economics*, 30(1), 5-19.

23. Shenhar, A. J., Levy, O., Dvir, D. (1997). Mapping the dimensions of project success. *Project Management Journal*, 28(2), 5-13.

24. Soetanto, R., Proverbs, D. G., Holt, G. D. (2001). Achieving quality construction projects based on harmonious working relationships- clients' and architects' perceptions of contractor performance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(5), 528-548.

25. Soetanto, R., Proverbs, D. G. (2002). Modelling the satisfaction of contractors: The impact of client performance. *Engineering Construction and Architectural Management*, 9(5-6), 453-465.

26. Steel, R. G., Torrie, J. H., Dickey, D. A. (1997). *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*, McGraw-Hill, NewYork.

Sürdürülebilir Yapılaşma Çerçevesinde 3 Boyutlu Eklemeli Beton İmalatı (Oral)

Oğuzhan ŞAHİN[1], Emrah BAHŞİ[2], Mustafa ŞAHMARAN[3]

[1] Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Türkiye
[2,3] Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Türkiye
Email: oguzhansahin@ahievran.edu.tr, bahsiemrah44@gmail.com, sahmaran@hacettepe.edu.tr

Özet

Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesi beton olmakla birlikte, yapıların inşasında en çok tercih edilen imalat yöntemi geleneksel bir yöntem olan kalıpla inşa yöntemidir. Ancak, kalıpla üretim yöntemi kalıp ve işçilik maliyeti, imalat süresi, tasarım özgürlüğü ve iş sağlığı ve güvenliği gibi birçok açıdan çeşitli dezavantajlara sahip olmasından dolayı birçok özel, ticari ve akademik kurum alternatif imalat yöntemleri arayışına girmiş ve yüksek teknolojili ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilen 3 boyutlu eklemeli imalat (3D Additive Manufacturing – 3D AM) yöntemi bu arayışa cevap olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte, 3D AM yöntemi, mevcut yapı endüstrisinin bazı zorluklarına çözüm olabilecek yaklaşımlardan bir tanesi olarak benimsenmiştir. 3D AM yöntemini kısaca katman üzerine katman eklemek suretiyle yapı imalatı olarak ifade etmek mümkündür. 3D AM ile yapıların inşası, geleneksel beton üretim yöntemlerine kıyasla çok daha fazla tasarım özgürlüğü tanıyan, daha hızlı, daha az atık üreten, daha ekonomik, işçilik hatalarını ortadan kaldıran, kalıp gerektirmeyen ve daha sürdürülebilir yöntemdir. 3D AM teknolojisi ile birlikte, beton, malzeme kaynaklı çevresel etkiler azaltılarak, son ürünün kalitesini artırmakta ve geometrik olarak daha karmaşık projelerin hızlı bir şekilde yapımına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle 3D AM yöntemi sahip olduğu bu avantajlar sayesinde son zamanlarda inşaat sektöründe popülerlik kazanmaya başlamıştır. Bu derleme çalışmasında, 3D AM yönteminin yapı teknolojisinde geçmişten günümüze geçirdiği süreç hakkında genel bir bilgi verilerek yöntemin avantajları, geliştirilmesi gereken yönleri hakkında çeşitli bilgiler verilecektir. 3D AM yönteminin gelecekte yapı teknolojisinde yaygın olarak kullanılacağı düşünülmekte olup, bu manada makale yazarları tarafından bu kapsamda gelecekte ülkemizde yapılması gereken çalışmalar özetlenecektir.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu eklemeli imalat, Beton, Reolojik özellikler, Tiksotropi, Baskı alınabilir beton

1-GİRİŞ

İnsanoğlu, varlığından beri; güvenlik, barınma, sağlık, ibadet, ticaret, sosyalleşme, ulaşım vb. çeşitli nedenlerle yaşam alanları ve yapılar inşa etmişlerdir. Yapı türleri, yapının uygulandığı zamana ve yapım yönteminin kendisine bağlı olarak, belirgin bir şekilde zaman içinde değişmiştir. Özellikle son yüzyılda teknolojideki büyük ilerlemeler ve nüfusun önemli oranda artmasıyla, inşaat stokları daha önce hiç görülmemiş seviyelere ulaşmıştır. Bu durum neticesinde yapının inşaat süresi ve toplam iş yükü miktarını azaltmak büyük önem kazanmıştır. Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesi beton olmakla birlikte, yapıların inşasında en çok tercih edilen imalat yöntemi geleneksel bir yöntem olan kalıpla inşa

yöntemidir. Ancak, kalıpla üretim yöntemi kalıp ve işçilik maliyeti, imalat süresi, tasarım özgürlüğü, ve iş sağlığı ve güvenliği gibi birçok açıdan çeşitli dezavantajlara sahip olmasından dolayı birçok özel, ticari ve akademik kurum alternatif imalat yöntemleri arayışına girmiş ve yüksek teknolojili ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilen 3 boyutlu eklemeli imalat (3D Additive Manufacturing - 3D AM) yöntemi bu arayışa cevap olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte, 3D AM yöntemi, mevcut yapı endüstrisinin bazı zorluklarına çözüm olabilecek yaklaşımlardan bir tanesi olarak benimsenmiştir. 3D AM yöntemini kısaca katman üzerine katman eklemek suretiyle yapı imalatı olarak ifade etmek mümkündür. 3D AM ile yapıların inşası, geleneksel beton üretim yöntemlerine kıyasla çok daha fazla tasarım özgürlüğü tanıyan, daha hızlı, daha az atık üreten, daha ekonomik, işçilik hatalarını ortadan kaldıran, kalıp gerektirmeyen ve daha sürdürülebilir yöntemdir. 3D AM teknolojisi ile birlikte, beton, malzeme kaynaklı çevresel etkiyi azaltarak, son ürünün kalitesini artırmakta ve geometrik olarak daha karmaşık projelerin hızlı bir şekilde yapımına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle 3D AM yöntemi sahip olduğu bu avantajlar sayesinde son zamanlarda inşaat sektöründe popülerlik kazanmaya başlamıştır.

3D AM sisteminde çimento esaslı bir malzeme kullanılmasının ilk denemesi Pegna (1997) tarafından yapılmıştır. Son 20 yılda beton ve yapı kimyasalları teknolojisinde önemli gelişmeler sağlanıp, bu gelişmeler 3D AM konusu için de çok büyük avantaj ve imkanlar sağlamıştır. Son yıllarda konu ile ilgili artan çalışmalara rağmen mevcut durumda baskı alınabilir beton ve test yöntemleri ile alakalı herhangi bir standart bulunmamaktadır (Panda vd., 2017b). 3D AM sistemine ilişkin ulusal ve uluslararası literatür taranmış olup, söz konusu literatür taramasına neticesinde çalışmalar Tablo 1'de gösterildiği üzere incelenen özelliklere (mekanik, tiksotropik, reolojik vb.) göre sınıflandırılmıştır.

Tablo-1-3D AM sistemine ilişkin literatür taraması

Basınç, çekme, eğilme gibi mekanik özelliklerin irdelendiği çalışmalar	Reolojik ve tiksotropik özelliklerin irdelendiği çalışmalar	Bekleme Sürelerinin incelendiği çalışmalar	Arayüz bağ dayanımının incelendiği çalışmalar	Jeopolimer esaslı bağlayıcının kullanıldığı çalışmalar
Malaeb vd., 2015 Gosselin vd. 2016 Panda vd. 2017a Panda vd. 2017b Ma vd. 2017b Marchment vd., 2017 Panda vd. 2018a Panda vd. 2018b Panda vd. 2018c Panda vd. 2018d Nematollahi vd. 2018a Nematollahi vd. 2018b Nematollahi vd. 2018c Annapareddy vd. 2018 Bong vd., 2018 Qutaifi vd. 2018 Kashani ve Ngo, 2018 Hojati vd., 2018 Demyanenko vd., 2018 Skibicki vd., 2018 Papachristoforou vd., 2018 Zhang vd., 2018 Soltan ve Li 2018 Sanjayan vd. 2018 Bos vd. 2018 Wolfs vd. 2018a Ma vd., 2019 Wolfs vd., 2019 Marchment vd. 2019	Malaeb vd., 2015 Perrot vd. 2016 Kazemian vd., 2017 Panda vd. 2017b Panda ve Tan 2018 Panda vd. 2018a Panda vd. 2018b Panda vd. 2018c Panda vd. 2018d Nematollahi vd. 2018c Annapareddy vd. 2018 Qutaifi vd. 2018 Kashani ve Ngo, 2018 Tay vd., 2018 Zhang vd., 2018 Soltan ve Li 2018 Neralla vd. 2018 Marchment vd. 2019	Kazemian vd., 2017 Marchment vd., 2017 Panda ve Tan 2018 Panda vd. 2018a Panda vd. 2018b Nematollahi vd. 2018b Tay vd., 2018 Sanjayan vd. 2018 Wolfs vd., 2019 Marchment vd. 2019 Tay vd., 2019	Marchment vd., 2017 Panda vd. 2018a Nematollahi vd. 2018a Nematollahi vd. 2018b Nematollahi vd. 2018c Tay vd., 2018 Soltan ve Li 2018 Sanjayan vd. 2018 Marchment vd. 2019 Tay vd., 2019	Panda vd. 2017a Panda vd. 2017b Panda ve Tan 2018 Panda vd. 2018a Panda vd. 2018b Panda vd. 2018c Panda vd. 2018d Nematollahi vd. 2018a Nematollahi vd. 2018b Nematollahi vd. 2018c Annapareddy vd. 2018 Bong vd., 2018 Qutaifi vd. 2018 Kashani ve Ngo, 2018 Hojati vd., 2018 Ma vd., 2019
		Nozül hızı ve nozül yüksekliğinin etkisinin incelendiği çalışmalar	Lif kullanılan çalışmalar	
		Kashani ve Ngo, 2018 Nematollahi vd. 2018b Panda vd. 2018a Wolfs vd., 2019	Le vd. 2012a Le vd. 2012b Bos vd. 2016 Panda vd., 2017a Kazemian vd., 2017 Soltan ve Li 2018 Panda ve Tan, 2018 Nematollahi vd. 2018a Nematollahi vd., 2018c Qutaifi vd., 2018 Wolfs vd.2019 Ma vd., 2019	

Tablo 1'de yer alan çalışmalardan özetle ifade etmek gerekirse;

- ✓ Baskı başlığının (nozül) boyutunun sınırlandırılması, karışımın düzgün iletilmesi ve yüzey düzgünlüğünün sağlanması amacıyla 3D AM yönteminde, özellikle laboratuvar ölçekli çalışmalarda iri agrega kullanılmamaktadır. Literatür incelemesi neticesinde, maksimum agrega çapı yaklaşık 3 mm olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bazı çalışmalarda (Annapareddy vd., 2018) kum yerine farklı tane boyutunda içeriğe sahip cam agregaların kullanıldığı görülmektedir.
- ✓ Bağlayıcı malzeme olarak, çalışmalarda CEM I (42,5; 52,5, vb.), ASTM Tip I-Tip II çimentoları kullanılmıştır. Diğer taraftan, jeopolimer esaslı bağlayıcıların (Portland çimentosu yerine farklı seviyelerde genellikle uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu vb. mineral katkılar) kullanıldığı çalışmalarda oldukça fazladır.
- ✓ Önemli parametrelerden birisi olan su/çimento oranı ise 0,30-0,45 arasında değişen değerlerde kullanılmıştır. Bununla birlikte, 3D AM uygun tasarıma yüksek oranda su azaltıcı katkıların eklenmesi neticesinde taze betonun uygun işlenebilirlik değerlerine daha düşük su/bağlayıcı malzeme (S/BM) oranında ulaştığı kanıtlanmıştır (Le vd., 2012a).
- ✓ Çeşitli çalışmalarda (Nematollahi vd., 2018a; Nematollahi vd., 2018c; Bong vd., 2018; Ma vd., 2019) özellikle selüloz esaslı viskozite düzenleyici katkı (VMA) kullanılarak 3D AM yöntemi için gerekli olan tiksotropik özellik elde edilmeye çalışılmıştır. Diğer taraftan, bazı çalışmalarda (Panda vd., 2018d; Panda ve Tan, 2018; Annapareddy vd., 2018) ise nano kil malzemesi tiksotropik özellik elde edilmek üzere kullanılmıştır.
- ✓ Jeopolimer esaslı 3D AM ile ilgili çalışmalarda alkali aktivatör olarak genellikle sodyum silikat, potasyum silikat, sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit gibi kimyasallar kullanılmıştır.
- ✓ Priz geciktirici katkılar ile karışımın hazırlandığı andan nozülden extrüde edildiği ana kadar geçen süreçte sistemde herhangi bir tıkanıklığın meydana gelmesi önlenmektedir. Öte yandan, beton karışımına tabakalar uygulanmadan hemen öncesinde priz hızlandırıcı eklenmesi durumunda ekstrüzyon işleminden sonra betonun daha hızlı priz alması sağlanarak üretilen yapının/elemanın boyutsal stabilitesi ve inşa edilebilirliği sağlanmış olmaktadır (Maleab vd., 2015).
- ✓ 3D AM yöntemi ile mevcut durumda ancak çok özel ekipmanlar ile üretim esnasında sürekli donatı kullanılmaktadır. Bu nedenle 3D AM kapsamında yapılan çalışmalarda (Panda vd., 2017a; Nematollahi vd., 2018a; Nematollahi vd., 2018c; Qutaifi vd., 2018; Ma vd., 2019) geliştirilen reçetelerde betonun çekme gerilmeleri altında dayanım ve süneklilik kapasitesinin arttırılması ve boyutsal stabilite özelliği amaçlı kısa kırpılmış lifler (polipropilen, polivinilalkol, cam elyaf vb.) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.
- ✓ Çeşitli çalışmalarda (Panda vd., 2018a, Kashani ve Ngo, 2018; Nematollahi vd., 2018b; Wolfs vd. 2019) farklı nozül formu, baskı hızı, yüksekliği ve ebatları; pompalama hızı, basıncı; gibi birçok ekipman özelliğinin, 3D AM yöntemine olan etkisi incelenmiştir. Katmanlar arasındaki daha büyük zaman boşluğu bağ dayanımını azaltırken, baskı hızı ve nozül yüksekliği mesafesinin etkisi düşük değerlerde daha iyi sonuçlar vermiştir (Panda vd., 2018a). Tüm bu parametreler birbirini tamamlayan

parametreler olmakla birlikte, pürüzsüz ve katman boyunca süreklilik için optimum bir aralıkla sınırlandırılmalıdır. Malzemenin boyutuna ve numunenin şekline bağlı olarak, işlem performansını artırmak için ekipman parametreleri optimize edilebilmektedir.

- ✓ 3D AM yöntemi ile alakalı çalışmaların genelinde (Panda vd., 2017a; Panda vd., 2017b; Annapareddy vd., 2018; Kashani ve Ngo, 2018) karışımın taze ve sertleşmiş özeliklerinin belirlenmesi için çeşitli deneylerin yapıldığı görülmektedir. 3D AM yönteminde kullanılan karışımların taze halde iken bünyesinde barındırması gerekli olan çeşitli parametreler göz önünde bulundurulduğunda karışımın reolojik özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. 3D AM yöntemi için kullanılacak karışımın reometre kullanılarak viskozite ve akma gerilmesinin tayin edilmesi ile karışımın imalat sırasında ve sonrasında gerekli olan akışkanlık, şekil stabilitesi, tiksotropik özellik gibi birçok parametre açısından göstereceği performans hakkında fikir sahibi olunmaktadır. Çeşitli aralıklarla yapılan ölçümler, karışımların viskozite ve akma gerilmesi değerlerinin zamanla arttığını göstermektedir. Şekil stabilitesi açısından olumlu bir etkiye sahip olan bu olay belli bir limit değerinin üzerine çıktığı zaman karışımın ekstrüzyon kabiliyeti (pompalanabilirlik) açısından olumsuz bir hal almaktadır.
- ✓ Çalışmalarda ayrıca iki katmanın baskı alınması sırasında geçen zaman aralığının katmanlar arası bağ dayanımı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. İki katman arasındaki zaman boşluğu arttıkça altta bulunan katman zamanla işlenebilirliğini kaybettiği için üzerine gelen katmanın suyunu absorbe ederek içinde barındırdığı havayı dışarı itmekte ve bu hava ara bölgede birikerek iki katman arasında daha düşük bir bağ dayanımı oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca, farklı zaman aralıklarında basılan iki numune eksenel çekme yüklemesine tabi tutulduğunda düşük zaman aralığında baskı alınan katmanlı numunenin kırılma bölgesi daha pürüzlü iken diğer numunede bu bölgenin pürüzsüz olduğu görülmektedir (Panda vd., 2018a).
- ✓ İki katman arasında baskı alma süresinin artması ile ara bölgede bağ dayanımı zayıflarken, bu zaman boşluğunun azalması da şekil stabilitesi için olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Bu nedenle tabakalar uygulanırken optimum bir zaman aralığının belirlenmesi hem katmanlar arasında yeterli bir bağ oluşması hem de katmanlar yükselirken şekil stabilitesinin sağlanması açısından olumlu bir etki oluşturmaktadır.
- ✓ Sertleşmiş betonun çeşitli deneyler yardımıyla mekanik özelliklerinin belirlenmesi de farklı çalışmalarda (Panda vd., 2017a; Panda vd., 2017b; Annapareddy vd., 2018; Kashani ve Ngo, 2018; Nematollahi vd., 2018c vb.) araştırılmıştır. Farklı 3D AM ekipman parametreleri (pompalama hızı, nozül tipi ve boyutu vb.), karışım parametreleri (lif içeriği, kimyasal katkı, vb.) ve uygulama parametreleri (baskı doğrultusu, baskı alma aralığı, vb.) ile gerçekleştirilen 3D AM yönteminde bu parametrelerin numunenin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla çekme, basınç, eğilme dayanımı testleri gibi birçok test uygulanmıştır. Bunun yanında 3D AM yöntemi ile üretilen numunelere farklı yönlerde (katman doğrultusunda, katmana dik, vb.) yüklemeler yapılarak numunenin farklı doğrultularda gösterdiği dayanım değerleri de incelenmiştir.

- ✓ 3D AM yönteminde beton her yönde farklı davranış sergilemektedir. Bu durumu, anizotropik dayanım davranışı olarak da isimlendirmek mümkündür. En yüksek basınç dayanımı baskı doğrultusunda gözlemlenirken, en düşük basınç dayanımı yanal doğrultuda tespit edilmiştir. Dikey doğrultudaki dayanım ise bu iki değerin arasında bulunmuştur. Bu eğilimler gecikme süresine bakılmaksızın geçerlidir. Yine, benzer anizotropik davranış durumu eğilme dayanımlarında da gözlemlenmiştir. Dikey doğrultudaki eğilme dayanımı yanal doğrultudan daha yüksek bulunmuştur (Sanjayan vd. 2018).

3D AM yöntemi ile yapılan çalışmalar sadece Tablo 1'de sunulan çalışmalar ile sınırlı değildir. Bazı çalışmalarda (Bos vd. 2018; Wolfs vd. 2018b) katman ortasında çelik tel kullanılmış olup, bu durumun mekanik etkiler üzerindeki sonuçları gözlemlenmiştir. Bazı araştırmacılar (Malaeb 2015; Zhang 2018) ise 3D AM yöntemine uygun makine tasarımı üzerinde çalışmalar gerçekleştirdi. Yine, 3D AM yöntemi ve malzeme optimizasyona ilişkin de bazı çalışmalar (Oxman vd., 2014; Biernacki vd., 2017; Kashani ve Ngo, 2018; Krausea vd. 2018) yapılmış olup, söz konusu çalışmalar ile malzeme kullanımı indirgemekle birlikte yüksek performans elde edilmiştir. Deneysel çalışmaların yanı sıra çeşitli modelleme bazlı araştırmalar (Costanzi vd. 2018; Bester 2018; Valle vd. 2018) da yapılmıştır. İlgi çekici diğer bir çalışma da (Salet vd. 2018) ise türünün ilk örneği öngermeli bisiklet yolu 3D AM yöntemi ile üretilmiştir. Ekim 2017'de açılan bu köprü Hollanda da kullanılmaktadır.

Bu derleme çalışmada 3D AM yöntemi çerçevesinde literetürdeki çalışmalar farklı ana alt başlıklar altında derlenerek; sistemin genel özellikleri, gelişim evreleri, üretim sürecine etki eden parametreler, sistemin sağladığı avantajlar ve geliştirilmesi gereken yönleri hakkında geniş bir bilgi sunulacaktır.

2-ÜÇ BOYUTLU EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİ

İnşaat ve mimari endüstride eklemeli üretim prosesi olarak; D-shape, contour crafting (CC) ve 3 boyutlu beton baskısı (3D Printing of Concrete-3DPC) kullanılmaktadır. Her üç yöntemle de benzer üretimler elde etmek mümkündür. Her metot kendi içerisinde avantajlara ve dezavantajlara sahip olmakla birlikte farklı uygulamalar için geliştirilmiştir. D-shape 2004'den beri kullanılmakta olan bir üretim metodu olmakla olup, 3 boyutlu bir bilgisayar modeline göre, bir bağlayıcı kullanarak, toz biriktirme ve seçici sertleştirme esasına dayanmaktadır (Kazemian vd., 2017). Bu metot şu an laboratuvar ortamında kullanılsa da ilerde yerinde üretimde kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır (Lim vd., 2012). Counter crafting, Dr. Behrokh Khoshnevis tarafından geliştirilmiş bir yöntem olmakla birlikte, bu yöntem ile ekstrüde edilebilir malzemelerden pürüzsüz, doğru düzlemsel yüzeyler elde edilebilmektedir. D shape'de olduğu gibi burada da 3 boyutlu bilgisayar modelleri kullanılmaktadır. Bu yöntem yerinde üretim için uygundur. Hem üretimin hızlı olması hem de düzgün yüzey elde edilebilmesi bu yöntemin diğer 2 yöntemden üstün taraflarıdır. Çok sayıda malzeme ile bu durum kanıtlanmıştır (Kazemian vd., 2017). 3 boyutlu beton baskısı ise vinç, robot ve sistem çerçevesinden oluşmaktadır. Bu sistem sınırları (x, y ve z doğrultusunda)

ölçeğinde üretim yapabilmektedir. Dolayısıyla, makine boyutlarından kaynaklanan bu sınırlama, büyük ölçekli üretim yapma noktasında sorun oluşturmaktadır. (Paul vd., 2018)

Eklemeli İmalat (Additive Manufacturing – AM) katman üzerine katman ekleme olarak tanımlanmaktadır (ASTM F2792-10, 2013). Mevcut durumda AM ticari olarak havacılık, tıbbi uygulamalar ve diğer teknolojik alanlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır (Evans ve Ian Campbell, 2003). Son yıllarda üzerinde önemli çalışmalar yürütülen eklemeli beton yapı imalatı da göz önünde bulundurulduğunda, AM inşaat sektörüne de uygun ve mevcut beton endüstrisinin zorluklarına çözüm olabilecek yaklaşımlardan bir tanesidir. AM teknolojisi ile beton, malzeme kaynaklı çevresel etkiyi azaltarak, son ürünün kalitesini artırmakta ve geometrik olarak daha karmaşık projelerin hızlı bir şekilde yapımına olanak sağlamaktadır (Wangler vd., 2016; Paul vd., 2018). İnşaat alanında, son yıllarda geliştirilen üretim yöntemleri göz önünde bulundurulduğunda, AM'nin büyük ölçekli üretim yöntemi olarak kullanılmasının mümkün olduğu ispatlanmıştır (Buswell vd., 2007; Khoshnevis, 2004, Lim vd., 2016). 3 boyutlu (3D) AM, kalıp kullanılmadan yapılan tabaka bazlı bir imalat yöntemi olarak da tanımlanmaktadır (Maleab vd.,2015; Buswell vd., 2007; Lim vd., 2009).

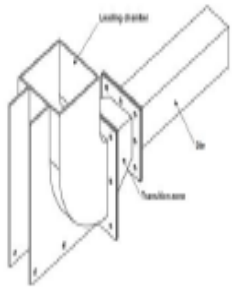
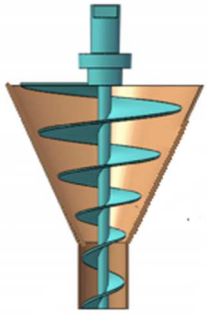
3D AM hızla gelişmekte olan bir üretim prosesi olmakla birlikte, henüz yapı endüstrisinde geniş çapta benimsenecek kadar yaygın değildir. Dünya genelinde hem ekipman anlamında hem üretim ve karışım parametreleri anlamında bu alana ilişkin çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Akademik çalışmaların yanı sıra, Çin'de 3D AM yöntemi ile evler yapan şirketler ile birlikte (Charron 2015) çeşitli ticari uygulamaların varlığı konunun dünya genelinde ne kadar popüler bir çalışma alanı olduğunu göstermektedir.

2.1-3D EKLEMELİ İMALAT AMACINA UYGUN BETON GENEL ÖZELLİKLERİ

Eklemeli yapı imalatında kullanılabilecek baskı alınabilir (bir nozül başlığından ekstrüde edilebilir) beton, bünyesinde kendiliğinden yerleşen beton, sıfır slamp beton ve püskürtme betonun özelliklerini birleştirerek serbest biçimli kalıpsız yapı üretimini kolaylaştırmaktadır (Le vd., 2012a). Bu sebeple geleneksel beton karışım tasarımı 3D eklemeli imalatında geçerli olan bir karışım tasarımı değildir. Optimum koşulları ihtiva eden baskı alınabilir (printable) 3D AM yapabilmek için tasarlanacak çimento bağlayıcılı kompozitlerin aşağıda belirtilen birtakım özellikleri taşıması gerekmektedir.

- Ekstrüzyon (pompalama) yapılabilme kabiliyeti,
- Çok katmanlı bir şekilde inşa edilebilirlik,
- Eklemeli imalat amaçlı karışımların yeterli baskı alınabilirlik süresi,
- Tabakalar arası yeterli arayüz bağ dayanımı.

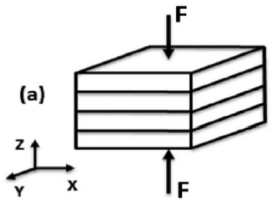
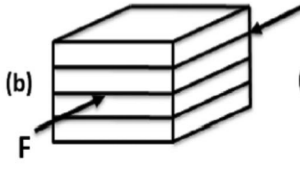
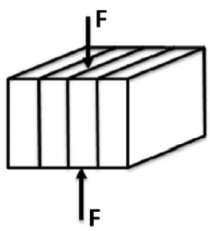
Pompalanabilirlik olarak da bilinen ekstrüzyon yapılabilme kabiliyeti malzemenin iletim hattından geçerek nozülden (ekstrüzyon ucu) hızlı ve güvenilebilir bir şekilde herhangi bir tıkanıklığa ve ayrışmaya sebebiyet vermeden çıkma yeteneğidir (Le vd., 2012a). 3D AM yönteminde kullanılan bazı nozül tipleri Şekil-1'de verilmiştir. Özellikle helezonik iletim hatlı nozüllerde, helezon hat sayesinde, yüksek basınçtan kaynaklı karışımın ayrışması önlenmiş olmaktadır.

			
a) Kare Nozül (Van Zijl vd.2016)	b) Dikdörtgen Nozül (45º açılı) (Sanjayan vd. 2018)	c) Dairesel Nozül (Bos vd. 2016)	d) Helezonik iletim hatlı nozül (Ma vd. 2017b)

Şekil-1-Nozül Tipleri

Betonun pompalanabilir olmasının yanı sıra tiksotropik özellikte olması da istenmektedir. Tiksotropik davranış sayesinde, pompalama yoluyla oluşan çalkalama (yüksek kesme hızı) işlemi, nozüle ulaşan malzemenin viskozitesini azaltmaktadır (Paul vd., 2018). Ekstrüde edilen betonun, viskozitesinin ve akma gerilmesinin artması ve katman boyunca şekil ve yüzey bakımından sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir (Lim vd., 2012; Le vd., 2012a). Özetle, ekstrüde edilebilirlik malzemenin akışkanlığı ve işlenebilirliği ile doğrudan ilişkilidir (Maleab vd., 2015). Yeterli baskı alınabilirlik süresi, 3D AM için işlenebilirliğin kabul edilebilir belirli toleranslar dahilinde tutarlı olduğu süre olarak tanımlanmaktadır (Lim vd., 2012; Le vd., 2012a). Söz konusu durum, taze betonun kesme dayanımının zamana karşı (örneğin kesme aleti kullanılarak) ölçülmesi ile kontrol altına alınmaktadır.

3D AM için gerekli olan özelliklerden bir tanesi de katmanlı bir şekilde inşa edilebilirliktir. Ayrıca inşa edilebilirliği şekil stabilitesi olarak da tanımlamak mümkündür. Bu tanım, taze betonun tabaka üzerine tabaka gelecek şekilde üretim sürecinde herhangi bir deformasyona uğramadan yapılabilirliğini ifade etmektedir (Kazemian vd., 2017). Başka bir ifade ile en alt katmanın kendi ağırlığı ve üzerine gelen diğer katmanların uyguladığı yükü taşıyabilmek için yeterli akma gerilmesine sahip olması demektir. Eklemeli üretime ilişkin katmanlardan alınmış numuneye enine, boyuna ve dikey yönde uygulanan kuvvetler Şekil 2'de gösterilmiştir.

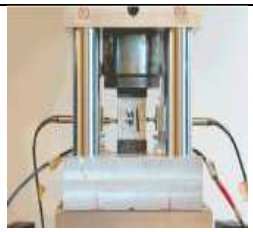
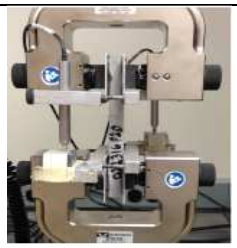
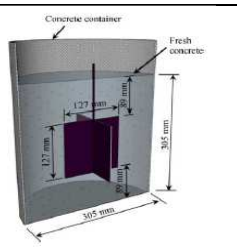
		
a) Baskıya dik yönde kuvvet uygulanması (Tay vd. 2017)	b) Baskı yönünde kuvvet uygulanması (Tay vd. 2017)	c) Yanal yönde kuvvet uygulanması (Tay vd. 2017)

Şekil-2- Eklemeli üretime ilişkin katmanlardan alınmış numuneye enine, boyuna ve dikey yönde uygulanan kuvvetler

3D AM karışımları için gerekli olan bu spesifik taze özelliklerin elde edilmesi için kimyasal katkıların kullanılması çok büyük bir öneme sahiptir. Uygun kimyasal katkılar kullanılarak 3D AM yöntemi için gerekli olan tiksotropik özellik istenen seviyede elde edilebilmektedir. Bunun yanında 3D AM amaçlı beton karışımlarında su muhtevası önemli bir parametredir. Geleneksel beton ile kıyaslandığında 3D AM için kullanılan taze beton karışımlarında düşük çökme ve hızlı priz alma gibi özellikleri sağlamak için daha az su içeriği kullanılması gerekmekle birlikte yüksek mukavemetli karışımlar için de düşük S/BM oranına ihtiyaç duyulmaktadır.

Yukarıda sıralanan özellikler 3D AM için vazgeçilmez özelliklerdir. Bu özelliklerin yanı sıra önemli bir etkiye sahip diğer bir unsur da tabakalar arasındaki arayüz bağ dayanımıdır. Baskı sırasında farklı katmanlar arasındaki arayüzün boşluksuz ve yeterli dayanıma sahip olması gerekmektedir. Özetle, katmanlar arasındaki bağ kuvveti, gelen kesme kuvvetlerini karşılayabilecek yeterli seviyede olmalıdır (Tay vd., 2016). Bu arayüzdeki dayanım tespiti sertleşmiş betona uygulanacak testler sırasında belirlenebilmektedir (Le vd., 2012b; Zareiyan ve Khoshnevis, 2017; Panda vd., 2018a). Bütün bu özelliklere ilaveten baskı sırasında tabakalar şeklinde üretilen yapının yeterli yüzey düzgünlüğüne sahip olması gerekli olup, bu durum betonun reolojik özelliklerinin yanı sıra baskı sırasında kullanılan baskı cihazının nozül boyutları, geometrisi, ekstrüzyon yüksekliği ve ekstrüzyon basıncı gibi üretim yöntemi ile ilgili parametrelere bağlıdır.

3D AM yöntemine ilişkin reolojik, tiksotropik, mekanik vb. özelliklerin tespiti için birtakım deneysel çalışmalar (basınç dayanım testi, çekme dayanım testi, eğilmede çekme dayanımı testi, arayüz bağ dayanımı testi, priz süresi tayini vb.) yapılmaktadır. Bu deneysel çalışmalardan bazıları Şekil-3'te gösterilmiştir.

			
a) Basınç Dayanımı Testi (Salet vd.2018)	b) Çekme Dayanımı Testi (Soltan ve Li 2018)	c) Eğilme Dayanımı Testi (Toklu vd.2017)	d) Reometre- İç Görünüm (Ma ve Wang 2017a)
d) Arayüz bağ dayanımı testi (Sanjayan vd. 2018)	e) Vicat cihazı (Ma ve Wang 2017a)	f) Yayılma tablası deneyi (Toklu vd.2017)	g) Silindir stabilite testi (Kazemian vd. 2017)

Şekil 3-Mekanik ve reolojik vb. özelliklerinin belirlenmesine ilişkin testler

2.2- ÜÇ BOYUTLU EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİNİN AVANTAJLARI

Geleneksel üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında, 3D AM yönteminin inşaat endüstrisinde uygulanması hem maddi hem de çevresel anlamda birçok avantaj sağlamaktadır. 3D AM yöntemi; (1) pahalı kalıpları ve yüksek sayıda işçi ihtiyacını ortadan kaldırarak inşaat maliyetlerini düşürme (Nematollahi vd. 2017; Buswell vd. 2007), (2) tehlikeli işleri ortadan kaldırarak yaralanma oranlarının azaltılması (örneğin yüksekte çalışma), buna bağlı olarak inşaatta güvenlik düzeyinde artma (Nematollahi vd. 2017), (3) ileri teknoloji tabanlı işler yaratma (Nematollahi vd. 2017), (4) toplam inşaat süresinde azalma (Nematollahi vd. 2017; Buswell vd. 2007), (5) çok hassas üretim ile hata olasılığını en aza indirgeme (Nematollahi vd. 2017), (6) inşaatta sürdürülebilirliği arttırma (Nematollahi vd. 2017; Buswell vd. 2007), (7) yapısal ve estetik amaçlı daha özel tasarımlara olanak tanıyan mimari özgürlük (Nematollahi vd. 2017; Buswell vd. 2007), (8) üretim sonrası oluşan toplam atık miktarında azalma ve (9) karmaşık geometriden (Gosselin vd. 2016) faydalanarak yapısal/mimari elemanlar için çok işlevsel olma gibi birçok potansiyel avantajı bünyesinde barındırmaktadır.

Yukarıda sıralanan avantajlardan bir tanesi olan, kalıp maliyeti inşaat sektöründe büyük bir paya sahiptir. Kalıp ihtiyacı olmayan 3D AM kullanılarak, toplam inşaat harcamalarında %35 ila %60 arasında tasarruf sağlanabilmektedir (Shakor vd., 2017; Lloret vd., 2015;). Ayrıca kalıp işçiliğine kıyasla 3D AM yönteminin teknolojik ekipman desteğiyle yapılması kalıp dışındaki işçilik ihtiyacını ve işçilerin tehlikeli işlerde çalışma oranını da önemli derecede azaltmaktadır. Bu sayede hem iş kazaları hem de işçilik maliyetinde önemli ölçüde azalmalar gözlemlenecektir (Biernacki vd., 2017). Geleneksel beton üretiminde, yani kalıpla üretimde, tasarımcı belli sınırlar içerisinde tasarım yapmakta olup, 3D AM ile üretimde ise tasarımcının önündeki bu engel ortadan kalkmakta ve tasarımcı özgür bir şekilde düşünceleri doğrultusunda tasarım yapmaktadır. Günümüzde estetik, işlevsel ve optimize edilmiş tasarımlar ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem özelleştirilmiş, tekrarı olmayan elemanları kolayca imal edebilmeye imkân tanımaktadır. Çeşitli modelleme teknikleri yardımıyla bütün bir tasarım birçok benzersiz parça halinde üretilerek bütün bir hale getirilebilmektedir. Ancak, bu parçaların üretimi, parçaların benzersiz karakteri nedeniyle çok pahalı ve zaman alıcı olabilmektedir. 3D AM yöntemi ile imalatta her eleman için ayrı ayrı kalıplara ihtiyaç kalmamakta ve bu sayede büyük tasarruf sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra inşaat sektöründe en önemli husus malzemenin etkin bir şekilde kullanılmasıdır. İnşaat atıklarının doğru yönetildiği bir üretim süreci ve optimize edilmiş malzeme tüketimi sayesinde imalat sonrası oluşan atık miktarının azalması beklenmektedir (Biernacki vd., 2017; Oxman vd., 2014). Bu yöntem sayesinde doğal kaynaklar etkili ve verimli bir şekilde kullanılabilmektedir. Malzeme israfının önlenmesi ülke ekonomisi ve çevresel faktörler açısından katkı sağlayacaktır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda 3D AM yönteminde çevresel etkilerin azaltılması ve böylelikle çok daha sürdürülebilir bir inşaat sürecini meydana getirecektir.

Diğer taraftan, 3D AM yönteminin inşaat sektöründe yaygınlaşması ile, düşük atık malzeme (yaklaşık %30 mertebesinde), daha düşük enerji kullanımı, yerinde imalat ve daha az kaynak gereksinimi ile geniş tasarım özgürlüğü gibi nedenlerden dolayı üretim sonrası oluşan CO_2

emisyonunda önemli derecede düşüşler beklenmektedir (Tay vd., 2017; Wolfs vd., 2018a; Bos vd., 2016). 3D AM yönteminin yapı endüstrisi için büyük bir otomasyon hızı sağlayacağı kuşkusuz bir gerçektir. Teknoloji tabanlı 3D AM yöntemi sayesinde hem hızlı hem de tüm gün boyunca üretim yapılabilmekte ve bu da inşaat süresini oldukça kısaltmaktadır. Bununla birlikte kullanılan ekipman sayesinde üretimde insan gücü oldukça az kullanılmakta, bu durum hem hataların minimize edilmesi noktasında hem de ekonomik tasarruf noktasında katkı sağlamaktadır.

Yukarıda açıklandığı üzere; 3D AM yöntemi, geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla daha fazla tasarım özgürlüğü tanıdığı, daha ucuz, daha hızlı, daha ekonomik ve daha sürdürülebilir yöntem olduğu açıkça ortadadır.

2.3- 3 BOYUTLU EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİNİN DEZAVANTAJLARI

3D AM yöntemi dünya çapında giderek ilgi çeken bir üretim metodu haline gelmiştir. Her ne kadar son yıllarda yoğun araştırma konusu haline gelmiş olsa da henüz bu metodun bilinmeyen ve geliştirilmesi gereken birçok yönleri bulunmaktadır. Diğer sektörlerde farklı hammaddeler ile gerçekleştirilen eklemeli imalat yöntemi inşaat sektörü içinde ilham olmuştur. Ancak bu sektörlerde yapılan imalatlar göz önünde bulundurulduğunda inşaat sektörüne kıyasla oldukça küçük ölçekte parçalardan oluşmaktadır. 3D AM yöntemi kullanılarak üretilmesi planlanan beton esaslı parçaların makul bir zaman zarfında üretilmesi isteniyorsa katman kalınlıklarının daha büyük olması gerekmektedir. Bu durum şekil stabilitesini sağlamak ve inşa edilebilirlik açısından problem oluşturabilmektedir. Ayrıca burada dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da bu kalınlıkları elde etmeyi sağlayacak ekipmanların da daha büyük ölçekte olacağıdır. Bunun yanında bu üretim tekniği henüz gelişme aşamasında olduğu için pahalı başlangıç maliyetleri gerektirmektedir. Kullanılan yöntemler, ekipmanlar ve karışımlar tamamen geliştirildiğinde ve daha fazla tecrübe kazanıldığında, üretim maliyetlerinin oldukça düşeceği tahmin edilmektedir.

Katmanlı üretimde, betonun nozülden çıkış hızı ile nozülün hareket hızı birbiriyle uyumlu ve optimum değerlere sahip olmalıdır. Bu hız değerlerinin optimum değerlerden hızlı olması durumunda süreklilik sağlanamamakta ve üretim hatalı olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise mevcut katman üzerine diğer katmanların yerleştirilmesi durumunda şekil stabilitesini koruması gerekliliğidir. Tabakaların yerleştirilmesi arasında geçen zamanın artması şekil stabilitesi açısından olumlu etkiye sahiptir. Ancak iki tabaka arasında geçen bu sürenin çok fazla olması durumunda ise tabakalar arası yeterli bağ dayanımı oluşmamaktadır. Bu nedenle bu sürenin optimum bir değerde olması istenmektedir. Tüm bu ekipman ve üretim parametrelerinin yanında karışım parametreleri de şekil stabilitesi için büyük öneme sahiptir.

3D AM yönteminde kullanılan karışımların nozülden çıkmadan önce yeterli akışkanlıkta nozülden çıktığı andan itibaren ise yüksek akma gerilmesine sahip olarak şekil stabilitesini sağlaması gerekmektedir. Tiksotropik özellik olarak adlandırılan bu durumun 3D AM için kullanılan karışımlarda bulunması büyük bir öneme sahiptir. Bununla birlikte, 3D AM

yöntemi ile mevcut durumda ancak çok özel ekipmanlar ile üretim esnasında sürekli donatı kullanılabildiğinden dolayı karışımda çekme dayanımı açısından yeterli dayanımı sağlamak amacıyla çeşitli lifler karışıma ilave edilmektedir. Ancak 3D AM yöntemi için kullanılan karışımlarda liflerin ne oranda kullanılması gerektiği, homojenliğin sağlanması hususunda araştırmalar devam etmektedir. Tüm bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda 3D AM yöntemi açısından hem ekipman hem karışım hem de üretim parametreleri açısından birçok gereklilik bulunmaktadır. Bu nedenle 3D AM karışımları için taze ve sertleşmiş durumda gerekli olan özellikleri bünyesinde bulunduracak karışımlar üzerinde birçok çalışma yapılması gerekmektedir.

4-GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

3-boyutlu eklemeli beton imalatı yöntemi ile ilgili ülkemizde henüz bilgimiz dahilinde bir çalışma olmamakla birlikte, çok yeni bir yöntem olmasına karşın, uluslararası araştırmacılar ve akademisyenler tarafından oldukça rağbet gösterilen bir çalışma alanıdır. Daha çarpıcı bir ifade ile henüz emekleme evresinde olan bu yöntem birçok avantaja sahip olmakla beraber, çok sayıda dezavantajı da vardır. Yönteme ilişkin geliştirilmesi gereken hususları şu şekilde sıralanabilir.

1) Her ne kadar küçük ölçekli uygulamaların yapıldığı bilinse de büyük ölçekli uygulamaların sayısı henüz kayda değer seviyelere ulaşmamıştır. Büyük ölçekli çalışmalara uygun karışım ve makine gelişimi için çok sayıda araştırma yapılıp optimum koşullar belirlenerek, uygun cihazlar geliştirilmelidir. Bu sayede büyük ölçekli uygulamaların sayısı artırılabilir.
2) Eklemeli imalatta yüzey düzgünlüğü sağlamak oldukça zordur, imalat sonrasında sıva ile yüzeylerin düzeltilmesi gerekmektedir. İmalat sonrası bu yüzey düzeltme işlemini ortadan kaldıracak yönde çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Uygun karışım ve gelişmiş makineler ile gelecekte bu sorun aşılacaktır.
3) Gerekli tiksotropik ve reolojik özellikleri elde etmek oldukça zor olmakla birlikte, yapılan çalışmalarla en ekonomik ve optimum şartları sağlayan katkılar tespit edilerek, fabrikasyona uygun bir çalışma sahası haline dönüştürülmesi gerekmektedir.
4) Sürekli donatının kullanımına ilişkin olarak daha fazla çalışma yapılarak, uygun karışım oranı ve geliştirilecek ekipman ile sürekli donatılı 3D AM üretimine geçilmiş olacaktır. Bu durum ise inşaat sektörüne ivme kazandıracaktır.

Eklemeli imalata ilişkin olarak yukarıda ifade edildiği gibi daha fazla çalışmanın yapılması ile yöntemin eksik yönleri giderilecek ve zamanla yöntem geleneksel üretim yönteminin yerini kısmen de olsa alabilecektir. Bu sayede, kalıp maliyeti, işçilik ücreti ve iş kazaları azalacak, zamandan tasarruf sağlanacaktır. Bu derleme çalışmasında, 3D AM yönteminin yapı teknolojisinde geçmişten günümüze geçirdiği süreç hakkında genel bir bilgi verilerek yöntemin avantajları, geliştirilmesi gereken yönleri hakkında çeşitli bilgiler verilmiş olup, 3D AM yönteminin gelecekte yapı teknolojisinde yaygın olarak kullanılacağı düşünülmektedir. Bu manada, bu derleme çalışmasının ülkemiz açısından eklemeli imalat yöntemine farkındalık sağlayacağı da düşünülmektedir.

5-KAYNAKÇA

ASTM F2792-10, 2013. "Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies", American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

Annapareddy, A., Biranchi, P., Ting, A. G. H., Li, M., Tan, M. J. 2018. "Flow and mechanical properties of 3D printed cementitious material with recycled glass aggregates". Proceedings of the 3rd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2018), 68-73.

Bester F.A. (2018). Benchmark Structures For 3D Printing.Thesis for: Bachelors in Civil Engineering.University of Stellenbosch.p.97.

Biernacki, J.J., Bullard, J.W., Sant, G., Brown, K., Glasser, F.P., Jones, S., Ley, T., Livingston, R., Nicoleau, L., Olek, J., Sanchez, F., Shahsavari, R., Stutzman, P.E., Sobolev, K., Prater, T. 2017. "Cements in the 21st Century: Challenges, Perspectives, and Opportunities", Journal of the American Ceramic Society, 100 (7), 2746-2773.

Bong, S. H., Nematollahi, B., Nazari, A., Xia, M., Sanjayan, J. G. 2018. "Fresh and Hardened Properties of 3D Printable Geopolymer Cured in Ambient Temperature", In RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication, Springer, Cham, 3-11.

Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., Salet, T. 2016. "Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing", Virtual and Physical Prototyping, 11 (3), 209-225.

Bos, F. P., Ahmed, Z. Y., Wolfs, R. J., & Salet, T. A. (2018). 3D printing concrete with reinforcement. In *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet* (pp. 2484-2493). Springer, Cham

Buswell, R. A., Soar, R.C., Gibb, A., Thorpe, T. 2007. "Freeform construction: Mega-scale rapid manufacturing for construction", Automation in Construction, 16, 224-231.

Charron, K. (2015). "WinSun China builds world's first 3D printed villa and tallest 3D printed apartment building." 3ders.org, (May 18, 2015).

Costanzi, C.B., Ahmed, Z.Y., Schipper, H.R., Bos, F.P., Knaack, U., Wolfs R.J.M. (2018). 3D Printing Concrete on temporary surfaces: The design and fabrication of a concrete shell structure. Automation in Construction. v.94-p:395-404.

Evans, M.A., Ian Campbell, R. 2003. "A comparative evaluation of industrial design models produced using rapid prototyping and workshop-based fabrication techniques", Rapid Prototyping Journal, 9 (5), 344-351.

Demyanenko, O., Sorokina, E., Kopanitsa, N., & Sarkisov, Y. (2018). Mortars for 3D printing. In *MATEC Web of Conferences*(Vol. 143, p. 02013). EDP Sciences.

Gosselin, C., Duballet, R., Roux, P., Gaudillière, N., Dirrenberger, J., Morel, P., (2016). Large scale 3D printing of ultra-high performance concrete – a new processing route for architects and builders, Mater. Design 100 (2016) 102–109.

Hojati, M., Radlinska, A., Nazarian, S., Duarte, J., Memari, A., Meisel, N., Bilén, S., 2018 "Design and 3D Printing Of Two-Part Geopolymer Mortar", 1st International Conference on Concrete and Digital Fabrication Digital Concrete 2018

Kashani, A., T. D. Ngo. 2018. "Optimisation of mixture properties for 3D printing of geopolymer concrete." ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, IAARC Publications, 35, 1-8.

Kazemian, A., Yuan, X., Cochran, E., Khoshnevis, B. 2017. "Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture", Construction and Building Materials, 145, 639-647.

Khoshnevis, B. 2004. "Automated construction by contour crafting—related robotics and information Technologies", Automation in Construction, 13, 5-19.

Krausea, M., Ottoa, J., Bulgakov, A., Sayfeddine, D. (2018). Strategic optimization of 3D concrete printing using the method of CONPrint3D. 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018).

Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Gibb, A.G., Thorpe, T. 2012a. "Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete", Materials and Structures, 45 (8), 1221-1232.

Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R. A., Law, R., Gibb, A.G., Thorpe, T. 2012b. "Hardened properties of high-performance printing concrete", Cement and Concrete Research, 42 (3), 558-566.

Lim, S., Le, T., Webster, J., Buswell, R., Austin, A., Gibb, A., Thorpe, T. 2009. "Fabricating construction components using layered manufacturing technology", In Global Innovation in Construction Conference, 512-520.

Lim, S., Buswell, R.A., Le, T.T., Austin, S.A., Gibb, A.G., Thorpe, T. 2012. "Developments in construction-scale additive manufacturing processes", Automation in Construction, 21, 262-268.

Lim, S., Buswell, R.A., Valentine, P.J., Piker, D., Austin, S.A., De Kestelier, X. 2016. "Modelling curved-layered printing paths for fabricating large-scale construction components", Additive Manufacturing, 12, 216-230.

Lloret, E., Shahab, A.R., Linus, M., Flatt, R.J., Gramazio, F., Kohler, M., Langenberg, S. 2015. "Complex concrete structures: Merging existing casting techniques with digital fabrication", Computer-Aided Design, 60, 40-49.

Ma, G., Wang, L., (2017a) "A critical review of preparation design and workability measurement of concrete material for largescale 3D printing". Frontiers of Structural and Civil Engineering.

Ma, G. , Li, Z., Wang L. (2017b) Printable properties of cementitious material containing copper tailings for extrusion based 3D printing. Construction and Building Materials, 162, p:613-627.

Ma, G., Li, Z., Wang, L., Bai, G. (2019). "Micro-cable reinforced geopolymer composite for extrusion-based 3D printing", Materials Letters, 235, 144-147.

Marchment, T., Xia, M., Dodd, E., Sanjayan, J., & Nematollahi, B. (2017, June). Effect of delay time on the mechanical properties of extrusion-based 3D printed concrete. In *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Taipei, Taiwan* (Vol. 28).

Marchment, T., Sanjayan, J. G., Nematollahi, B., Xia M. (2019). "Interlayer Strength of 3D Printed Concrete: Influencing Factors and Method of Enhancing". 3D Concrete Printing Technology. Chapter 12.

Malaeb, Z., Hachem, H., Tourbah, A., Maalouf, T., Zarwin, N.E., Hamzeh, F. (2015). "3D concrete printing: Machine and mix design", International Journal of Civil Engineering, 6 (6), 14-22.

Nematollahi, B., Xia, M., Sanjayan, J. (2017). Current progress of 3D concrete printing Technologies, in: Proceedings of 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Taiwan 2017, pp. 260–267.

Nematollahi, B., Xia, M., Sanjayan, J., Vijay, P. 2018a. "Effect of type of fiber on inter-layer bond and flexural strengths of extrusion-based 3D printed geopolymer", In Materials Science Forum Trans Tech Publications, 939, 155-162.

Nematollahi, B., Xia, M., Bong, S. H., Sanjayan, J. 2018b. "Hardened Properties of 3D Printable 'One-Part' Geopolymer for Construction Applications", In RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication, Springer, Cham, 190-199.

Nematollahi, B., Vijay, P., Sanjayan, J., Nazari, A., Xia, M., Naidu Nerella, V., Mechtcherine, V. 2018c. "Effect of Polypropylene Fibre Addition on Properties of Geopolymers Made by 3D Printing for Digital Construction", Materials, 11 (12), 2352.

Nerella ,V.N., Beigh, M.A.B., Fataei, S., Mechtcherine, V. (2018). "Strain-based approach for measuring structural build-up of cement pastes in the context of digital construction". Cement and Concrete Research. V-115 ,Pages 530-544

Oxman, N., Duro-Royo, J., Keating, S., Peters, B., Tsai, E. 2014. "Towards robotic swarm printing", Architectural Design, 84 (3), 108-115.

Panda, B., Paul, S. C.,Tan, M. J. 2017a. "Anisotropic mechanical performance of 3D printed fiber reinforced sustainable construction material", Materials Letters, 209, 146-149.

Panda, B., Paul, S.C., Hui, L.J., Tay, Y.W.D., Tan, M.J. 2017b. "Additive manufacturing of geopolymer for sustainable built environment" Journal of Cleaner Production, 167, 281-288.

Panda, B., Tan, M. J. 2018. "Experimental study on mix proportion and fresh properties of fly ash based geopolymer for 3D concrete printing", Ceramics International, 44 (9), 10258-10265.

Panda, B., Paul, S. C., Mohamed, N. A. N., Tay, Y. W. D., Tan, M. J. 2018a. "Measurement of tensile bond strength of 3D printed geopolymer mortar" Measurement, 113, 108-116.

Panda, B., Unluer, C., Tan, M. J. 2018b. "Investigation of the rheology and strength of geopolymer mixtures for extrusion-based 3D printing", Cement and Concrete Composites, 94, 307-314.

Panda, B., Mohamed, N. A. N., Tan, M. J. 2018c. "Effect of 3d printing on mechanical properties of fly ash-based inorganic geopolymer", In International Congress on Polymers in Concrete, Springer, Cham, 509-515.

Panda, B., Mohamed, N. A. N., Tay, Y. W. D., Tan, M. J. 2018d. "Bond Strength in 3D Printed Geopolymer Mortar". In RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication, Springer, Cham, 200-206.

Paul, S.C., Tay, Y.W.D., Panda, B., Tan, M.J. 2018. "Fresh and hardened properties of 3D printable cementitious materials for building and construction", Archives of Civil and Mechanical Engineering, 18 (1), 311-319.

Papachristoforou, M., Mitsopoulos, V., & Stefanidou, M. (2018). Evaluation of workability parameters in 3D printing concrete. *Procedia Structural Integrity*, *10*, 155-162.

Pegna, J. 1997. "Exploratory investigation of solid freeform construction", Automation in construction, 5 (5), 427-437.
Perrot, A., Rangeard, D., Pierre, A. 2016. "Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques", Materials and Structures, 49 (4), 1213-1220.

Qutaifi, S. A., Nazari, A., Bagheri, A. (2018). Mechanical properties of layered geopolymer structures applicable in concrete 3D printing. Construction and Building Materials. v.176-p:690-699.

Salet, T. A. , Zeeshan Y. Ahmed, Freek P. Bos & Hans L. M. Laagland (2018) Design of a 3D printed concrete bridge by testing, Virtual and Physical Prototyping, 13:3, 222-236.
Sanjayan, J. G., Nematollahi ,B., Xia, M., Marchment, T. (2018). "Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete". Construction and Building Materials.172,

Shakor, P., Sanjayan, J., Nazari, A., Nejadi, S. 2017. "Modified 3D printed powder to cement-based material and mechanical properties of cement scaffold used in 3D printing", Construction and Building Materials, 138, 398-409.

Skibicki, S., Kaszyńska, M., & Techman, M. (2018). Maturity testing of 3D printing concrete with inert microfiller. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 219, p. 03008). EDP Sciences.

Soltan, D.G. , Li V. C. (2018).A self-reinforced cementitious composite for building-scale 3D printing. Cement and Concrete Composites. 90 (2018) ,1-13.

Tay, Y.W. D., Panda, B., Paul, S.C., Tan, M.J., Qian, S.Z., Leong, K.F., Chua, C.K. 2016. "Processing and properties of construction materials for 3D printing". In Materials Science Forum, 861, 177-181.

Tay, Y.W.D., Panda, B., Paul, S.C., Mohamed, N.A.N., Tan, M.J., Leong, K.F. 2017. "3D printing trends in building and construction industry: a review", Virtual and Physical Prototyping, 12 (3), 261-276.

Tay, Y. W. D., Ting, G. H. A., Qian, Y., Panda, B., He, L., Tan, M. J. (2018): Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete, Virtual and Physical Prototyping.

Tay, Y. W. D., Ting, G. H. A., Qian, Y., Panda, B., He, L., & Tan, M. J. (2019). Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete. *Virtual and Physical Prototyping*, *14*(1), 104-113.

Toklu, Y. C., Çerçevik, A.E., Şahinöz M. (2017). *Determination of the Materials that Can Be Used in Automated Construction Production Technology. Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences Volume 21, Issue 1, 51-57, 2017*

Van Zijl, G.P.A.G., Paul, S.C., Tan, M.J. 2016. "Properties of 3D printable concrete," *In* "Proceeding for 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM)". Singapore, pp. 421-426.

Valle, P., Alvarez, F.P., Alonso, M., Del Coz, J.J. (2018). Numerical study of the interfaces of 3D-printed concrete using discrete element method. 12th International Conference on Advanced Computational Engineering, ACEX 2018 At: Amsterdam, The Netherlands.

Wangler, T., Lloret, E., Reiter, L., Hack, N., Gramazio, F., Kohler, M., Bernhard, M., Dillenburger, B., Buchli, J., Roussel, N., Flatt, R. 2016. "Digital concrete: opportunities and challenges", 1, 67-75.

Wolfs, R.J., Bos, F.P., Van Strien, E.C., Salet, T.A. 2018a. "A Real-Time Height Measurement and Feedback System for 3D Concrete Printing", In High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet, 2474-2483.

Wolfs, R. J. M., Bos, F. P., & Salet, T. A. M. (2018b). Early age mechanical behaviour of 3D printed concrete: Numerical modelling and experimental testing. *Cement and Concrete Research*, *106*, 103-116.

Wolfs, R. J. M., Bos, F. P., & Salet, T. A. M. (2019). Hardened properties of 3D printed concrete: The influence of process parameters on interlayer adhesion. *Cement and Concrete Research*

Zareiyan, B., Khoshnevis, B. 2017. "Interlayer adhesion and strength of structures in Contour Crafting-Effects of aggregate size, extrusion rate, and layer thickness", Automation in Construction, 81, 112-121.

Zhang, Y., Liu, G., Yang, Y., Wu, M., & Pang, B. (2018). Fresh properties of a novel 3D printing concrete ink. *Construction and building materials*, *174*, 263-271.

Kazınmış Asfalt Malzemelerin Beton Karışımında İri Agrega Yerine İkame Edilmesinin Betonda Ultra Ses Geçiş Hızına Etkisi (Oral)

Uğur CANPOLAT[1], Aysun Dilan Gergerli[2], Mehmet Fatih ŞAHAN[3]

[1,3] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman/Türkiye
[2]Kahta Belediyesi, Adıyaman/Türkiye,
Emails: cnpltugur@gmail.com, dilangergerli@hotmail.com, fatihsahan@gmail.com

Abstract

Bu çalışmada doğal agrega kullanımının azaltılması ve oluşan atık malzemelerin geri dönüştürülmesine katkı sağlamak amacıyla karayolu kaplamalarının kazınması sonucu ortaya çıkan kazınmış asfalt malzemelerin (KAM) sadece elenmek suretiyle beton karışımında iri agrega yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. KAM'nin yeniden kullanılması ile hem doğal kaynakların ve çevrenin korunmasına kısmen katkı sağlanabilir hem de KAM'nin geri dönüştürülmesi maliyetsiz olarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde 22.4–4 mm boyutlarındaki KAM, doğal agrega yerine % 0, 5, 10, 20 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Üretilen beton numuneleri 7 ve 28 gün suda küre tabi tutulmuş, ardından farklı sıcaklıklarda (25°C, 50°C, 75°C) 24 saat süreyle etüvde bekletilmiş ve akabinde numunelerin ultra ses geçiş hızları elde edilmiştir. Bu çalışmada, agrega yerine ikame edilen kazınmış asfalt malzeme artışının ve kür sonrası numunenin maruz kaldığı ısı artışının ultra ses geçiş hızlarını arttırdığı ortaya çıkmıştır.

Keyword(s): Kazınmış asfalt malzeme, Geri dönüşüm, Ultra ses geçiş hızları

1. Giriş

Yeniden değerlendirilebilme olanağı olan atıkların çeşitli işlemlerden geçirilerek yeniden kullanılması ya da üretim sürecine yeniden dâhil edilmesi işlemi olan Geri Dönüşüm ülke ekonomisinde önemli bir rol oynar. Geri dönüşüm işlemi aynı zamanda katı atıkların depolanması ve taşınması gibi sorunları da engeller. Atık malzemelerin geri dönüşümü işlemi inşaat mühendisliği çerçevesinde ele alındığında; doğal agrega kaynaklarının azalmaya başlaması, atık malzemelerin elden çıkarılmasının maliyet gerektirmesi gibi sorunlar, atık malzemelerin beton içerisinde değerlendirilmesi düşüncesini cazip hale getirmiştir. Betonun yaklaşık olarak %75' inin agrega olduğu dikkate alındığında atık malzemelerin agrega yerine ikame edilmesinin ne denli önemli olduğu ortaya çıkar.

Yaşlanarak bozulan asfalt yollarda üst kaplama kazınarak alınır ve bunun yerine yeni asfalt karışımı serilerek sıkıştırılır. Kazınan asfalt kaplamalar genelde atık malzeme sahalarında depolanmaktadır. Açık sahalarda depolanan kazınmış asfalt malzemeler içerisindeki petrol esaslı bitüm nedeniyle zaman içinde farklı mevsim şartları nedeniyle yeraltı sularına zarar verebilmekte ve yeraltı sularımız kirlenebilmektedir. Kazınan eski asfalt kaplamaların bitümü özel yöntemlerle asfalttan ayrılarak da tekrar kullanılabilmektedir. Bozulmuş asfalt

kaplamaların kazınarak yeniden kullanılması ile yeni malzeme ihtiyacında azalma olur. Böylece doğal kaynakların korunmasına ve atık sahalarının oluşumunun engellenmesine katkı sağlanmış olunur (Güngör ve diğ. 2008). Genel olarak atık malzemelerin beton karışımında kullanılabilirliği üzerine son zamanlarda pek çok çalışma yapılmış olup bu tür uygulamalar oldukça yaygın hale gelmiştir. Beton içerisinde kullanılan atık malzemeler agrega veya katkı olarak değerlendirilmektedir. Kazınmış asfalt malzemelerin mevcut yolların bakımında ya da yeni yolların yapımında bitümlü sıcak karışımın içerisinde tekrar kullanılması oldukça yaygın bir kullanım şeklidir (Işıkdağ, B. 2009). Beton basınç dayanımı ile ultra ses hızı arasında tek bir korelasyon yoktur. Korelasyon beton karışım özelliklerine (çimento tipi, agrega tipi, karışım oranları vs.) göre değişmektedir (Whitehurst, 1951). Trtnik ve diğ. (2009), beton basınç dayanımı ile ultra ses geçiş hızı (UGH), sönüm katsayıyı gibi betonun akustik özellikleri arasında bir regresyon analiz yapmışlardır. Rajagopalan ve diğ. (1973) belli başlı tipik karışımlar için UGH ile beton basınç dayanımı arasında korelasyonlar önermişlerdir. Tharmaratram ve Tan.(1990), yaptıkları çalışmada UGH ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki için deneye dayalı bir denklem önermişlerdir. Güçlendirme işi için ürettiği betondan küp numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde hem basınç hem de UGH testleri yapılarak deneye dayalı denklemler geliştirmişlerdir.

Bu çalışma deneysel bir çalışma olup bu kapsamda yapılan deneyler için kazınmış asfalt malzemeler (KAM) hiçbir işleme tabi tutulmadan sadece elenmiş ve 4.0-22.4 mm elek arasında kalan kısım kullanılmak üzere alınmıştır. Deneylerde; agrega yerine ikame edilecek KAM % 0, 5, 10, 20 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Deneylerde CEM II 42.5 R çimento ile 350 dozajlı beton karışımları üretilmiştir. Çalışma doğrultusunda farklı ortam ısılarına maruz (25°C, 50°C ve 75°C) kazınmış asfalt ikameli beton numunelerin ultra ses geçiş hızları bulunmuştur.

2. Deneysel Çalışma

Deneyler için hazırlanan beton karışımlarında iri agrega (4–22.4 mm kırma taş) %60 ince agrega (0–4 mm dere kumu) ise %40 oranında kullanılmıştır. Beton üretimlerinde Karayolları 57. Şube Şefliğinden temin edilen KAM kullanılmıştır. Beton karışımı için kontrol numuneleri, CEM II 42.5 R Portland çimentosu (Ç), dere kumu 0–4 mm (K), 11.2–22.4 mm kırma taş (KT I) ve 4–11.2 mm kırma taş (KT II) kullanılarak hazırlanmıştır. KAM katkılı karışımlarda KT I ve KT II kırma taşlarının yerine hacimce % 5 (KAM 5), %10 (KAM 10), %20 (KAM 20) ve %30 (KAM 30) oranlarında KAM kullanılmış ve KAM katkılı 4 farklı karışım elde edilmiştir. Beton karışımları için kullanılan agregaların özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Beton karışımları ıçın kullanılan agregaların özellikleri

Malzeme	Özgül Ağırlık (t/m^3)	Su Emme Oranları (%)	Doğal Nem Oranları (%)	Hacimce Agrega Oranları (%)
Kırmataş 11.2–22.4 mm (KT I)	2.60	1.50	0.08	30
Kırmataş 4–11.2 mm (KT II)	2.60	1.75	0.08	30
Kum 0–4 mm (K)	2.70	1.50	0.80	40
KAM 4–22.4 mm	2.42	0.70	0.05	

Hacimce % 5 (KAM 5), %10 (KAM 10), %20 (KAM 20) ve %30 (KAM 30) oranlarında KAM kullanılarak dökülen beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'nin incelenmesi sonucunda kazınmış asfalt malzeme (KAM) miktarının artması birim hacim ağırlığı düşürmüştür.

Tablo 3. İçerisine (%5,10,20,30) kazımış asfalt katılan numunelerin birim hacim ağırlıkları

	KONTROL	KAM 5	KAM 10	KAM 20	KAM 30
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kg/m^3)	2411.85	2405.93	2400.00	2376.30	2355.56

Hacimce % 5 (KAM 5), %10 (KAM 10), %20 (KAM 20) ve %30 (KAM 30) oranlarında KAM kullanılarak dökülen beton numuneleri 24 saat oda ısısında bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmış, 7 ve 28 gün süreyle havuzda küre tabi tutulmuştur. Küp numuneler, 7. ve 28. günün sonunda kür havuzundan çıkarılarak, bir set oda sıcaklığında, bir set 50°C'de etüvde, diğer bir set ise 75°C'de 24 saat süreyle etüvde bekletildikten sonra ultra ses geçiş hızı deneylerine tabi tutulmuştur. Küp numunelerin 7 ve 28 günlük kür sonunda 24 saat süreyle bir set oda sıcaklığında bekleyen numunelerin ultra ses geçiş hızları Tablo 3'te verilmiştir. Küp numunelerin 7 ve 28 günlük kür sonunda 24 saat süreyle 50°C ısıya maruz kalmış haldeki ultra ses geçiş hızları Tablo 4'te gösterilmiştir. Küp numunelerin 7 ve 28 günlük kür sonunda 24 saat süreyle 75°C ısıya maruz kalmış haldeki ultra ses geçiş hızları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 3. 7 ve 28 gün sonunda 25°C ısıya maruz kalmış haldeki betonların ultra ses geçiş hızları

Seri No	7 Günlük	28 Günlük
	Ort. Geçiş hızı(µs)	Ort. Geçiş hızı (µs)
KONTROL	32.28	30.82
KAM 5	32.45	31.00
KAM 10	32.65	31.15
KAM 20	32.77	31.47
KAM 30	32.93	31.70

Tablo 4. 7 ve 28 gün sonunda 50°C ısıya maruz kalmış haldeki betonların ultra ses geçiş hızları

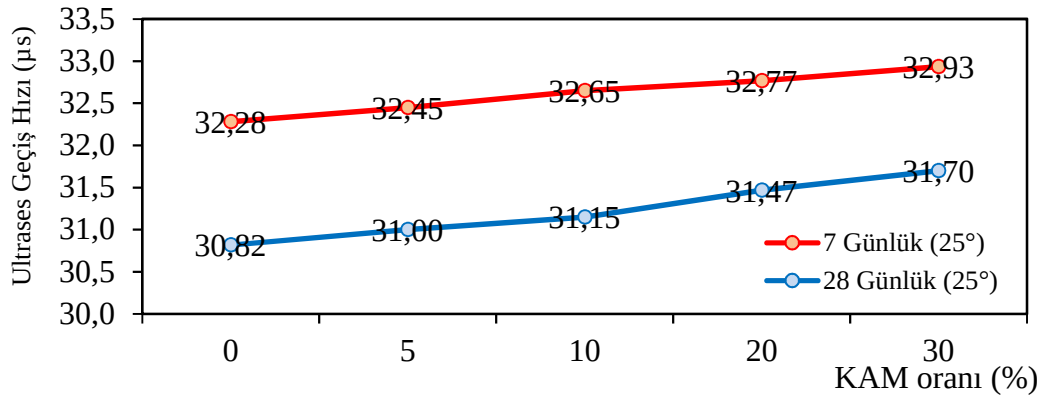
Seri No	7 Günlük	28 Günlük
	Ort. Geçiş hızı (µs)	Ort. Geçiş hızı (µs)
KONTROL	32.93	32.17
KAM 5	33.18	32.47
KAM 10	33.38	32.80
KAM 20	33.55	32.97
KAM 30	33.70	33.22

Tablo 5. 7 ve 28 gün sonunda 75°C ısıya maruz kalmış haldeki betonların ultra ses geçiş hızları

Seri No	7 Günlük	28 Günlük
	Ort. Geçiş hızı (µs)	Ort. Geçiş hızı (µs)
KONTROL	33.68	33.52
KAM 5	34.15	34.02
KAM 10	34.53	34.43
KAM 20	34.70	34.57
KAM 30	34.77	34.68

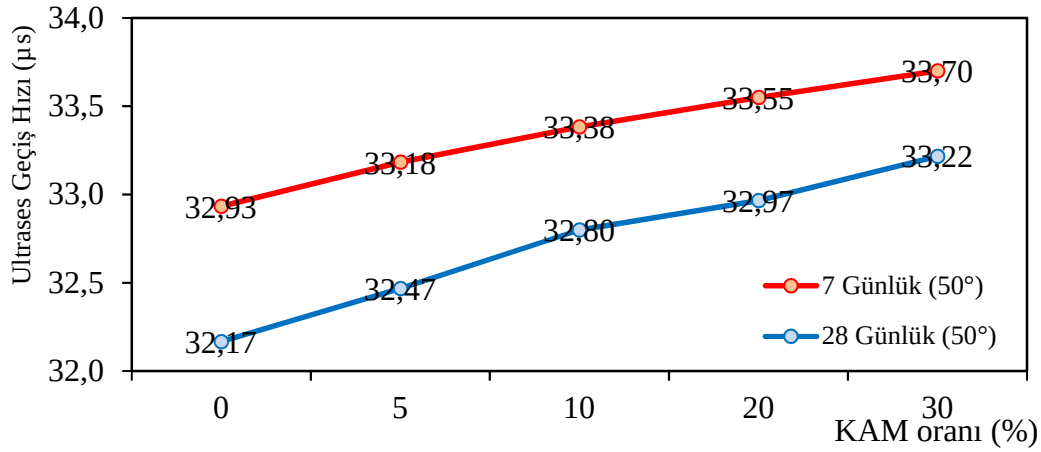
Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'de verilen verilere göre 7 ve 28 gün sonunda farklı ısılara maruz kalan numunelerin içeriğindeki kazınmış asfalt malzeme (KAM) miktarının artması sonucunda ultra ses geçiş hızlarında artış meydana gelmiştir.

Kazınmış asfalt malzemeden (KAM) üretilen beton numuneler, oda sıcaklığı (25°), 50°C, 75°C ısılara maruz kalma durumuna ve içerdiği kam oranına göre ultra ses geçiş hızlarının değişimi grafiklerle de gösterilmiştir. Küp numunelerin 7 ve 28 günlük kür sonunda 24 saat süreyle 25°C ısıya maruz kalmış haldeki ultra ses geçiş hızlarının değişimi Şekil 1'de, 50°C ısıya maruz kalmış haldeki ultra ses geçiş hızlarının değişimi Şekil 2'de, 75°C ısıya maruz kalmış haldeki ultra ses geçiş hızlarının değişimi ise Şekil 3'te verilmiştir.



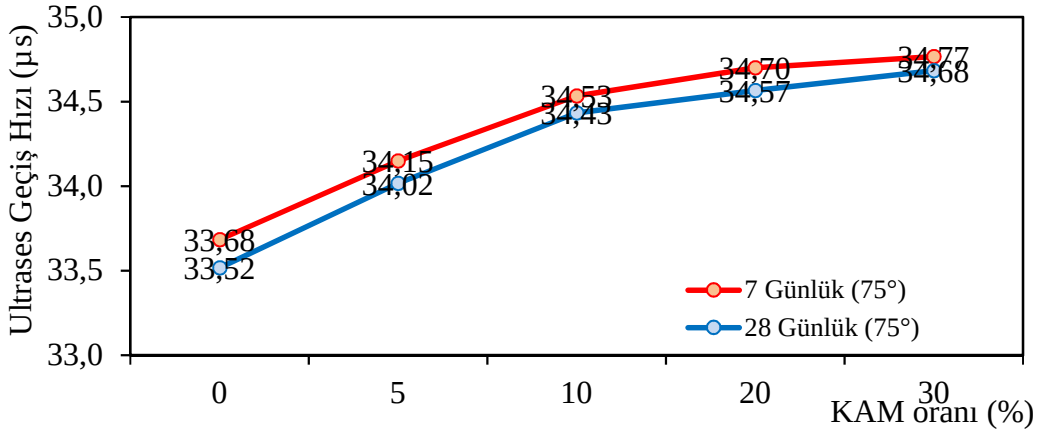
Şekil 1. 7 ve 28 gün sonunda 25 °C ısıya maruz kalmış haldeki betonların ultra ses geçiş hızları

Şekil 1'de gösterilen sonuçlara göre 25°C' de kazınmış asfalt malzeme (KAM) içeriğinin artması betonda ultra ses geçiş hızını arttırmıştır.



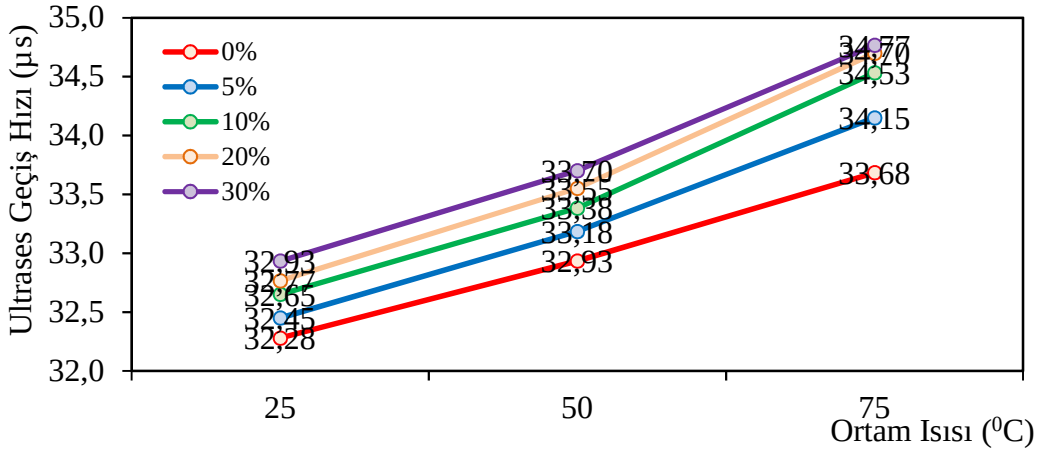
Şekil 2. 7 ve 28 gün sonunda 50 °C ısıya maruz kalmış haldeki betonların ultra ses geçiş hızları

Şekil 2'de gösterilen sonuçlara göre etüvde 50°C 'de 24 saat kalan 7 ve 28 günlük numunelerin ve bu numunelerde kazınmış asfalt malzeme (KAM) içeriğinin artması betonda ultra ses geçiş hızını arttırmıştır.



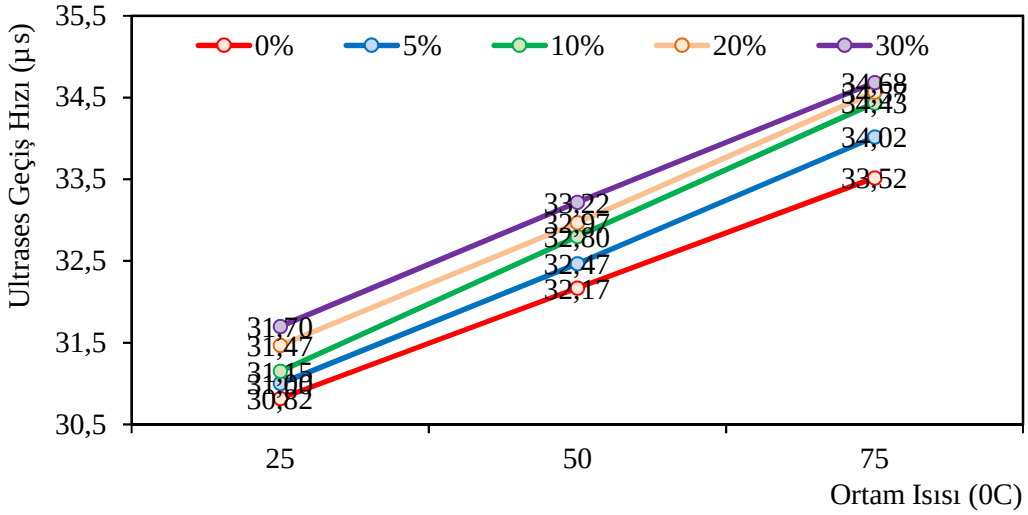
Şekil 3. 7 ve 28 gün sonunda 75 °C ısıya maruz kalmış haldeki betonların ultra ses geçiş hızları

Şekil 3'te gösterilen sonuçlara göre etüvde 75°C 'de 24 saat kalan 7 ve 28 günlük numunelerin ve bu numunelerde kazınmış asfalt malzeme (KAM) içeriğinin artması betonda ultra ses geçiş hızını arttırmıştır.



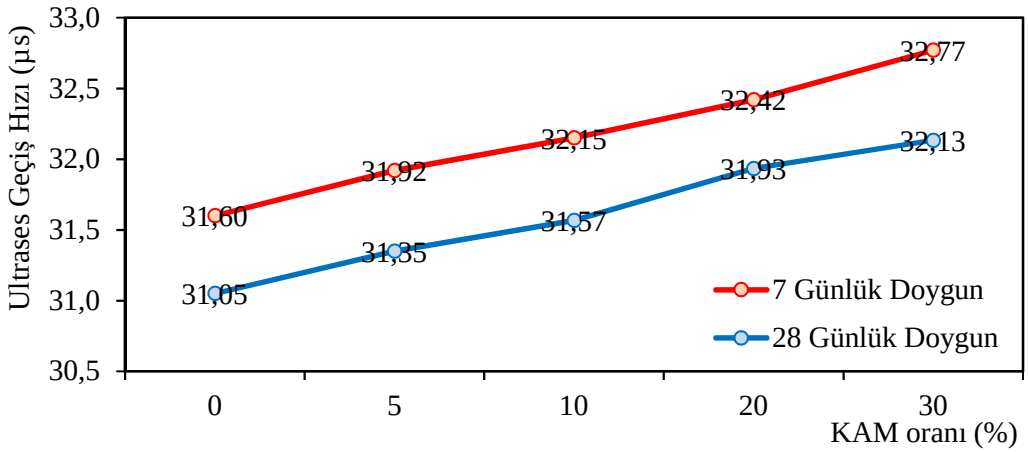
Şekil 4. Ortam ısısına ve KAM içeriğine göre, 25 °C, 50 °C, 75 °C ısıya maruz kalmış 7 günlük betonların ultra ses geçiş hızları

Şekil 4'de gösterilen sonuçlara göre farklı oranlarda kazınmış asfalt malzeme (KAM) içerikleri dikkate alındığında 7 günlük kür sonunda 24 saat boyunca ısıya maruz bırakılması durumunda ısı artışının betonda ultra ses geçiş hızını arttırdığı gözlenmiştir.



Şekil 5. Ortam ısısına ve KAM içeriğine göre, 25 °C, 50 °C, 75 °C ısıya maruz kalmış 28 günlük kuru haldeki betonların ultra ses geçiş hızları

Şekil 5'te gösterilen sonuçlara göre farklı oranlarda kazınmış asfalt malzeme (KAM) içerikleri dikkate alındığında 7 günlük kür sonunda 24 saat boyunca ısıya maruz bırakılması durumunda ısı artışının betonda ultra ses geçiş hızını arttırdığı gözlenmiştir.



Şekil 6. KAM içeriğine göre, 7 ve 28 günlük doygun haldeki betonların ultra ses geçiş hızları

Şekil 6'da gösterilen sonuçlara göre 7 ve 28 günlük doygun numunelerin ve bu numunelerde kazınmış asfalt malzeme (KAM) içeriğinin artması betonda ultra ses geçiş hızını arttırmıştır.

Şekil 1-6'nın incelenmesi sonucunda; kazınmış asfalt malzeme içeriğinin artmasının betonda bulunan boşlukları doldurduğu, betonun yoğunluğunu azalttığı ve bu durumun ultra ses geçiş hızlarını arttırdığı ortaya çıkmaktadır.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada beton karışımına kazınmış asfalt malzeme ikamesi ile üretilen küp numuneler üzerinden elde edilen ultra ses geçiş hızları incelendiğinde;

- Numunelerde kazınmış asfalt malzeme miktarının artması ile birlikte ultra ses geçiş hızlarının arttığı,
- Numunelerin oda sıcaklığından daha yüksek ısılara maruz kalması durumunda ortam ısının artışı ile birlikte numunelerin ultra ses geçiş hızlarının arttığı,
- Kazınmış asfalt malzeme içeriğinin artması betonda bulunan boşlukları doldurmuş, betonun yoğunluğu azalmış, ultra ses geçiş hızlarını arttırdığı,

ortaya çıkmaktadır.

Bilgilendirme

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi BAP birimi tarafından MÜFYL/2015-0002 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S., Dost, Y. (2008). Kazılmış Asfalt Kaplamaların Yeniden Kullanılması. *Karayolu 1. Ulusal Kongresi*, Ankara.

Işıkdağ, B. (2009). Atık asfalt kırıklarının beton yollarda agrega yerine kullanılmasının araştırılması, *Doktora tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

Bedirhanoglu, I., Ilki, A., Pujol, S. and Kumbasar, N., (2010). ,Seismic behavior of joints built with plain bars and low-strength concrete, *ACI Struct. J.*, 107(3), 300-310.

Bedirhanoglu, I., (2014). A practical neuro-fuzzy model for estimating modulus of elasticity of concrete, *Struct.Eng.Mech.*, 51(2), 249-265.

Whitehurst E.A., (1951)., Use of the Soni scope for Measuring Stetting Time of Concrete, *ASTM*, (vol, 51, pp.1166-76).

Neville, A. M., (1995)., Properties of concrete, 4th edition, Longman Group Limited.

Trtnik G., Kavcic F., Turk G., (2009). Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks Ultrasonics (vol. 49, pp. 53–60).

Rajagopalan P.R., Prakash J. and NaramimhanV. (1973). Correlation between ultrasonic pulse velocity and strength of concrete. *Indian Concrete. Journal*, (vol. 47, No. 11, pp. 416–418).

Tharmaratram K. and Tan B.S., (1990)., Attenuation of ultrasonic pulse in cement mortar, *Cement and Concrete Research*,(vol. 20, pp. 335–340).

Demirboga R., Türkmen I. and Karakoc M.B., (2004). Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for highvolume mineral-admixtured concrete. *Cement and Concrete Research*, (vol. 34, No. 12, pp. 2329–2336).

Effects of Hydrated Lime on Reproducibility and Extensiveness of Autogenous Self-healing Materials (Oral)

Mustafa ŞAHMARAN[1], Gürkan YILDIRIM[2], Hüseyin ULUGÖL[3]
[1,3] Department of Civil Engineering, Hacettepe University, Turkey
[2]Department of Civil Engineering, Kırıkkale University, Turkey
Emails: msahmaran@gmail.com, gurkanyildirimgy@gmail.com, hu.ulugol@gmail.com

Abstract

One of the weak points of conventional concrete is cracking tendency, which causes durability problems and reduces the service life of the structure. Using Engineered Cementitious Composites (ECC) is an excellent way to come through these drawbacks of conventional concrete. However, cracking may be encountered in all service life of concrete structures. In this respect, not only the self-healing capacity but also the reproducibility and extensiveness is essential for self-healing ECCs. In this study, the effect of hydrated lime (HL) addition to ECC, which contains Fly Ash (FA) on reproducibility and extensiveness of self-healing ECCs were examined. ECCs containing FA and HL were produced and some of these specimens were tested by resonant frequency and rapid chloride permeability at each preloading cycle. Besides, XRD analyses were conducted to see the chemical formations of self-healing products. It's understood that the addition of HL has greatly increased the reproducibility and extensiveness. Mineral analyses show that healed-cracks of HL added ECCs contain more $CaCO_3$ than C-S-H, compared with ECCs without HL addition.

Keyword(s): Engineered cementitious composites, Autogenous self-healing, Hydrated lime

1. Introduction

Concrete is one of the most popular construction materials in the whole world. Conventional concrete has many advantages such as high strength, fire resistance, high durability and adherence with steel reinforcement. However, conventional concrete has drawbacks like brittle behavior and cracking tendency. Low tensile strength is one of the reasons for micro-cracking. Besides, in case of there is no loading conditions, some micro cracks may occur due to the different modulus of elasticity values of cement paste and aggregate or thermal differentiations (Mehta & Monteiro, 2006). Crack formation causes various problems such as freezing/thawing, sulfate attack and rebar corrosion by accelerating the transport of water and certain chemical species. Moreover, tensile strength and ductility can be diminished by crack formation and therefore service life of concrete structures will be reduced. Under these conditions, the need for repair/maintenance (R&M) of damaged structural members may arise. However, R&M costs are high and additionally, it does not give sufficient solutions always thus, re-repair may be required (Mather & Warner, 2003). In some cases, the cost of R&M is higher than the price of new construction. According to Vision 2020 (2006), cost of R&M of damaged structures ranges between 18 and 21 billion dollars in the USA. Autogenous self-healing is a stable way to prevent R&M need for concrete (Li & Herbert, 2012). One of the types of self-healing is autogenous self-healing,

which provides healing capacity to concrete without any external trigger. In the literature, it's mentioned that optimum crack width is 100 µm (Edvardsen, 1999). It's hard to heal cracks have higher width than 100 µm. In the case of lower crack widths than 100 µm, penetration of moisture and CO_2 will be difficult which are fundamental of autogenous self-healing. ECC is a good way for controlled crack formation under favor of its strain hardening behavior (Şahmaran et al., 2007; Şahmaran and Li, 2007).

There are three fundamentals of autogenous self-healing, which are physical, chemical and mechanical. Physical healing is expanding cement paste by water absorption. However, chemical healing is through the continuing hydration and carbonation. Mechanical healing is due to the coagulation of cracks by broken concrete particles. There are many studies in the literature about the self-healing mechanism and ideal crack width. In this study, reproducibility and extensiveness of self-healing of high amount of fly ash containing cement paste with hydrated lime addition are investigated. While doing this, loading and self-healing cycles are performed on pastes. Resonant frequency (RF) and rapid chloride permeability tests (RCPT) were conducted at each cycle to find out the reproducibility performance of pastes. Extensiveness was assessed by RF measurements from different places of specimens.

2. Experimental Program

2.1. Materials and Proportioning

F type fly ash (FA) with low CaO content which used in this study was obtained from Sugözü thermal power plant in İskenderun Turkey. Chemical content and physical properties of FA is displayed in Table 1. Specimens have constant water to binder ratio (W/B) which is 0.27, FA to Portland cement (PC) ratio is 1.2 and sand to binder (S/B) ratio is 0.36 for all specimens. Mix proportions can be seen in Table 2. ECC_0 indicates the reference specimen and ECC_1 and ECC_2 have 2.5% and 5.0% hydrated lime (CH) content respectively according to total binder content. Poly-carboxylic ether based plasticizer used as high range water reducing admixture (HRWRA). General-purpose CEM I 42.5R Portland cement was used. Chemical content and physical properties of FA and mix proportions of ECCs can be seen in Table 1 and Table 2, respectively. Specifications of poly-vinyl alcohol (PVA) fiber, which used in this study can be seen in Table 3.

Table 1 – Chemical content and physical properties of fly ash

Chemical content (%)								Physical properties	
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	LOI	Specific Gravity	Blaine Fineness
60.8	21.7	3.9	1.7	3.5	0.7	2.0	1.6	2.1	269 m^2/kg

Table 2 – Mix proportions of ECCs

	PC	W/B	S/B	FA/PC	CH (kg/m^3)	HRWRA (kg/m^3)	PVA Fiber (kg/m^3)
ECC_0	1.0	0.27	0.36	1.2	-	3.9	26
ECC_1	1.0	0.27	0.36	1.2	31	3.9	26
ECC_2	1.0	0.27	0.36	1.2	62	3.9	26

Table 3 – Different properties of PVA fibers

Nominal strength	Apparent strength	Diameter	Length	Modulus of elasticity	Elongation at break	Specific gravity
1620 MPa	1092 MPa	39 µm	8 mm	42.8 GPa	6.0 %	1.3

2.2. Preparation of Specimens, Pre-cracking and Tests for Self-Healing Assessment

Each group of specimens was poured in a mixer with a capacity of 100 liters, which can be seen in Figure 1. Hydrated lime was mixed with some amount of mixing water and then stirred with an ultrasonic mixer with the addition of HRWRA for 10 minutes to get more homogeneity. After the addition of solid materials, the mixture was stirred for a further 5 minutes. Finally, stirring for 3 minutes after the addition of PVA fibers was performed.

Figure 1 – Preparation of ECCs

Cylindrical specimens with dimensions of Ø150×300 mm have been produced for RF tests. For RCPT tests, Ø100×50 mm specimens were cut-off from Ø100 × 200 mm cylindrical samples at the end of 28 days. Cubic specimens with the dimensions of 50 mm were used to determine the compressive strength results. All specimens were cured in plastic bags for 28 days. Compressive strength results are 52.8, 59.4 and 66.3 MPa for ECC_0, ECC_1 and ECC_2 respectively. Increasing CH content raises the compressive strength results. This is attributed to the filler effect of CH and additional formation of C-S-H gel, which is due to the reaction between FA and CH. These two effects are in accordance with Antiohos et al. (2008).

Splitting tensile strength of ECCs and deformation capacities were determined before the tests. These results are between 5.8 and 6.1 MPa and deformation capacities are approximately 2.5 mm. RF measurements were performed according to ASTM C215 to find out the self-healing performance of ECCs under repetitive loading. For each group, five specimens were used for RF measurements and two of them were sound (without cracking). However, three of them were subjected to preloading about 70% of the ultimate splitting tensile strength to introduce micro-cracking. This preloading was applied at each cycle of 20 days until 180th day. Specimens were subjected to wetting/drying (w/d) cycles after each preloading. Wetting/drying cycles consist of 24 h of immersing and 24 h of waiting at laboratory conditions.

Rate of healing by which observed RF measurements at surface and middle zone of specimens were compared to assess the extensiveness of self-healing. As can be seen in Figure 2, mean of RF values measured from top and bottom of the cylindrical specimen is called surface RF and mean of RF values measured from the middle point of the cylindrical specimen is called inner RF. Additionally, at each ten w/d cycle, the number of cracks, minimum and maximum crack widths were determined.

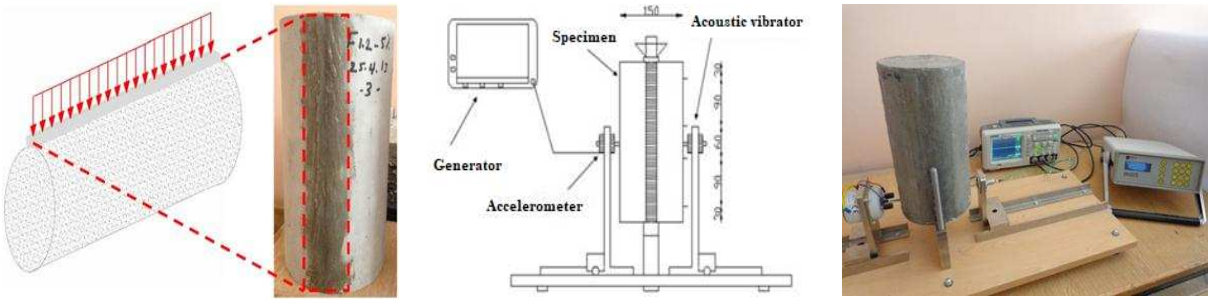


Figure 2 – RF measurements

Reproducibility of self-healing was also evaluated by RCPT according to ASTM C1202 through 28-day-old cylindrical specimens with dimensions of Ø100×50 mm. Before the preloading and w/d cycles, splitting tensile strength and deformation capacities of cylindrical specimens were determined. Then, six specimens were preloaded to introduce micro-cracking and four specimens were left sound. Preloading cycles were performed with w/d cycles, one after the other as in the RF measurements.

3. Results & Discussion

3.1. Resonant Frequency of Unhealed Specimens

Amount of self-healing, which is observed through RF changes, can be seen in Figure 3. Inner RF results for ECC_0, ECC_1 and ECC_2 are 2000, 2000 and 2120 Hz respectively. Surface RF results for ECC_0, ECC_1 and ECC_2 are 2050, 2045 and 2170 Hz also. As can be seen in Figure 3a, sound specimens have a trend to give higher RF results as the number of cycles increases, independently of CH amount. However, rate of this increment decline as cycles continue and this decline is attributed to the consumption of unhydrated cement particles. Additionally, amount of self-healing, according to RF results is higher for surface measurements than inner ones. It is thought that this difference is due to the internal moisture content. According to Jiang et al. (2006), internal moisture gradient is caused by water diffusion and chemical shrinkage in case of lower w/b than 0.40. So it can be said that diffusion of water to the surface is easier than those to the inner sections. Therefore, surface of specimen suffers less from chemical shrinkage than inner sections and consequently, the rate of RF increase at the surface is higher.

Another point for sound specimens is increasing CH content lead to higher RF results. Additional C-S-H formation, which is provided by reactions between silicates from fly ash and CH, provides this increment (Barbhuiya et al., 2009). Besides, CH introduces the filler

effect which provides better particle distribution and micro-structure. Additionally, hydration of CH introduces the formation of flocs which reduce the volume and connectivity of voids.

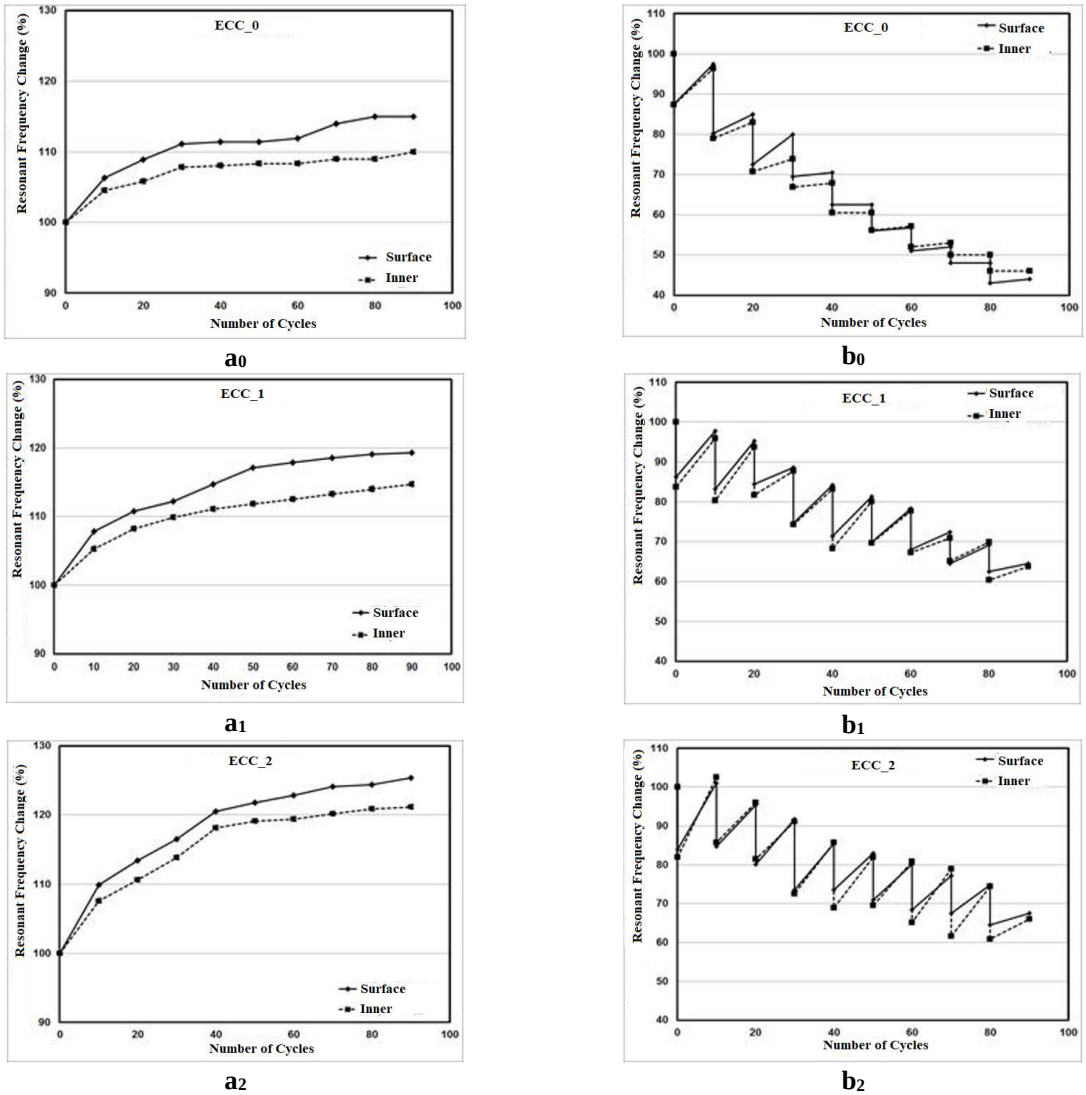


Figure 3 – RF changes after the preloading & w/d cycles
a) Sound specimens b) Preloaded specimens

3.2. Effects of Self-healing on Resonant Frequency

Healing rates of specimens which were preloaded and healed can be seen in Figure 3b. Preloading decrease RF result sharp however, healing raises these low results. Preloading and healing cycles and consequently falling and rising RF results show the presence of reproducibility of self-healing. However, reproducibility is limited by the number of cycles. ECC_0 have reproducibility limited with 30 cycles, but specimens contain hydrated lime which is called ECC_1 and ECC_2 have reproducibility limited with 90 cycles. Additionally, ECC_1 and ECC_2 have higher RF increments with w/d cycles than ECC_0. One of the reasons for high self-healing performance of specimens with hydrated lime is higher pH according to ones without hydrated lime. Higher pH triggers the carbonation, which is a fundamental of autogenous self-healing (Şahmaran et al., 2013). Despite the high fracture

toughness of ECC_1 and ECC_2, which is a drawback for strain-hardening behavior resulting from the CH content, higher results of them is a remarkable situation. However, amount of self-healing decrease as the w/d cycles progress. Reasons of this decrease are consumption of unhydrated cement particles and cracks even more opened. Nevertheless, final RF results of ECC_1 and ECC_2 are 64% and 67% of initial RF results.

RF results of surface and inner section of specimens were compared to assess the extensiveness of self-healing. As can be seen in Figure 3b, healing rates according to RF results are so close to each other for surface and inner section. Despite the increasing number of preloading and w/d cycles, RF measurements from the surface and inner sections gave satisfactory and close results to each other. Thus, it can be said that reproducibility and extensiveness are in the harmony and existence of one does not affect the other.

3.3. Rapid Chloride Permeability Test Results of Unhealed Specimens

Table 4 shows the RCPT results of ECCs which were exposed to 50 cycles of preloading and w/d. RCPT results of the unit with Coulomb (C) means resistance to chloride ion transport. As can be seen in Table 4, all specimens have decreasing RCPT results as cycles take place. All RCPT results of preloaded specimens rise after the preloading (AP). However, w/d periods which take place between preloading cycles heal the specimens and consequently decrease the RCPT results. In addition to this, specimens contain hydrated lime have lower initial and final RCPT results than specimens without hydrated lime. Sound ECC_0 specimens have 4154 and 1597 C initial and final RCPT results. Sound ECC_1 and ECC_2 have initial RCPT results of 3676 and 3200 C and final RCPT results of 711 and 679 C respectively. Figure 4 shows that ECC_1 and ECC_2 have final RCPT results, which are 81 and 79% of their initial values. But final RCPT value of ECC_0 is 62% of its initial value. A high amount of FA in ECCs cause less CH formation due to the cement dilution effect (Song & van Zijl, 2004). But, the addition of CH triggers the pozzolanic reactions of FA and provide a more dense structure.

RCPT is an electrochemical method and according to Shehata et al. (1999), higher pH raises the RCPT results. Nevertheless, RCPT results decrease as the amount of hydrated lime increases. This situation indicates that better hydration reactions provided by the addition of hydrated lime eliminate the drawbacks of higher pH of pore solution.

Table 4 – RCPT results of ECCs

Specimen		Cycle 0		Cycle 10		Cycle 20		Cycle 30		Cycle 40		Cycle 50	
		Zero	AP	BP	AP	BP	AP	BP	AP	BP	AP	BP	AP
ECC_0	Sound	4154	4154	2973	2973	2395	2395	1949	1949	1748	1748	1597	1597
	Preloaded	4082	4925	3126	3980	3053	3806	3142	4040	3578	4226	3998	4331
ECC_1	Sound	3676	3676	2329	2329	1454	1454	1275	1275	1013	1013	711	711
	Preloaded	3593	4289	2496	3204	2303	2876	2163	2706	2159	2573	2265	2692
ECC_2	Sound	3200	3200	2090	2090	1332	1332	1159	1159	923	923	679	679
	Preloaded	3257	3928	2157	2967	2073	2698	1919	2473	1815	2419	1970	2475

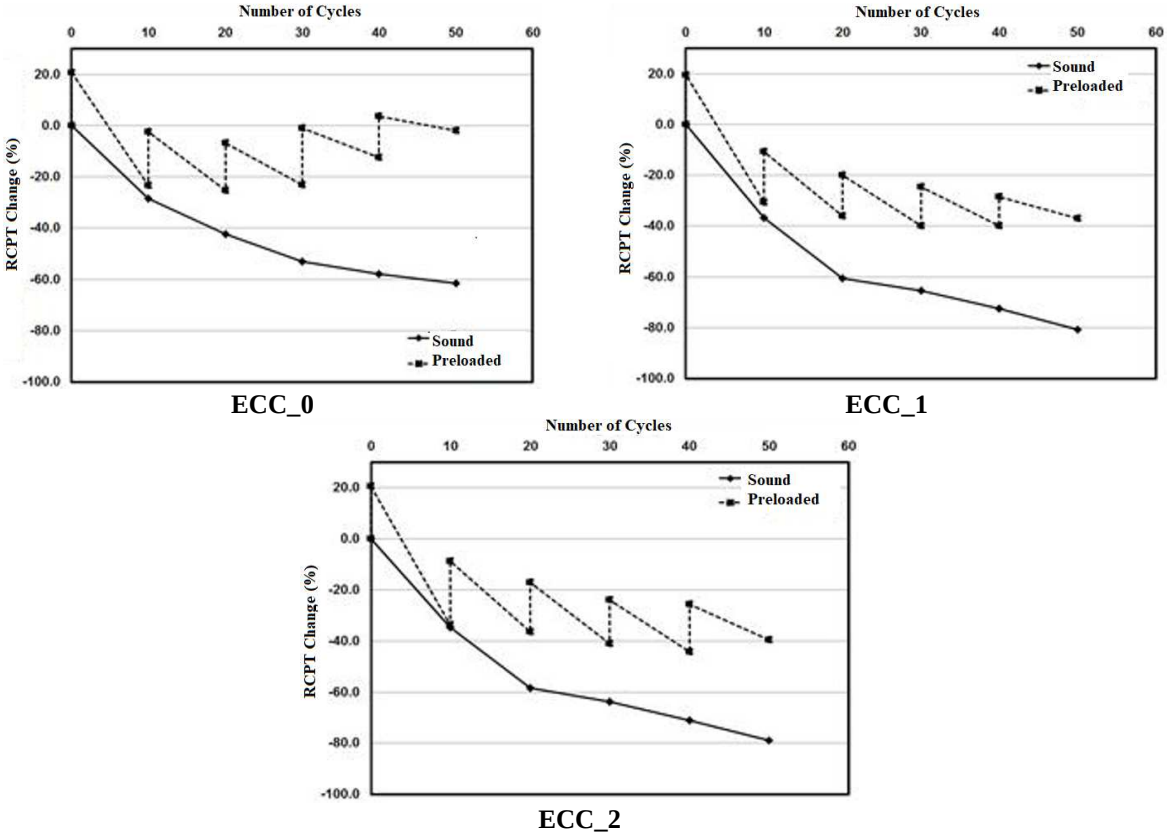


Figure 4 – RCPT changes after the preloading & w/d cycles

3.4. Effects of Self-healing on Rapid Chloride Permeability Results

RCPT changes after preloading and w/d cycles can be seen in Figure 4. ECC_0 has a self-healing performance by RCPT same as RF. Such that, after 30 cycles RCPT results of ECC_0 show that self-healing performance decrease sharp. However, ECC_1 and ECC_2 RCPT results have fallen 40 and 37% of initial results respectively after 50 cycles. RCPT result of ECC_0 after 50 cycles has fallen just 2% of its initial RCPT result. Just like the RF results, the addition of hydrated lime raises the self-healing capability of specimens according to their RCPT results. Hydrated lime containing specimens have a more dense structure and more matrix toughness consequently better adherence between fiber and matrix. This situation introduces less chance to the formation of multiple micro-cracking. Even so, ECC_1 and ECC_2 have better self-healing performance than ECC_0. This result is attributed filler effect and dense structure by which provided through pozzolanic effect.

3.5. Crack Specifications and Microstructure of ECCs

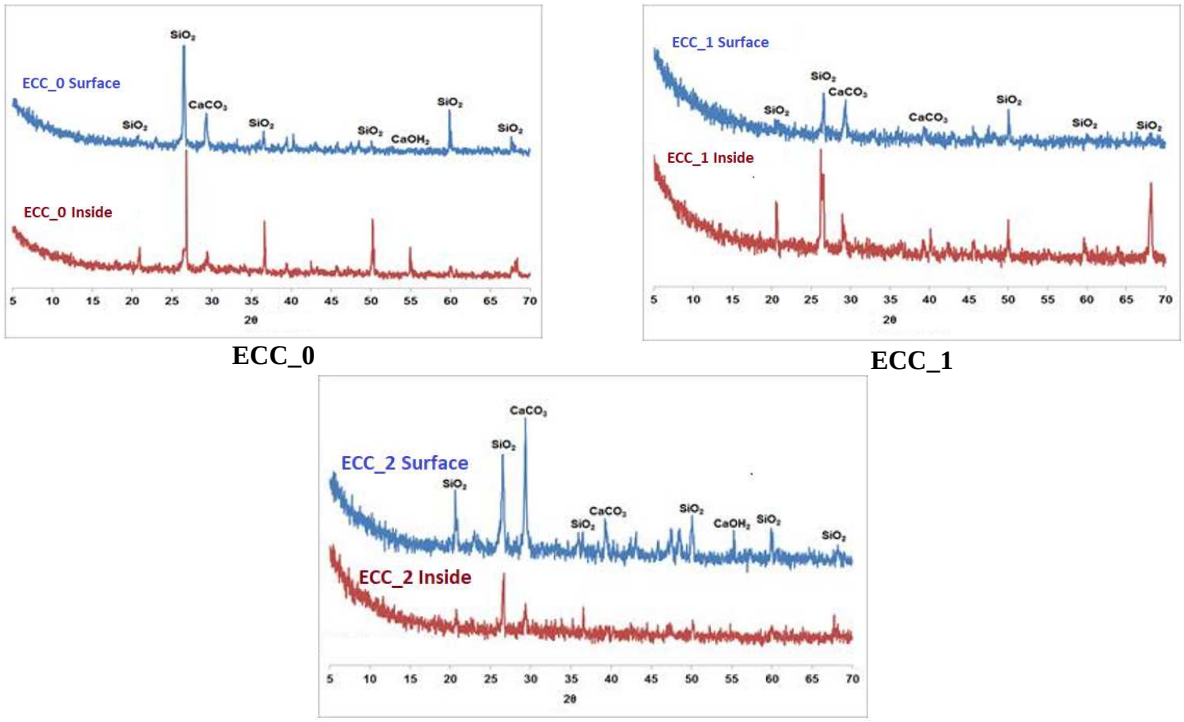
Crack characteristics can be seen in Table 5. widths were measured from cylindrical RF specimens. Increments in number of cracks for hydrated lime containing specimens are lower than ones without hydrated lime. Consequently, ECC_1 and ECC_2 crack widths are higher than crack widths of ECC_0 after all cycles. Such that, at the end of all cycles, preloaded ECC_0, ECC_1 and ECC_2 have crack width of 702 µm, 752 µm and 779 µm respectively. Reason for less number of crack and high crack widths of ECC_1 and ECC_2 is high fracture

toughness, which delays the crack formation and restricts the formation of stable cracks. Another reason for this situation is that hydrated lime increases the adherence between the fibers and matrix. ECC_0 have unreacted spherical FA particles and this case increase the chance of pulling away fibers rather than fracture (Wang & Li, 2007). This case provides the formation of multiple cracks width less width and consequently, high ductility.

If crack widths are inspected, it is seen that ECC_1 and ECC_2 have more crack recovery than ECC_0. Another significant point is that maximum crack widths are lower than 200 µm, which is accepted that can easily be healed (Clear 1985; Edvardsen 1999; Aldea et al., 2000). Considering the reproducibility according to crack healing, cracks of ECCs with hydrated lime width of approximately 80-90 µm, healed five times minimum. Increasing cycles decrease the chance of healing completely however, crack widths have fallen 40-50 µm. As cracks with a width of 40-50 µm heal, there were some new adjacent crack formations. However, cracks with greater widths than 100 µm, have been reformed at the same site.

Table 5 – Crack Characteristics of Preloaded and Healed ECCs

	Cycles	Preloaded				Healed			
		Number of Cracks	Crack Width, µm			Number of Cracks	Crack Width, µm		
			Min	Max	Total		Min	Max	Total
ECC_0	0	4-6	16	138	384	-	-	-	-
	10	4-7	21	127	405	2-5	14	85	272
	20	4-6	28	143	460	2-5	38	93	309
	30	4-7	17	132	510	3-5	21	107	405
	40	4-8	15	138	550	3-6	16	118	478
	50	4-8	23	144	585	3-6	24	125	525
	60	5-8	27	156	627	3-6	16	136	567
	70	5-9	33	172	664	4-7	21	149	602
	80	6-10	38	189	673	4-7	30	167	643
	90	7-10	47	206	702	5-7	30	184	651
ECC_1	0	3-7	22	113	442	-	-	-	-
	10	3-7	29	97	470	2-4	20	37	251
	20	4-7	37	127	503	3-4	20	54	303
	30	4-7	33	118	558	3-5	10	84	357
	40	4-8	49	133	574	3-5	30	91	413
	50	5-8	25	138	603	3-6	17	117	512
	60	5-8	33	146	657	3-6	11	124	567
	70	6-8	29	157	681	4-6	24	133	614
	80	6-9	35	179	714	4-6	19	149	647
	90	6-9	17	186	752	4-6	36	171	688
ECC_2	0	3-6	25	99	471	-	-	-	-
	10	3-7	33	114	496	2-4	33	28	194
	20	4-7	28	103	538	2-5	38	49	258
	30	4-8	24	124	586	3-5	21	64	321
	40	4-8	35	131	612	3-6	16	82	387
	50	5-8	22	147	657	3-6	10	98	503
	60	5-9	16	168	698	3-6	19	118	587
	70	5-9	37	186	724	4-6	33	147	636
	80	6-10	23	211	746	4-7	14	169	683
	90	6-10	42	232	779	5-8	27	198	715



ECC_0 **ECC_1**

ECC_2

Figure 5 – XRD analyses results of self-healing products

Figure 5 represents the mineral content of healing products of each specimen at the end of all cycles. ECC_1 and especially ECC_2 surfaces have a significant amount of calcite mineral, which is due to the carbonation reactions through hydrated lime addition. However, less carbonation can be seen inside of these specimens and this case is attributed to difficulty of CO_2 penetration. ECC_0 has less calcite formation due to the consumption of $Ca(OH)_2$ during the w/d cycles. Higher SiO_2 peaks of ECC_0 point out the formation of C-S-H gel.

4. Summary

CH increases the toughness of matrix which is harmful for the formation of multiple micro cracks with narrow widths. However, specimens contain CH have a significant reproducibility performance of self-healing. Because of the dissolution of alkalies at the beginning of hydration, pH of cementitious systems is high, however CH is consumed with pozzolanic reactions. In this study, it's observed that the additional CH raise the pH of pore solution even later on. Thus carbonation can easily occur as long as CO_2 exists in air or water and can take place for longer periods. Although the ultimate crack widths of specimens with hydrated lime are larger than that those without hydrated lime, the rates of crack width increase are lower than that specimen without hydrated lime.

As the number of cycles increase, surface and inner section RF results of specimens contain hydrated lime are high and close to each other. This situation show that the self-healing is available for each section of specimens with approximately same amount. So, self-healing can be applied to huge structural members and consequently repair/maintenance costs

are avoided. However, surface RF increments are a little bit higher than inner RF increments. Diffusion of water at the end of cylindrical specimen is easier than in the middle.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial assistance of the Scientific and Technical Research Council (TUBITAK) of Turkey provided under project number: MAG-112M876.

References

Aldea, C. M., Song, W. J., Popovics, J. S. ve Shah, S. P. (2000). Extent of healing of cracked normal strength concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 12 (1), 92-96.
Antiohos, S. K., Papageorgiou, A., Papadakis, V. G. ve Tsimas S. (2008). Influence of quicklime addition on the mechanical properties and hydration degree of blended cements containing different fly ashes. Construction and Building Materials, 22 (6), 1191-1200.
Barbhuiya, S. A., Gbagbo, J. K., Russell, M. I. ve Basheer, P. A. M. (2009). Properties of fly ash concrete modified with hydrated lime and silica fume. Construction and Building Materials, 23 (10), 3233-3239.
Clear, C. A. (1985). The effects of autogenous healing upon the leakage of water through cracks in concrete. Wexham Springs: Cement and Concrete Association.
Edvardsen C. (1999). Water permeability and autogenous healing of cracks in concrete. ACI Materials Journal, 96 (4), 448–455.
Jiang, Z., Sun, Z. ve Wang, P. (2006). Internal relative humidity distribution in high-performance cement paste due to moisture diffusion and self desiccation. Cement and Concrete Research, 36 (2), 320-325.
Li, V. C. and Herbert, E. (2012). Robust self-healing concrete for sustainable infrastructure. Journal of Advanced Concrete Technology, 10 (6), 207-218
Mather, B. and Warner, J. (2003). Why do concrete repairs fail. Interview held at University of Wisconsin, Department of Engineering Professional Development, Wisconsin.
Mehta, P. K., and Monteiro P. J. M. (2006). Concrete Microstructure, Properties and Materials, McGraw-Hill Inc., New York, U.S.A.
Song G. ve van Zijl G. P. A. G. (2004). Tailoring ECC for commercial application. 6th International RILEM Symposium. on Fiber Reinforced Concrete, RILEM Pro039, pp. 1391–1400
Şahmaran, M and Li, V. C. (2007). De-icing salt scaling resistance of mechanically loaded engineered cementitious composites. Cement and Concrete Research, 37 (7), 1035-1046.
Şahmaran, M., Li, M., and Li, V. C. (2007). Transport properties of engineered cementitious composites under chloride exposure. ACI Materials Journal, 104 (6), 604-611.
Şahmaran, M., Yıldırım, G. ve Erdem, T. K. (2013). Self-healing capability of cementitious composites incorporating different supplementary cementitious materials. Cement and Concrete Composites, 35 (1), 89-101.
Wang, S. ve Li, V. C. (2007). Engineered cementitious composites with high-volume fly ash. ACI Materials Journal, 104 (3), 233-241.
Vision 2020. (2006). A vision for the concrete repair protection and strengthening industry. The Strategic Development Council (SDC. http:// www.concretesdc.org/ pdfs/Vision2020-Version1.0 %20May2006.pdf.

Metakaolin Katkılı Harçların Elektrik Özdirençlerinin Değerlendirilmesi

Osman Günaydın[1], Kadir Güçlüer[2], Hüseyin Boran[1]

[1]*Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fak. İnşaat Müh. Bölümü, Adıyaman, Türkiye*
[2]*Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Adıyaman, Türkiye*
gunaydin@adiyaman.edu.tr

Özet

Metakaolin kaolinin kalsine edilmesi sonucu elde edilen doğal hammaddedir. Yüksek silis içeriği ve amorf yapısı metakaoline puzolanik özellik gösterebilme kabiliyeti kazandırmaktadır. Elektrik özdirenç ölçümü özellikle korozyon kaynaklı durabilite problemlerinin tahmin edilmesi aşamasında kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu çalışmada, metakaolin kullanılarak standart boyutlarda harç çubukları üretilmiştir. Deney örnekleri, 28 ve 90 gün boyunca kirece doygun kür havuzu ortamında kür edildikten sonra deneylere uygun hale getirilmişlerdir. Örnekler üzerinde mekanik özellikleri belirleyebilmek amacıyla basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. 28 ve 90 gün süreyle kür edilen numuneler üzerinde 30 V'lik sabit gerilme altında direnç ölçümleri yapılarak özdirenç hesaplamaları yapılmıştır. Basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı sonuçlarına ilişkin en yüksek değerler %10 metakaolin katkılı serilerde tespit edilmiştir. Metakaolin katkı miktarının artmasıyla harçların özdirenç değerlerinde azalış tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Harç, elektrik özdirenç, metakaolin.

Evaluation of Electric Resistivity of Metakaolin Additive Mortars

Abstract

Metakaolin is a raw material which obtained from calcination of kaolin. High silicon ratio and amorphous formation has given to puzzolanic ability of metakaolin. Electric resistivity determination is an important method that estimation of durability problems which due to the corrosion. In this study, mortars samples produced with metakolin. Experiment samples waiting in 28 and 90 days cure pool were adapted to the experiment. It was applied to compressive strength and tensile strength experiments to sample for determination to mechanical properties. Electric resistivity calculations were made on the samples which were cured for 28 days and 90 days under 30 V constant electric stress. The highest values for compressive strength and tensile strength results were determined in 10% metakaolin added series. Decrease in resistivity values was found with increasing amount of metakaolin additive.

Keywords: Mortar, electric resistivity, metakaolin.

1. GİRİŞ

İletken malzemeler, nano boyutta iletken ve akıllı malzemeler (smart materials) 21. asrın malzeme bilimi çalışmaları açısından oldukça ses getirmektedir. Bu malzemelerin farklı disiplinler tarafından kullanımı ve geliştirilmesi anlamında oldukça özverili çalışmalar yapılmakta ve interdisipliner çalışma alanları oluşmaktadır.
Çimento, su ve kum üçlüsünden oluşan kompozit yapı malzemesine harç adı verilmektedir (Yalçın ve Gürü, 2010). Çimento bağlayıcı sistemde oluşturulan harç yalıtkan bir malzeme olup

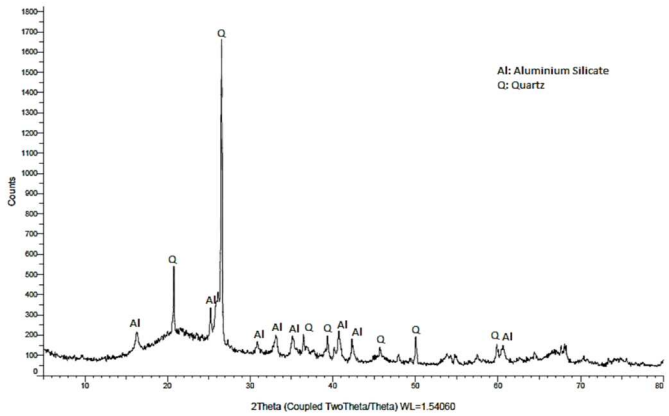
elektrik iletkenliği oldukça düşüktür (Yim et al. 2017). Çimento ile üretilen beton, harç gibi kaplamaların özellikle soğuk dönemlerde dondan korunmalarını önlemek amacıyla iletken nano partiküllerle ya da iletken malzemeler ile desteklenmesi ve özdirençlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir (Donnini et al., 2018). İletken beton teknolojisi sadece buz çözmek için kullanılmayıp daha birçok alanda da kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları; elektriksel sistem ve elektronik bileşenleri koruma amaçlı yapılar, elektronik endüstrisinde anti statik döşemeler, betonarme yapılarda katodik koruma olarak sıralanabilir (Boğa 2017).

Literatürde katkılı harçların özdirenç özelliklerinin belirlenmesine ilişkin değişik çalışmalar bulunmaktadır. Gheni vd. (2019) yaptıkları çalışmada kauçuk elyaf tozunu farklı oranlarda kullanarak ürettikleri harç karışımlarında elektrik özdirenç ve korozyon ölçümleri yapmışlar ve %20 oranında kauçuk elyafa sahip harçların elektrik özdirenç ve korozyon direncini geliştirdiğini tespit etmişlerdir. Baeza vd. (2018) geri dönüştürülmüş cüruf agregası ve karbon elyaf takviyeli harçların termik ve elektrik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında iletken agrega ile direnç arasında iyi bir korelasyon ilişkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Rovnanik vd. (2019) alkali aktif cürufun mobil hidratlı sodyum iyonları ve metalik demir mikropartiküllerinin varlığına bağlı olarak gelişmiş iletkenlik özellikleri gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Metakaolin çimento ve beton endüstrisinde kullanım imkanı yeni olan hammaddelerden bir tanesidir (Bapat 2013). Kaolin ince, beyaz ve geleneksel porselen üretiminde kullanılan kil mineralidir (Anuk 2011). Metakaolin, saflaştırılmış kaolin veya kaolinit killerinin belirli bir sıcaklık aralığında yakılması ve sonrasında yüksek inceliğe sahip olması amacıyla öğütülmesi sonucu elde edilen bir reaktif alümino-silikat puzolanıdır (Özer 2009). Metakaolin, kalsiyum silika hidrat oluşturulması amacıyla kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girebilir. Bu durum harç ve betonun belirli özelliklerinin gelişmesine katkı sağlayabilir (Vu 2002, Tokyay 2016). Bu amaçla, çalışmada metakaolinin dayanıma olan etkisinin yanında elektrik özdirenç üzerine olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

Çalışmada bağlayıcı olarak CEM II 42.5 tipte TS EN 197-1 ile uyumlu Portland kompoze çimento kullanılmıştır. Metakaolin İstanbul merkezli yerli bir firma aracılığı ile Hindistan'dan temin edilmiştir. Metakaoline ait XRD analizi Şekil 1'de verilmiştir. Metakolinin krsital yapısının amorf yapıda olduğu, mineral yapısında kuvartz ve alüminyum silikat fazlarının varlığı tespit edilmiştir.



Şekil 1. Metakaoline ait XRD grafiği

Çalışmada kullanılan çimento ve metakaoline ait kimyasal bileşenler Tablo 1'de verilmiştir. Metakaolin ve çimentoda harç üretimi için uygun olmayan zararlı bileşenlere rastlanmamıştır.

Tablo 1. Çimento ve metakaoline ait kimyasal kompozisyon.

Bileşen %	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O
Çimento	19.2	62.8	3.88	4.25	3.42	0.34	2.1
Metakaolin	54	0.01	42	0.35	0.06	0.2	0.13

Harç karışımlarının hazırlanmasında TS EN 196-1'e uygun Rilem Cembureau Standart Kumu kullanılmıştır. Karışımlar TS EN 196-1'de verilen 225 gr su, 450 gr çimento ve 1350 gr standart Rilem kumu değerleri referans alınarak hazırlanmıştır. Metakaolin standart kum ile %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek harç örnekleri hazırlanmıştır. Harç numuneleri 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik harç kalıplarına dökülerek vibratör yardımı ile yerleştirilerek üretilmiştir. Üretilen harç numuneleri 24 saat boyunca laboratuvar ortamında kalıplarında bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda üretilen numuneler kalıplarından çıkartılıp ilgili deneylerin yapılacağı zamana kadar 20 ± 2 ºC sıcaklığa sahip su havuzlarında küre tabi tutulmuştur. Elektrik özdirenç ölçümleri için numunelere 30 V'luk sabit gerilim uygulanmış ve formül (1) ve (2) aracılığıyla örneklerin özdirenç ve iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Özdirenç ölçümleri 3 adet 40x40x160 mm ölçülerine sahip harç numuneleri üzerinde uygulanmış ve elde edilen sonuçları ortalamaları alınmıştır. Basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri 7, 28 ve 90 gün kür süresine sahip numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir seri için 3'er adet numune üretilmiş eğilme dayanımı sonuçları 3 numunenin ortalaması alınarak hesap edilmiştir. Eğilme dayanımı sonrası elde edilen numuneler üzerinde basınç dayanımı ölçümleri yapılarak sonuçların ortalaması alınmıştır.

$$\delta = Rx\frac{S}{L} \quad \text{.....(1)}$$

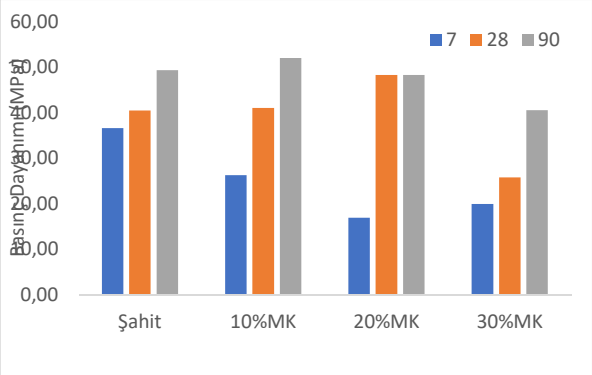
$$C=\frac{1}{\delta} \text{.....(2)}$$

Denklemlerde; R 30 V'luk gerilimde ölçülen direnç (kΩ), S iletken alan (cm^2), δ özdirenç (kΩcm)(Boğa, 2017).

3. BULGULAR

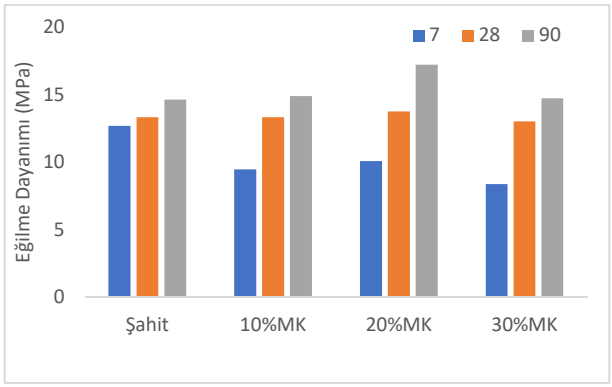
3.1 Basınç ve Eğilme Dayanımı Bulguları

Metakaolinin %10, %20 ve %30 oranlarında kullanıldığı harçlara ait basınç dayanımı ve eğilme dayanımı bulguları Şekil 2 (a) ve (b)'de verilmiştir.



Şekil 2(a). Basınç dayanımı bulguları

Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde en yüksek dayanım değerleri 90 gün kür süresine sahip serilerde elde edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı değerleri %10 metakaolin katkılı serilerde tespit edilmiştir. Metakaolin erken hidratasyon döneminde basınç dayanımını azaltıcı yönde etki etmiştir. 7 günlük sürede en yüksek dayanım değerleri şahit numunelerde elde edilmiştir. Bu durumun sebebinin metakaolinin çimentonun prizini geciktirici bir etki yaratması sonucu oluştuğu düşünülmektedir.

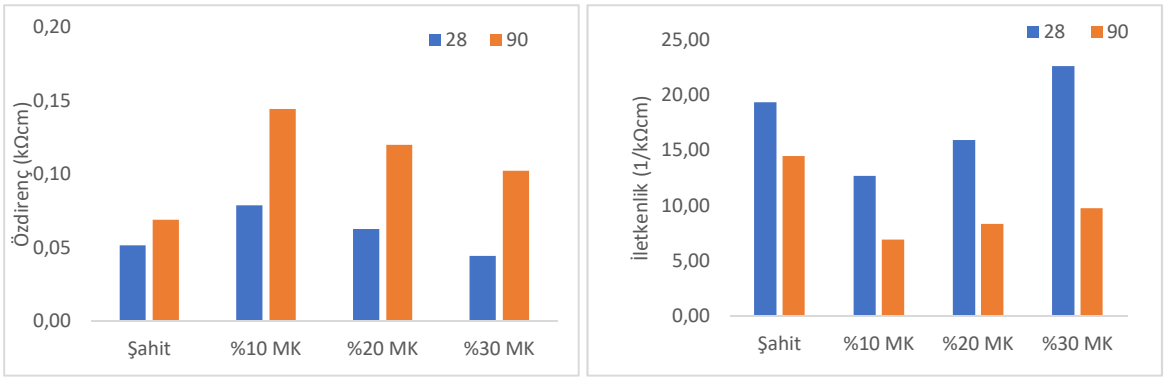


Şekil 2(b). Eğilme dayanımı bulguları

Şekil 2(b)'de örneklere ait eğilme dayanımı bulguları verilmiştir. En yüksek eğilme dayanımı bulguları %10 metakaolin katkılı serilerde tespit edilmiştir. 7 günlük sürede metakaolin katkılı serilerin eğilme dayanımı sonuçları şahit numunelere göre daha düşük seviyelerdedir. Bu bulgular 7 günlük sürede elde edilen basınç dayanımı bulgularını destekler niteliktedir. Metakaolin amorf silis yapıda olan bir malzeme olup, çimento hidratasyonu sonucu açığa çıkan serbest kireç ile reaksiyona girerek puzolanik özellik gösterebilir, ilave bağlayıcı jel oluşturarak da dayanımda artışa sebep olabilir (Brandt 2009).

3.2 Özdirenç Bulguları

Örneklere ait özdirenç ve iletkenlik bulguları Şekil 3(a) ve (b)'de verilmiştir.



(a) *(b)*

Şekil 3(a)(b). Özdirenç ve iletkenlik bulguları

En yüksek özdirenç bulguları %10 metakaolin katkılı serilerde elde edilmiştir. Ayrıca 90 günlük serilerin özdirenç değerleri 28 günlük serilere göre yüksek tespit edilmiştir. İlerleyen hidaratasyon süreci ve hidrate ürünlerin açığa çıkması, özdirenç değerlerinin artışına sebep olarak gösterilebilir. Ayrıca en yüksek özdirenç değerlerinin %10 metakaolin ile üretilen serilerde tespit edilmesi ve basınç dayanımı değerleri incelendiğinde de en yüksek basınç

dayanımı değerlerinin %10 metakaolin katkılı serilerde elde edilmiş olması özdirenç ve basınç dayanımı arasında bir ilişkinin olabileceğini göstermektedir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Metakaolinin %10, %20 ve %30 oranlarında ilave edilmesi ile üretilen harç çubuklarının mekanik ve elektrik özdirenç özelliklerinin araştırıldığı deneysel çalışma sonucunda;

- %10 metakaolin ile üretilen örneklerde en yüksek basınç dayanımı ve eğilme dayanımı sonuçları elde edilmiştir.
- En yüksek özdirenç değerleri %10 metakaolin katkılı harç örneklerde elde edilmiştir.
- 7 gün kür süreli örneklerde, en yüksek basınç ve eğilme dayanımı değerleri şahit numuneler üzerinde tespit edilmiştir.
- İlerleyen hidratasyon dönemi süresinde metakaolinin dayanımda artışa sebep olduğu gözlenmiştir.

Metakaolin katkılı harçların elektrik özdirençleri ile birlikte ısı iletkenlik katsayılarının karşılaştırılması ve metakaolinin harç çubukların rötre değerlerine olan etkisinin araştırılacağı çalışmalar hem endüstriyel hem de bilimsel uygulamalar açısından faydalı olabilir.

Kaynaklar

Anuk, D. (2011). Metakaolin kullanımının çimento harçlarının mekanik ve durabilite özelliklerine etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Baeza F. J., Galao O., Vegas I., J., Caro M., Garces P. Influence of recycled slag aggregates on the conductivity and strain sensing capacity of carbon fiber reinforced cement mortars. Construction and Building Materials 184 (2018) 311–319.

Bapat, J., D. (2013). Mineral Admixtures in Cement and Concrete. CRC Press.

Boğa A., R. Harçların Mekanik ve Elektriksel İletkenlik Özelliklerine Karbon Lifi ve Çelikhane Cürufu Kullanımının Etkisi. AKÜ FEMÜBİD **17** (2017) **035603** (1066-1075).

Brandt, M., A. (2009). Cement-Based Composites. Taylor&Francis Publishing, New York, USA.

Donnini J., Bellezze T., Corinaldesi V. Mechanical, electrical and self-sensing properties of cementitious mortars containing short carbon fibers. Journal of Building Engineering, 20(2018):8-14.

Gheni A., Alghazali H., Elgawady M., Myers J., Feys D. Durability properties of cleaner cement mortar with by-products of tire recycling. Journal of Cleaner Production, 213(2019)1135-1146.

Özer, E. (2009). Niğde yöresi fesleğen yayla kaolin kilinden metakaolin üretilebilirliğinin araştırılması. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Niğde.

Rovnanik P., Kusak I., Bayer P., Schmid P., Fiala L. Comparison of electrical and self-sensing properties of Portland cement and alkali-activated slag mortars. Cement and Concrete Research 118 (2019) 84–91.

Tokyay, M. (2016). Cement and Concrete Mıneral Admıxtures. CRC Press.

Vu, D.D. (2002). Strength Properties of Metakaolin-Blended Paste, Mortar and Concrete. Delft University Press, Netherlands.

Yalçın H., Gürü M. Çimento ve Beton. Palme Yayıncılık, Ankara, 2006.

Yim H., J., Lee H., Kim H., J. Evaluation of mortar setting time by using electrical resistivity measurements. Construction and Building Materials, 146(2017): 679-686.

Kompoze Taban Külü ve Uçucu Kül İkameli Çimento Harçlarının Sülfata Karşı Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi

Selahattin GÜZELKÜÇÜK[1], İlhami DEMİR[1,2],Ahmet FİLAZİ[1],Özer SEVİM[1]

[1] Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

[2] Amasya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Amasya

Emails: selahattinguzelkucuk@gmail.com, ildemir@kku.edu.tr, ahmetfilazi@gmail.com,ozersevim@kku.edu.tr

Özet

İnce taneli olan mineral katkı malzemeleri, kullanılan malzemelerin miktar ve özelliklerine bağlı olarak taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliğini etkileyebilmektedir. Bu sebeple taban külü ve uçucu kül kullanımı oldukça önemlidir. Bu çalışmada katkısız çimento harcı ile birlikte, CEM I 42.5 R çimentosuna, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Taban Külü ve Uçucu Kül karışımı ikame edilerek çimento harcı hazırlanmıştır. Normal su ve %10 sodyum sülfat küründe 7, 28 ve 90 gün bekletilen çimento harçlarının TS EN 196–1'e uygun olarak basınç dayanımları ve ASTM C 1012' ye göre boy uzamaları incelenmiştir. Sonuç olarak; Taban Külü ve Uçucu Kül karışımı ikamesinin hem normal su küründe hem de %10 sodyum sülfat küründe, dayanım ve dayanıklılık açısından çimento harçlarında olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taban külü, Uçucu Kül, Basınç dayanımı, Boy uzaması

Investigation of Sulfate Resistance on Mechanical and Durability Properties of Cement Mortars havingBottom Ash and Fly Ash

Abstract

Fine-grained mineral additives might affect many properties of fresh and hardened concrete depending on the quantity and properties of the materials used. Therefore, the use of bottom ash and fly ash is very important. In this study, cement mortar was prepared with CEM I 42.5 R cement with 5%, 10%, 15% and 20% bottom ash and fly ash mixing replacement ratio. 7, 28 and 90 days of cement mortars were examined compressive strengths according to TS EN 196-1 and length changes in compliance with ASTM C 1012,in normal water and 10% sodium sulphate cure. As a result; bottom ash and fly ash mixing replacement was found to give good results in cement mortars both in normal water cure and 10% sodium sulphate cure in terms of strength and durability.

Keywords: Bottom Ash, Fly Ash, Compressive Strength, Length change

1. Giriş

Günümüz teknolojisi ve insanoğlunun ihtiyaçları, kullanılabilirlik açısından yaşam şartlarına uygun mühendislik faaliyetlerinin önemini arttırmaktadır. Bu sebeple; inşaat mühendisliği çalışmalarında, beton üretimi esnasında oluşacak CO_2 emisyonunu, enerji tüketimini ve buna bağlı olarak da çimento üretiminin çevreye verdiği olumsuz etkiyi de azaltmak açısından yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Mineral katkı malzemesi olarak beton üretiminde kullanılan birçok malzeme çeşidi vardır. İnce taneli olan mineral katkı malzemeleri, kullanılan malzemelerin miktar ve özelliklerine bağlı olarak taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliğini etkileyebilmektedir(Erdoğan, 2003). Puzolanların tek başlarına çok az bağlayıcılık özelliği vardır veya hiç bağlayıcılık özelliği yoktur. Ancak, inorganik madde olan puzolanlar nemli ortamlarda çok ince bir şekilde öğütüldüklerinde ve normal sıcaklıklarda kireç ($Ca(OH)_2$) ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanırlar ve bu malzemeler genellikle silis veya silis – alümin kökenli malzemelerdir. (Baradan, 2012).

Uçucu küller kullanılan kömürün yapısına, yanma şekline, sıcaklığına, kül toplama şekline, oksidasyon koşullarına göre farklılıklar gösterir (Garg M v.d., 2012).

Taze ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirmesini sağlamak için uçucu kül, yüksek fırın curufu ve taban külünün çimento ikame ve katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırması birçok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır (Peter, 1997 – Topçu v.d., 1997 – Aruntaş v.d., 2006).

Taban külü termik santrallerde yanmış olan kömürden geriye kalan kül olup bir çeşit endüstriyel katı atıktır. Yakılan kömürün yaklaşık % 20- 25'i kadar kül ortaya çıkmaktadır. Bu külün belirli bir kullanım alanı yoktur ve depo alanlarında depolanmakta veya su ile bulamaç haline getirilip denize boşaltılmaktadır. Bu her iki durumda da çevre kirliliği yaratmaktadır. Diğer yandan bu atığın depolanmasının da bir maliyeti vardır ve depolama da tam bir çözüm olarak gözükmemektedir. Bu sebeple endüstriyel ekoloji kavramı içerisinde bu atığa yeni kullanım alanları bulunması gereklidir.(Yüksel, 2006).

Bu çalışmanın amacı; Normal su ve %10 sodyum sülfat küründe 7, 28, 90 gün bekletilen çimento harçlarının basınç dayanımları ve boy uzamalarını belirlemektir.

2. Materyal Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Yapılan çalışmada TS 197-1'e uygun CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir (TS EN 1997-1, 2002).

Çizelge 1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal bileşim	**CEM I 42,5 R**
CaO (%)	66,04
SiO2 (%)	13,01
Al2O3 (%)	3,47
P2O5 (%)	7,6
MgO (%)	1,23
Na2O (%)	0,27
K2O (%)	0,93
SO3 (%)	4,6
Özgül ağırlık	3,18
Özgül yüzey (Blaine) (cm^2/g)	3352
Kızdırma Kaybı (%)	1,98

2.1.2. CEN Referans Kumu

Çalışmada kullanılan kum, TS 196-1 standardında belirtilen CEN referans kumudur (TS EN 196-1, 2002).

2.1.3. Uçucu Kül

Çalışmada Çatalağzı termik santralinden elde edilen Blaine inceliği 2200 cm^2/gr olanuçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan uçucu külün kimyasal analizi Çizelge 2 de verilmiştir.

2.1.4. Taban Külü

Çalışmada Çatalağzı termik santralinden elde edilen ve karbon miktarını en aza indirmek için 900˚C de kalsine edilmiş Blaine inceliği 4350 cm^2/gr olan taban külü kullanılmıştır. Kullanılan taban külünün kimyasal analizi Çizelge 2. de verilmiştir.

Çizelge 2. Uçucu Kül (UK) ve taban külünün (TK)kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşim	UK	T K
SiO_2 (%)	45,170	37,45
Al_2O_3 (%)	11,161	9,03
Fe_2O_3 (%)	7,403	8,02
CaO (%)	14,050	18,08
MgO (%)	4,696	5,79
Na_2O (%)	2,074	1,67
P_2O_5 (%)	8,286	11,75
K_2O (%)	4,163	1,88
SO_3 (%)	2,616	6,29

2.1.5. Su

Çalışmada kür suyu olarak içme suyu kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Malzeme Miktarları

Eğilme ve basınç deneyleri için ASTM C 1012 ve TS EN 196-1 standardına uygun olarak numuneler hazırlanmıştır. Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3'de verilmiştir (ASTM C1012, 2007).

Çizelge 3. Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları

UK+TK İkame oranı (%)	Çimento (g)	Taban Külü (g)	Uçucu Kül (g)	Su (g)	CEN Standart Kum (g)
5	427.50	11.25	11.25	225	1350±5
10	405.00	22.50	22.50	225	1350±5
15	382.50	33.75	33.75	225	1350±5
20	360.00	45.00	45.00	225	1350±5

2.2.2. Basınç Dayanım Deneyleri

Basınç dayanımı deneyi TS EN 196-1'de belirtilen standartlarda yapılmıştır. 40×40×160 cm boyutundaki numunelerin su küründe 7, 28, 90 günlük dayanımları belirlenmiştir.
TS EN 196 – 1, 2002)

2.2.3. Harç Çubuklarının Boyca Uzama Deneyi

ASTM C 1012 standardına uygun olarak üretilen 25×25×285 cm boyutundaki numuneler normal su ve %100 g/l Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilerek 2, 7, 28, 90 günlük boy ölçümleri yapılmış ve boy uzamaları belirlenmiştir.

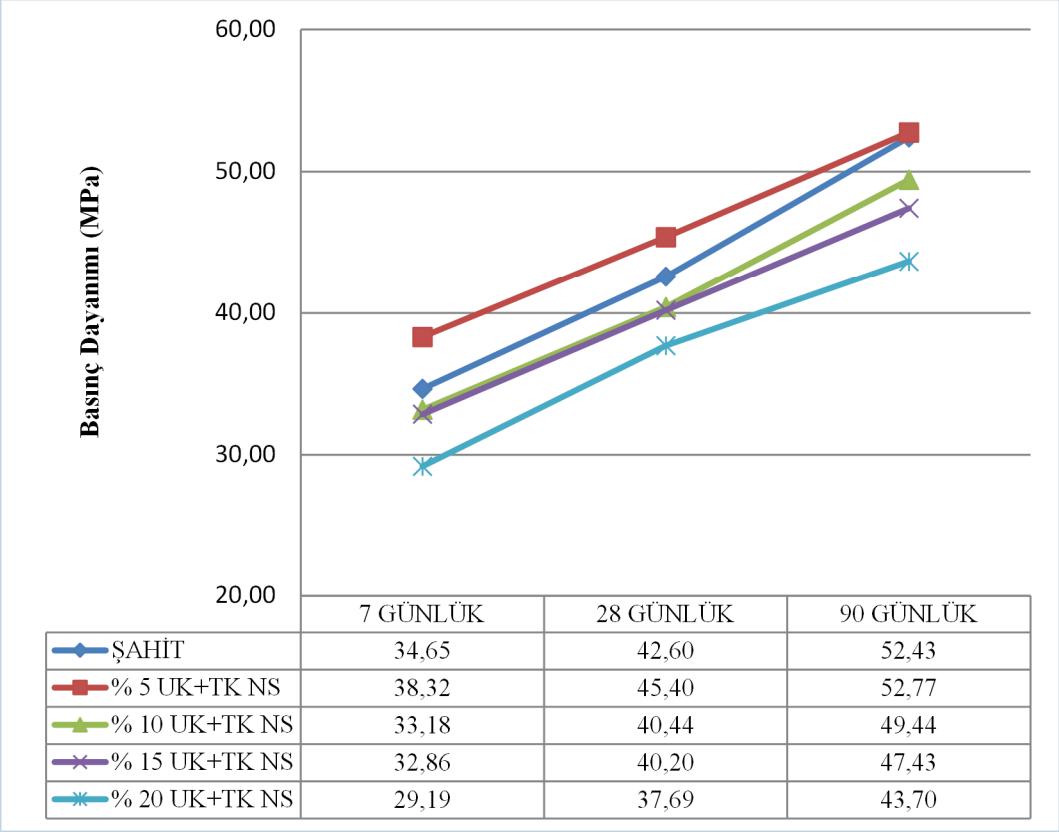
3. Araştırma Bulguları

3.1. Basınç Dayanımı

Uçucu kül ve taban külü ikameli çimento harçlarında normal su ve %10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerin basınç dayanımları Çizelge 4. verilmiştir

Çizelge 4.UK+TK İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları

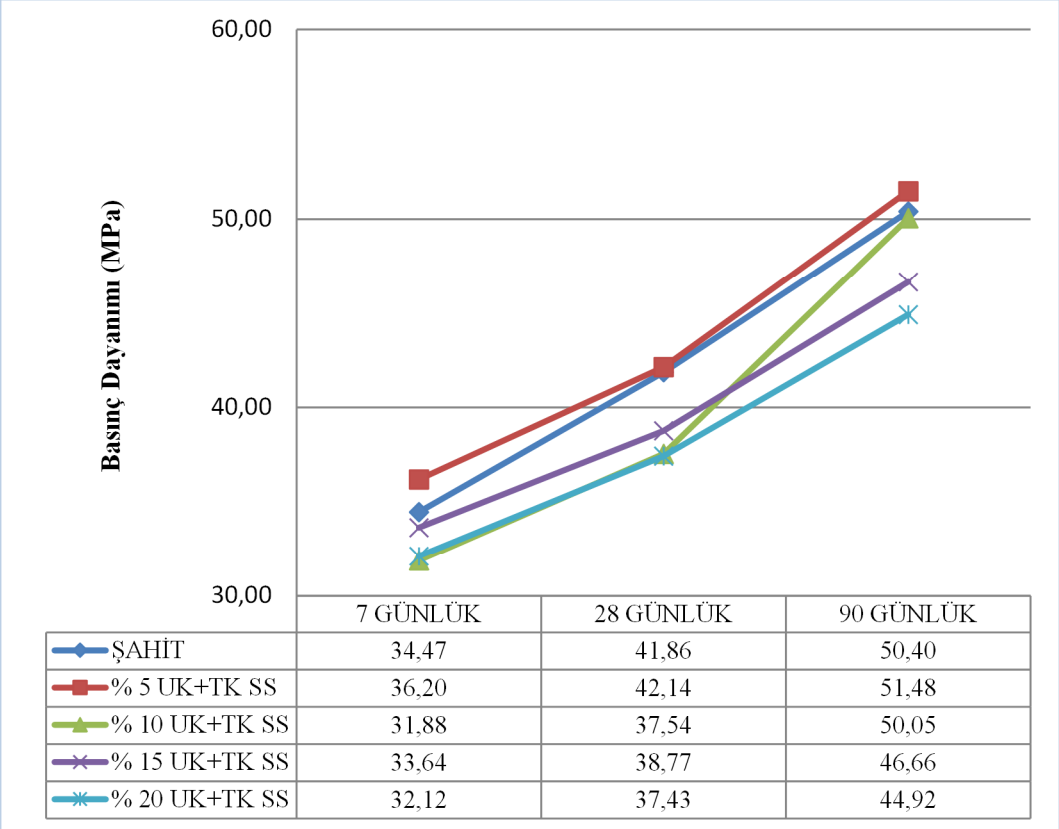
KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (MPa)	28. GÜN (MPa)	90. GÜN (MPa)
ŞAHİT NS	34.65	42.60	52.43
%5 UK+TK NS	38.32	45.40	52.77
%10 UK+TK NS	33.18	40.44	49.44
% 15 UK+TK NS	32.86	40.20	47.43
%20 UK+TK NS	29.19	37.69	43.70
ŞAHİT SS	34.47	41.86	50.40
%5 UK+TK SS	36.20	42.14	51.48
%10 UK+TK SS	31.88	37.54	50.05
% 15 UK+TK SS	33.64	38.77	46.66
%20 UK+TK SS	32.12	37.43	44.92



	7 GÜNLÜK	28 GÜNLÜK	90 GÜNLÜK
ŞAHİT	34,65	42,60	52,43
% 5 UK+TK NS	38,32	45,40	52,77
% 10 UK+TK NS	33,18	40,44	49,44
% 15 UK+TK NS	32,86	40,20	47,43
% 20 UK+TK NS	29,19	37,69	43,70

Şekil 1.Uçucu Kül+Taban Külü İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları (NS)

Çizelge 4 ve Şekil 1' e göre normal su (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.65 MPa, 42.60 MPa, 52.43 MPa iken %5 UK+TK ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 38.32 MPa, 45.40 MPa, 52.77 MPa ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. Bu sonuçlara göre normal su küründe olgunlaştırılan numuneler için %5 UK+TK ikamesinin ideal sonuçlar verdiği görülmüştür.

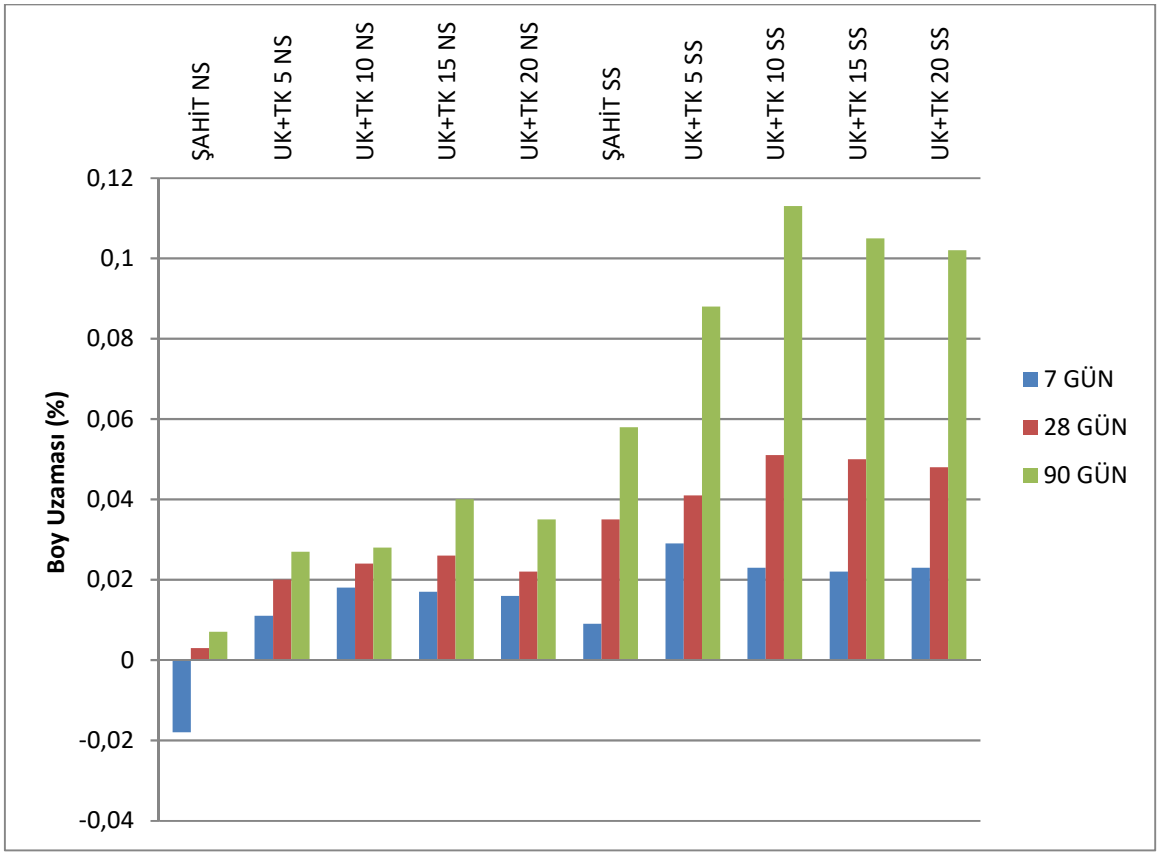


	7 GÜNLÜK	28 GÜNLÜK	90 GÜNLÜK
ŞAHİT	34,47	41,86	50,40
% 5 UK+TK SS	36,20	42,14	51,48
% 10 UK+TK SS	31,88	37,54	50,05
% 15 UK+TK SS	33,64	38,77	46,66
% 20 UK+TK SS	32,12	37,43	44,92

Şekil 2. Uçucu Kül+Taban Külü İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları (SS)

Çizelge 4 ve Şekil 2' e göre %10 sodyum sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.47 MPa, 41.86 MPa, 50.40 MPa iken %5 UK+TK ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 36.20 MPa, 42.14 MPa, 51.48 ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü görülmüştür.

3.2. Boy Uzaması



Şekil 3. Uçucu Kül +Taban Külü İkameli Çimento Harçlarının Boy Uzaması (NS / SS)

Şekil 3 incelendiğinde, sodyum sülfat küründeki numuneler için 90 gün sonunda en fazla boy uzamasının % 10 ikame oranında en az boy uzamasının ise katkısız çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir, Bu sonuca göre % 10 Uçucu Kül+Taban Külü ikame oranında boy uzaması şahit numuneye göre artmış olsa da Uçucu Kül+Taban Külü ikame oranı %10 dan sonra sodyum sülfat küründe %15 ve %20 ikame oranlarında boy uzaması azalmıştır. Normal su küründeki boy uzamaları incelendiğinde ise, en az boy uzamasının katkısız çimento harçlarında, en fazla boy uzamasının % 15 Uçucu Kül+Taban Külü ikameli çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir.

4. Sonuçlar

- Normal su küründe olgunlaşan numunelerin 90 gün sonundaki sonuçlara göre % 5 UK+TK ikameli harcın basınç dayanımının 52,77 MPa ile en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. Şahit numunenin basınç dayanımının 52,43 MPa olduğu göz önüne alındığında % 5 ikame basınç dayanımını arttırmıştır.
- % 10 Sodyum Sülfat küründe olgunlaşan numunelerin 90 gün sonundaki basınç dayanım sonuçlarına göre % 5 UK+TK ikameli harcın basınç dayanımının 51,48 MPa ile en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. Şahit numunenin basınç dayanımının 50,40 MPa olduğu göz önüne alındığında % 5 UK+TK ikamesinin yaklaşık % 2 oranında basınç dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir.
- 90 gün sonunda % 10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde ; % 5UK+TK ikamesinin şahit numuneye göre basınç dayanımını arttırdığı, görülmüştür.
- 90 gün sonunda normal su küründe küründe olgunlaştırılan numunelerde ; % 5 UK+TK ikamesinin şahit numuneye göre basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür.
- Boy uzamalarının tümü göz önüne alındığında ilk günlerdeki boy uzamalarının ileriki zamanlardaki boy uzamalarına göre daha yavaş olduğu görülmüştür.
- Bazı örneklerde ilk günlerde boy uzaması yerine boy kısalması olduğu görülmüştür.
- Boy uzamaları için; %10 sodyum sülfat küründe ve normal su küründe olgunlaştırılan numunelerin boy uzama değerleri incelendiğinde numunelerin boy uzamalarının zamanla artış gösterdiği gözlenmiş olup ayrıca, sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde boy uzama miktarının daha fazla olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; yapılan çalışmada UK+TK ikamesinin hem normal su küründe hem de %10 sodyum sülfat küründe, dayanım açısından olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

5. Kaynaklar

Erdoğan T., Beton, Metu Press, 2003

Baradan B, Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 334, 2012

Garg M., Pundir A.,Comprehensive study of fly ash binder developed with fly ash – alpha gypsum plaster – Portland cement, Construction and Building Materials 37 (2012) 758–765, 2012

Peter C.H. (Editör), Lea's Chemistriy of Cement and Concrete, 4.th edition, 1997.

Topçu B.,Toprak U., Alkalilerle Aktive Edilen Taban Küllü Hafif Harç Üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 22 Sayı 2, 2009

Aruntaş Y., Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, Sayı 1, 2006

Yüksel İ., Özkan Ö.,Bilir T., 'Kazanaltı külü ile briket üretimi' Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 21, No 3, 527-532, 2006

ASTM C1012 / C1012M - 07 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, Annual book of ASTM standards, Philadelphia, USA, (2007)

TS EN 197-1, Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterler, TSE, 2002

TS EN 196–1, Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım, TSE, (2002)

TS EN 196–3, Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Tayini, TSE, (2002).

Kompoze Taban Külü ve Yüksek Fırın Cürufu İkameli Çimento Harçlarının Sülfata Karşı Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi

Selahattin GÜZELKÜÇÜK[1], İlhami DEMİR[1,2],Ahmet FİLAZİ[1],Özer SEVİM[1]

[1] Department of Civil Engineering, Kırıkkale University, Turkey

[2] [2]Department of Architecture, Amasya University, Turkey

Emails: selahattinguzelkucuk@gmail.com, ildemir@kku.edu.tr, ahmetfilazi@gmail.com, ozersevim@kku.edu.tr

Özet

Puzolanlar taze ve sertleşmiş betonun birçok özelliğini etkileyebilmektedir. Bu yüzden taban külü ve yüksek fırın cürufu kullanımı oldukça önemlidir. Bu çalışmada katkısız çimento harcı ile birlikte, CEM I 42.5 R çimentosuna, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Taban Külü ve Yüksek fırın cürufu karışımı ikame edilerek çimento harcı hazırlanmıştır. Normal su ve %10 sodyum sülfat küründe 7, 28 ve 90 gün bekletilen çimento harçlarının TS EN 196–1'e uygun olarak basınç dayanımları ve ASTM C 1012' ye göre boy uzamaları incelenmiştir. Sonuç olarak; Taban Külü ve Yüksek fırın cürufu karışımı ikamesinin hem normal su küründe hem de %10 sodyum sülfat küründe, dayanım ve dayanıklılık açısından çimento harçlarında olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Taban külü, Yüksek fırın cürufu, Basınç dayanımı, Boy uzaması

Investigation of Sulfate Resistance on Mechanical and Durability Properties of Cement Mortars having Bottom Ash and Blast Furnace Slag

Abstract

Pozzolans can affect many properties of fresh and hardened concrete. So, the use of bottom ash and blast furnace slag is very important. In this study, cement mortar was prepared with CEM I 42.5 R cement with 5%, 10%, 15% and 20% bottom ash and blast furnace slag mixing replacement ratio. 7, 28 and 90 days of cement mortars were examined compressive strengths according to TS EN 196-1 and length changes in compliance with ASTM C 1012,in normal water and 10% sodium sulphate cure. As a result; bottom ash and blast furnace slag mixing replacement was found to give promising results in cement mortars both in normal water cure and in 10% sodium sulphate cure in terms of strength and durability.

Keywords: Bottom Ash, Blast Furnace Slag, Compressive Strength, Length changes

1.Giriş

Mühendislik çalışmaları betonun durabilitesinin mevcut olandan daha iyi bir duruma getirilebilmesine ilave çimentolu malzemelerin kullanılmasına ve bunların korunmasına yönelik olmak zorundadır. Bu çalışmanın amacı beton ve harçlarda mineral katkı kullanarak; CO_2 emisyonunu, enerji tüketimini ve buna bağlı olarak da çimento üretiminin çevreye olumsuz etkisini de azaltmaktadır.

Puzolan olarak beton üretiminde kullanılan birçok malzeme çeşidi vardır. İnce taneli olan mineral katkı malzemeleri, kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlı olarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini etkilemektedir. (Erdoğan, 2003)

İnorganik madde olan puzolanlar çok ince bir şekilde öğütüldüklerinde nemli ortamlarda ve normal sıcaklıklarda kireç ($Ca(OH)_2$) ile kimyasal reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazanırlar. Bu malzemeler genellikle silis veya silis – alümin kökenli malzemelerdir. (Baradan, 2012)

Amorf yapıya sahip, büyük miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içeren granüle yüksek fırın cürufu, öğütülerek çok ince taneli hale getirildiğinde, doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özellikleri ile benzerlikler göstermektedir. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun yüksek miktarda CaO içermesi nedeni ile kendiliğinden de bir miktar bağlayıcılık özelliği bulunmaktadır. (Erdoğan, 2003)

Granüle yüksek fırın cürufunun belli bir sınır değere kadar puzolanik özelliği CaO / SiO_2 oranının artışı ile doğru orantılıdır. Ancak CaO oranının çok yüksek olması ile birlikte puzolanik özellikte de azalma görülür. Sabit bir CaO / SiO_2 oranı için Al_2O_3 miktarı artışı ise cürufun puzolanik aktivitesini arttırmaktadır. Cüruf içerisinde MgO oranının % 10'a kadar olması dayanıma olumsuz etki yapmamakla birlikte % 10'un üzerindeki MgO oranları ise zararlıdır (Peter, 1997).

Betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirmesini sağlamak için uçucu kül, yüksek fırın curufu ve taban külünün çimento ikame ve katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırması birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. (Peter, 1997 – Topçu v.d., 1997 – Aruntaş v.d., 2006).

Taban külü; termik santrallerde yanmış olan kömürden geriye kalan küldür ve endüstriyel katı bir atık çeşididir. Yakılan kömürün yaklaşık % 20- 25'i kadar kül ortaya çıkmaktadır. Bu külün belirli bir kullanım alanı yoktur ve depo alanlarında depolanmakta veya su ile bulamaç haline getirilip denize boşaltılmaktadır. Bu her iki durumda çevre kirliliği yaratmaktadır. Diğer yandan bu atığın depolanmasının da bir maliyeti vardır ve depolama da tam bir çözüm

olarak gözükmemektedir. Bu sebeple endüstriyel ekoloji kavramı içerisinde bu atığa yeni kullanım alanları bulunması gereklidir.(Yüksel, 2006).

Bu çalışmanın amacı; Normal su ve %10 sodyum sülfat küründe 7, 28, 90 gün bekletilen çimento harçlarının basınç dayanımları ve boy uzamalarını belirlemektir. Ayrıca; yapılan çalışmalar ile birlikte çevreyi kirleten atıklara, yeni kullanım alanları bulunmasını sağlamaktır.

2. Materyal Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Çimento

Yapılan çalışmada TS 197-1'e uygun CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. (TS EN 1997-1, 2002)

Çizelge 1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal bileşim	**CEM I 42,5 R**
CaO (%)	66,04
SiO2 (%)	13,01
Al2O3 (%)	3,47
P2O5 (%)	7,6
MgO (%)	1,23
Na2O (%)	0,27
K2O (%)	0,93
SO3 (%)	4,6
Özgül ağırlık	3,18
Özgül yüzey (Blaine) (cm^2/g)	3352

2.1.2. CEN Referans Kumu

Çalışmada kullanılan kum, TS 196-1 standardında belirtilen CEN referans kumudur. (TS EN 196-1, 2002)

2.1.3. Yüksek Fırın Cürufu

Ereğli Demir Çelik Fabrikasından elde edilen yüksek fırın cürufu bol miktarda su ile hızlı bir şekilde soğutulmuş olup, Blaine inceliği 3750 cm^2/g dır. Kullanılan yüksek fırın cürufunun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir.

2.1.4. Taban Külü

Çalışmada Çatalağzı termik santralinden elde edilen ve karbon miktarını en aza indirmek için 900˚C de kalsine edilmiş Blaine inceliği 4350 cm^2/gr olan taban külü kullanılmıştır. Kullanılan taban külünün kimyasal analizi Çizelge 2. de verilmiştir.

Çizelge 2. Yüksek fırın cürufu (YFC) ve taban külünün (TK)kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşim	**Y F C**	**T K**
SiO_2 (%)	37,17	37,45
Al_2O_3 (%)	9,670	9,03
Fe_2O_3 (%)	0,990	8,02
CaO (%)	39,63	18,08
MgO (%)	5,400	5,79
Na_2O (%)	0,280	1,67
P_2O_5 (%)	3,640	11,75
K_2O (%)	1,190	1,88
SO_3 (%)	1,890	6,29

2.1.5. Su

Çalışmada kür suyu olarak içme suyu kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Malzeme Miktarları

Eğilme ve basınç deneyleri için ASTM C 1012 ve TS EN 196-1 standardına uygun olarak numuneler hazırlanmıştır. Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3'de verilmiştir (ASTM C1012, 2007).

Çizelge 3. Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları

TK+YFC İkame Oranı (%)	Çimento (g)	Taban Külü (g)	Yüksek Fırın Curufu (g)	Su (g)	CEN Standart Kum (g)
5	427.50	11.25	11.25	225	1350±5
10	405.00	22.50	22.50	225	1350±5
15	382.50	33.75	33.75	225	1350±5
20	360.00	45.00	45.00	225	1350±5

2.2.2. Basınç Dayanım Deneyleri

Basınç dayanımı deneyi TS EN 196-1'de belirtilen standartlarda yapılmıştır. 40×40×160 cm boyutundaki numunelerin su küründe 7, 28, 90 günlük dayanımları belirlenmiştir. (TS EN 196 – 1, 2002)

2.2.3. Harç Çubuklarının Boyca Uzama Deneyi

ASTM C 1012 standardına uygun olarak üretilen 25×25×285 cm boyutundaki numuneler normal su ve %10 g/l Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilerek 2, 7, 28, 90 günlük boy ölçümleri yapılmış ve boy uzamaları belirlenmiştir.

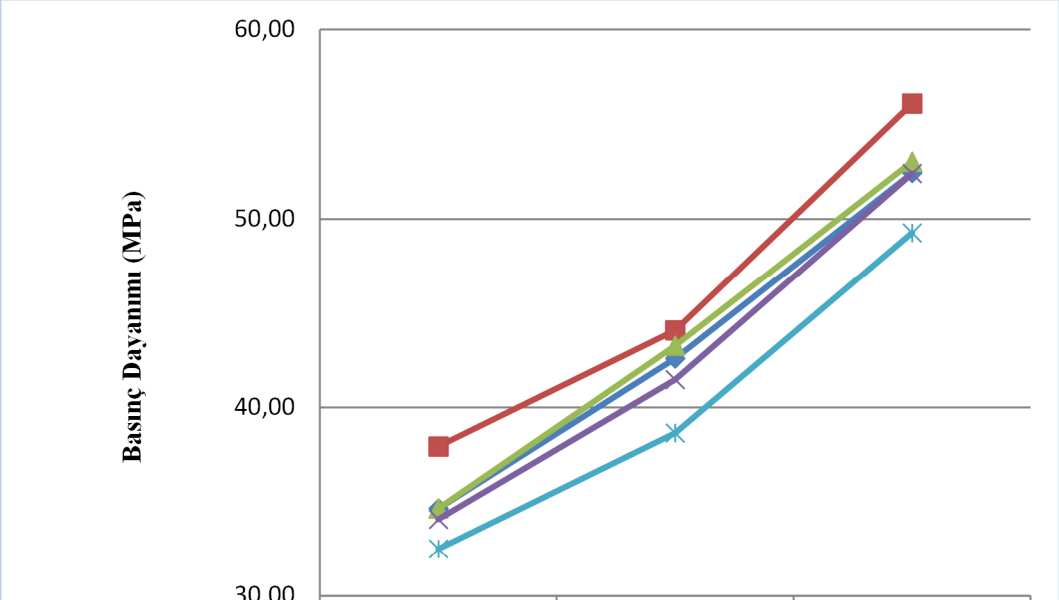
3. Araştırma Bulguları

3.1. Basınç Dayanımı

Taban külü ve yüksek fırın cürufu ikameli çimento harçlarında normal su ve %10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerin basınç dayanımları Çizelge 4. verilmiştir

Çizelge 4.TK+YFC İkameli Çimento Harçlarında NS ve SS de bekletilen numunelerin basınç dayanımları

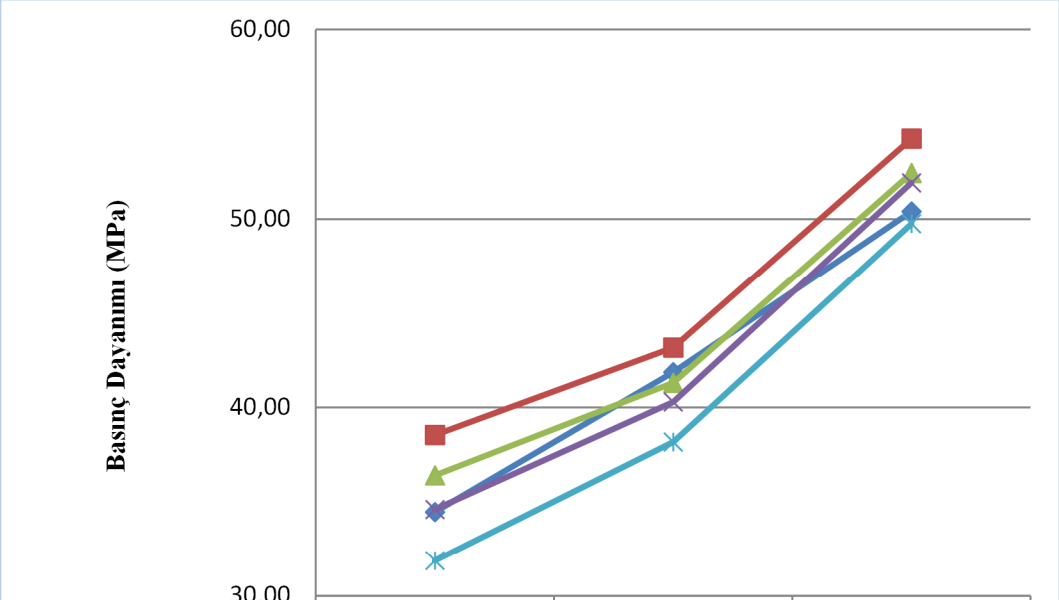
KOMPOZE DURUMU	7. GÜN (MPa)	28. GÜN (MPa)	90. GÜN (MPa)
ŞAHİT NS	34.65	42.60	52.43
%5 TK+YFC NS	37.94	44.09	56.10
%10 TK+YFC NS	34.66	43.27	53.03
% 15 TK+YFC NS	34.08	41.48	52.41
%20 TK+YFC NS	32.50	38.66	49.28
ŞAHİT SS	34.47	41.86	50.40
%5 TK+YFC SS	38.54	43.17	54.25
%10 TK+YFC SS	36.41	41.30	52.43
% 15 TK+YFC SS	34.61	40.29	51.92
%20 TK+YFC SS	31.87	38.17	49.75



	7 GÜNLÜK	28 GÜNLÜK	90 GÜNLÜK
ŞAHİT	34,65	42,60	52,43
% 5 TK+YFC NS	37,94	44,09	56,10
% 10 TK+YFC NS	34,66	43,27	53,03
% 15 TK+YFC NS	34,08	41,48	52,41
% 20 TK+YFC NS	32,50	38,66	49,28

Şekil 1. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (NS)

Çizelge 4 ve Şekil 1' e göre normal su (NS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.65 MPa, 42.60 MPa, 52.43 MPa iken % 10 TK+YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımları ise sırası ile 34.66 MPa, 43.27 MPa, 53.03 MPa olarak elde edilmiştir. Bu sonuca göre; 7, 28 ve 90 gün sonunda % 10 ikame oranında şahit numuneye göre basınç dayanımlarının yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca % 5 ikame oranında da tüm kür sürelerinde basınç dayanımlarının şahit numuneden yüksek olduğu 5 % ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü görülmüştür.

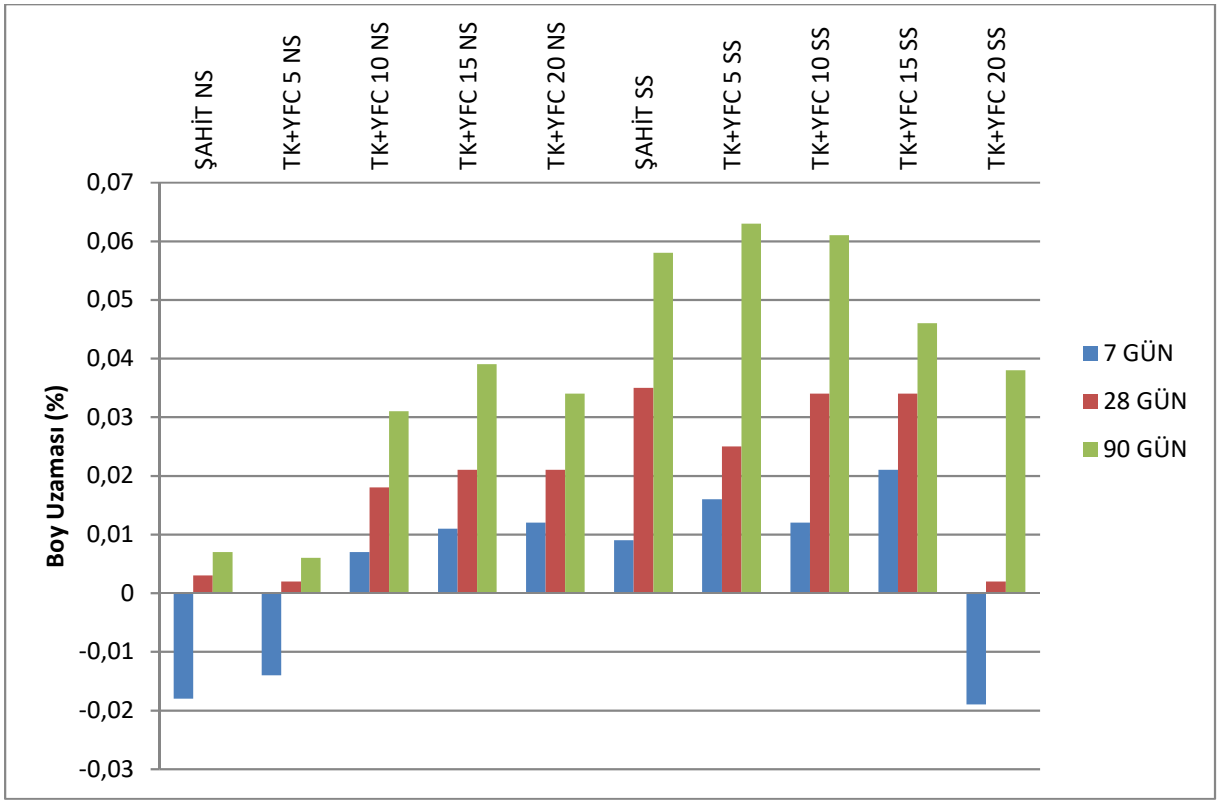


	7 GÜNLÜK	28 GÜNLÜK	90 GÜNLÜK
ŞAHİT	34,47	41,86	50,40
% 5 TK+YFC SS	38,54	43,17	54,25
% 10 TK+YFC SS	36,41	41,30	52,43
% 15 TK+YFC SS	34,61	40,29	51,92
% 20 TK+YFC SS	31,87	38,17	49,75

Şekil 2. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Basınç Dayanımı (SS)

Çizelge 4 ve Şekil 2' e göre %10 sodyum sülfat (SS) ortamında olgunlaştırılan numunelerin 7, 28, 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde, katkısız çimento harçlarının basınç dayanımları sırası ile 34.47 MPa, 41.86 MPa, 50.40 MPa iken %5 TK+YFC ikameli çimento harçlarının basınç dayanımlarının sırası ile 38.54 MPa, 43.17 MPa, 54.25 ile en yüksek değerleri aldığı buna bağlı olarak da % 5 ikame oranından sonra ikame oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü görülmüştür. Ayrıca % 15 ikame oranında 90 gün sonunda gözlenen basınç dayanımının şahit numuneden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

3.2. Boy Uzaması



Şekil 3. Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu Boy Uzaması (NS / SS)

Şekil 3 incelendiğinde, sodyum sülfat küründeki numuneler için 90 gün sonunda en fazla boy uzamasının % 5 ikame oranında en az boy uzamasının ise % 20 ikame oranındaki çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir, bu sonuca göre % 5 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikame oranında boy uzaması %10' a göre artmış olsa da Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikame oranı sodyum sülfat küründe arttıkça boy uzaması azalmıştır. Normal su küründeki boy uzamaları incelendiğinde ise, en az boy uzamasının %5 TK+YFC ikameli çimento harçlarında, en fazla boy uzamasının % 15 Taban Külü+Yüksek Fırın Cürufu ikameli çimento harçlarında olduğu gözlenmiştir.

4. Sonuçlar

- Normal su küründe olgunlaşan numunelerin 90 gün sonundaki sonuçlara göre % 5 TK+YFC ikameli harcın basınç dayanımının 56,10 MPa ile en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. Şahit numunenin basınç dayanımının 52,43 MPa olduğu göz önüne alındığında % 5 ikame basınç dayanımını arttırmıştır.
- % 10 Sodyum Sülfat küründe olgunlaşan numunelerin 90 gün sonundaki basınç dayanım sonuçlarına göre % 5 TK+YFC ikameli harcın basınç dayanımının 54,25 MPa ile en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. Şahit numunenin basınç dayanımının 50,40 MPa olduğu göz önüne alındığında % 5 TK+YFC ikamesinin yaklaşık % 8 oranında basınç dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir.
- 90 gün sonunda % 10 sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde ; % 5, % 10, % 15 TK+YFC ikamesinin şahit numuneye göre basınç dayanımını arttırdığı, görülmüştür.
- 90 gün sonunda normal su küründe olgunlaştırılan numunelerde ; % 10 TK+YFC ikamesinin şahit numuneye göre basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür.
- Normal su küründe olgunlaştırılan numunelerin minimum boy uzamaları karşılaştırıldığında; 90 gün sonunda şahit numune boy uzaması % 0.007 olurken, % 5 TK+YFC ikameli çimento harcında ise % 0.006 olmuştur. Bu da % 5 TK+YFC ikamesinin boy uzamasını yaklaşık olarak % 12 azalttığı görülmüştür.
- % 10 Sodyum Sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerin minimum boy uzamaları karşılaştırıldığında; 90 gün sonunda şahit numune boy uzaması % 0.058 olurken, % 20 TK+YFC ikameli çimento harcında ise % 0.038 olmuştur. Bu da % 20 TK+YFC ikamesinin boy uzamasını yaklaşık olarak 2 kat oranında azalttığı görülmüştür.
- Boy uzamalarının tümü göz önüne alındığında ilk günlerdeki boy uzamalarının ileriki zamanlardaki boy uzamalarına göre daha yavaş olduğu görülmüştür.
- Bazı örneklerde ilk günlerde boy uzaması yerine boy kısalması olduğu görülmüştür.
- Boy uzamaları için; %10 sodyum sülfat küründe ve normal su küründe olgunlaştırılan numunelerin boy uzama değerleri incelendiğinde numunelerin boy uzamalarının zamanla artış gösterdiği gözlenmiş olup ayrıca, sodyum sülfat küründe olgunlaştırılan numunelerde boy uzama miktarının daha fazla olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; yapılan çalışmada % 15 ikame oranına kadar TK+YFC ikamesinin hem normal su küründe hem de %10 sodyum sülfat küründe dayanım ve dayanıklılık açısından olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

5. Kaynaklar

Baradan B, Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 334, 2012

Erdoğan T., Beton, Metu Press, 2003

Peter C.H. (Editör), Lea's Chemistriy of Cement and Concrete, 4.th edition, 1997.

Topçu B.,Toprak U., Alkalilerle Aktive Edilen Taban Küllü Hafif Harç Üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt 22 Sayı 2, 2009

Aruntaş Y., Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 21, Sayı 1, 2006

Yüksel İ., Özkan Ö.,Bilir T., 'Kazanaltı Külü ile Briket Üretimi' Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 21, No 3, 527-532, 2006

TS EN 197-1, Genel Çimentolar- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterler, TSE, 2002

TS EN 196–1, Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım, TSE, (2002)

TS EN 196–3, Çimento Deney Metotları- Bölüm 3: Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Tayini, TSE, (2002).

ASTM C1012 / C1012M - 07 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution, Annual book of ASTM standards, Philadelphia, USA, (2007)

iSTE-CE'2019- International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering

13-15 June, 2019, Iskenderun, Hatay / TURKEY

The Chemical Aging Effects on Flexural Behavior of the FRP Composite and Steel Rebar Reinforced Concrete
(Oral)

H Ersen Balcıoğlu[1], Hakkı Şahin[2], Hakan Sarıkaya[3]

[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Uşak University, Turkey
[2] Graduate School of Natural and Applied Sciences, Uşak University, Turkey
[3] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Uşak University, Turkey
Emails: ersen.balcioglu@usak.edu.tr , hgsahin.6435@gmail.com , hakan.sarikaya@usak.edu.tr

Abstract

The reinforced concrete beam is a horizontal element that transfers the loads to the supports. For the concrete beams which are forced to bend downwards, compression and tensile stress occur on the upper and below side, respectively. For this reason, the reinforcement in the concrete beam is subjected to tensile stress. Apart from these loads, the environmental effects constitute a damage mechanism that was named as aging in the beams, which exposed to the corrosive effect of the external environment. Although the conventional approach is to reinforce concrete beams with steel reinforcements, fiber reinforced glass rebar (FRP) is used as a reinforcing element in concrete beams for different structural applications. In this study, flexural behavior, dehumidification quantities and chemical wear tendencies of reinforced concrete beams, which were aging with HCl acid solution having 5%, 10%, and 15% concentration, were investigated. In this context, the C30 concrete prepared in accordance with TS EN 12390-1 standard has been reinforced with FRP and steel rebars. The prepared concrete test samples were kept in a chemical solution along 1 month. Test results showed that the acidic environment adversely affects the bending behavior of concrete beams. In addition, it was observed that the post-aging flexural performances of FRP reinforced samples were better than steel reinforced samples.

Keywords: HCl solution, chemical aging, C30 concrete, FRP and steel rebar, flexural strength, dehumidification

1. Introduction

Concrete has been applied widely in civil engineering due to its low price, high strength and long durability, etc. However, it also has many drawbacks, such as poor tensile capacity, easy cracking, and alkaline property. As one of the most used structural material, concrete is inevitably exposed to the influence of environment corrosive. Environmental water, atmospheric precipitation, and wastewater with acidic character may be base sources of corrosion that many concrete structures are suffered. Under such an acid environment, the concrete strength, as well as the corresponding structural stability, will be impaired. By the

development of the industry, increasing environmental pollution and air pollution triggered to increase the number of water sources that have heavy H^+ ion and acid rains.

Pollution of acid rain was firstly observed in 1852. Presently, acid rain has become to be an increasing global environmental issue. The rainwater of most parts of Europe, the eastern parts of the United States, the southwest parts of China and parts of Japan has been strongly acidified. Currently, acid rain has covered more than one-third of Chinese territory. Many famous structures have been attacked by acid rain, such as Acropolis monument in Greece, the Statue of Liberty in America. Therefore, it is evident that the deterioration of construction materials will lead to fast degradation of the structures. Therefore, it is essential to have a good understanding of the deterioration mechanism of concrete in a severe environment. (Zhou, Zhu, Wang, & Qiu, 2018). There are numerous research projects and publications focusing on the deterioration of concrete structures.

Zhou et al. (Zhou et al., 2018) have studied the deterioration of the elastic modulus and fracture toughness of corroded concrete, three-point bending (TPB) tests. Test results showed that for the specimens immersed in pH 2.5 and 3.5 solutions, both the fracture toughness and the elastic modulus increase in the early stage and then decrease with the increase of corrosion time. On the other hand, for the specimens immersed in pH 1.5 solutions, both the elastic modulus and fracture toughness decrease almost linearly with immersion time. Al-Majidi et al. (Al-Majidi, Lampropoulos, Cundy, Tsioulou, & Alrekabi, 2019) have investigated the flexural performance of fiber reinforced geopolymer concrete beams under accelerated corrosion. Wang et al (Wang, Zhu, Sun, & Wang, 2017) have investigated the deterioration of fracture toughness for concrete caused by acid rain attack with laboratory-accelerated corrosion tests. The experimental results showed that the deterioration of concrete surface is large and the corrosion depth increases with corrosion duration. Fan et al. (Fan, Hu, & Luan, 2013) have performed a study on the evaluation of the tensile properties of concrete exposed to acid rain environment. Chen et al (Chen, Wang, & Xie, 2013) have studied the deterioration mechanism of cementitious materials under simulated acid rain solution, which was prepared by mixing pure chemical reagents such as H_2SO_4, HNO_3, $MgSO_4$, and $(NH_4)_2SO_4$. The experimental results show that the deterioration of cementitious material specimens under acid rain attack was mainly caused by the coupling of H^+ and SO^{2-}_4. The study conducted by Kanazu et al. (Kanazu, Matsumura, Nıshıuchi, & TAKESHI, 2001), concrete beams were exposed to simulated acid rain. According to the results, it was understood that the wear depth of the samples was related to the pH level and the amount of precipitation and the change was linearly changed. Siad et al. (Siad, Lachemi, Sahmaran, & Hossain, 2015) added 5%, 15% and 45% of rate glass dust to the concrete to increase the durability of the cementitious materials exposed to the acid media. The effects of sulfuric acid on glass powder limestone powder, glass powder - fly ash and glass powder - slag were also

investigated. Test results showed that samples with glass powder added were found to be more resistant to sulfuric acid.

Nowadays, the most commonly used materials for reinforcing concrete structures are steel rebars. The corrosion of steel reinforcement has become one of the most serious factors leading to the deterioration of reinforced concrete structures, especially for those subjected to severe environmental conditions. Fiber-reinforced polymer (FRP) bars have proven to possess advantageous characteristics over steel reinforcement, such as high tensile strength, low density, corrosion resistance, and low strength-to-weight ratio. Statistics indicate that 85% of bridge failures in the world from 1980 to 2012 occurred in North America, where approximately 5% of them failed due to steel corrosion. In addition, steel corrosion reduces the service life of concrete bridge girders on highways to 37 years and on roadways to 45 years. In addition, expenditures resulting from steel corrosion were approximately $46.4 billion annually in Canada (Lee, Mohan, Huang, & Fard, 2013). Therefore, FRP bars in different forms such as longitudinal bars, stirrups, and hoops are becoming a potential reinforcing material in concrete structures to eliminate corrosion problems and improve the performance of structures (Barros, Taheri, Salehian, & Mendes, 2012). Studies in the literature about the mechanical performance of concrete beams reinforcing with FRP rebar are less than those reinforcing by steel reinforcement.

Dong et al. (Dong, Zhou, & Wang, 2019) have investigated the flexural performance of concrete beams reinforced with FRP bars under for point bending load. Abed and Alhafiz (Abed & Alhafiz, 2019) have examined flexural capacity, ductility, failure mode, and crack distribution for concrete beams, which were reinforced with basalt fiber reinforced polymer composite rebar. Abdelkarim et al. (Abdelkarim, Ahmed, Mohamed, & Benmokrane, 2019) have investigated serviceability, strength, and deformability of concrete beams reinforced with deformed glass-fiber reinforced polymer rebars under flexural loading. Yoo et al. (Yoo, Banthia, & Yoon, 2016) have compared the flexural behavior of concrete beams reinforced with glass fiber-reinforced polymer (GFRP) rebars and hybrid reinforcements (steel + GFRP rebars).

When the studies in the literature are taken into consideration, the strength of witness samples under different chemical environment conditions has been examined. In this study, the mechanical behavior of reinforced concrete beams reinforced by fiber reinforced polymers and steel bars in an acidic environment was investigated. In this context, samples that have been kept in 5%, 10% and 15% acid solution for 1 month has been tested under three-point bending. For a better understanding, the effect of the acid environment, the test results were compared with the results of concrete beams that have not been exposed to chemical effects. Besides, the weight measurements of the samples before immersion in the acid solution and

the weight measurements after immersion have been compared and the chemical wear amounts at each acid concentration have been determined.

2. Material and Method

2.1. Manufacturing of Reinforced Concrete Beams

In order to study the effect of acid environment on the three-point bending (TPB) specimens were manufactured according to TS EN 12390-1 standard (12390-1, 2002). For this purpose, concrete beams were produced in the size of 10x10x40mm by using C30 pure concrete. According to the Turkey Earthquake Building Regulations, it is determined as the lowest-strength concrete class C25. However, in the construction sector, the use of C30 concrete is more common. 1 mm² of C30 concrete is a type of concrete that can withstand 30 Newton load. The constituent materials used in the concrete for the casting of beams were cement, fine aggregate, coarse aggregate and water. The concrete to be produced in the scope of the study is prepared in dry plastic consistency. Accordingly, the mixture calculations were made a maximum grain diameter of 22 mm on the basis of the unit volume weight method. Aggregate mixing ratios were taken to be 52% thin (0-5 mm), 14% medium (5-11mm) and 34% thick (15-22 mm). The detailed mixture proportions are summarized in Table 1.

Table 1 - Mix proportions of C30

Thin Aggregate	Medium Aggregate	Thick Aggregate	Cement	Water	Additive (fly ash)	Water/Cement
968 kg	267 kg	648 kg	320 kg	162	3,4 kg	0.51

Natural municipal water was used for the mixing process. The mixing process was done with the help of a vertical axis mixer. In order to determine the consistency of the semi-product concrete, the amount of slump, concrete temperatures, and unit volume weights were measured by Abrams' cone. After mixing mortar concrete was placed into a mold having 100x100x400 mm dimension on the vibratory table, in three stages. At each stage, the mortar was vibrated by the vibratory table tool for 10 seconds. Mixing was carried out for a total of 300 s (5 min), 30 s dry (coarse aggregate, fine aggregate, and binder), 90 s (first one-minute water addition), 60 s rest and 120 s mixture (Figure 1).

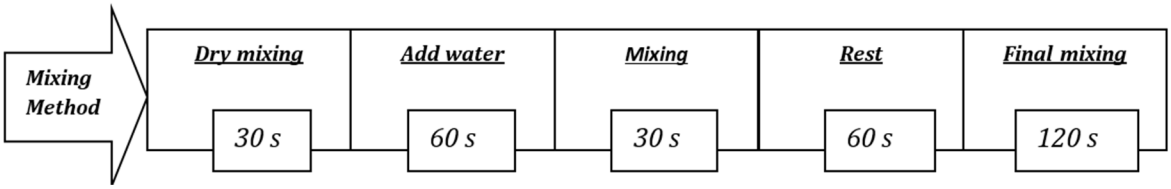


Figure 1 - The detail of the mixing process

In order to reinforce the concrete beam, two types of reinforcements such as FRP and Steel rebar with ribs has utilized in this study. With the aid of the ribs of rebar, it becomes more difficult to remove the reinforcement from the concrete. The use of non-ribbed reinforcement is prohibited at the ends of beams, columns, and curtains with the 2007 Earthquake Code (TEC (Turkish Earthquake Code), 2007). The standard for reinforced concrete steel bars is TS 708. Symbols of reinforced concrete steels defined in TS 708: 2010: S220, S420, B420B, B420C, B500A, B500B, B500C (TS 708, 2013) . In this study, B420C steel class has used. Some of the mechanical properties of B420C were given in Table 2.

Table 2 - Mechanical properties of B420C steel rebars

Yield Strength ($f_{yk} = R_e$) (MPa)	≥420
Tensile Strength / Yield Strength ($f_{su}/f_{yk} = R_m / R_e$)	≥1.15 / <1.35
Damage Unit Extension $\varepsilon_{su} = A_S$ (%)	≥12

Glass Fiber reinforcement polymer (GRFP), is a new kind of composite material which glass fiber as reinforcement material, combines with vinyl ester resin and curing agent. GFRP rebar has become material for replacing steel bars in reinforced concrete structures, and have good corrosion resistance and electromagnetic neutrality. GFRP rebars widely used in highways, bridges, airports, terminals, stations, water conservancy projects, underground engineering, and other fields. Also, they are suitable for corrosive environments such as sewage treatment plants, chemical plants, electrolysis tanks, manhole covers, and coastal defense projects (Figure 2).

Figure 2 - Applications of GFRP rebars in reinforced concrete structures

The GFRP reinforcement was manufactured by continuously pultruding highly resistant glass fibers impregnated with a thermosetting vinyl ester resin. The GFRP bars were manufactured by Henan Top Industry Technology Co., Ltd. in China and have a deformed surface to enhance bond and force transfer between the bars and concrete. The mechanical properties of used GRFP rebars were given in Table 3.

Table 3 - Mechanical properties of fiber reinforced polymer rebars

Density (g/cm^3)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Ultimate Shear Strength (MPa)	Elasticity Modulus (GPa)
2.2	1500	150	40

In accordance with TS EN 12390-1, 54 piece molds were used for the flexural test (Figure 3a-b). The concrete of all beams was poured from the same mixer in order to avoid any difference in the strength and quality of concrete. The molds have been first filled halfway (Figure 3c). In accordance with TS EN 12390-2 regulation, the compaction process has made by stabbing. Then the other half of the molds were filled and stabbed. After the concrete pouring process, the molds were shaken by the help of the rammer (Figure 3d). The purpose of the stabbing and shaking process was to ensure that the concrete was well placed in the mold and there was no gap in the concrete.

(a)

(b)

(c) (d)

(e)

Figure 3 - Manufacturing steps of reinforced concrete beams

The test specimens were stored in water at room condition according to TS EN 12390-2, according to TS EN 12390-2, to obtain a 28-day strength after removal from the mold (Figure 3e). After 28 days, the samples taken out from the water were allowed to dry under room conditions. After the drying process is finished, three for each number from all (witness sample, FRP reinforced sample, and Steel reinforced sample) have settled in HCl acid solution.

2.2. Laboratory-Accelerated Corrosion

Laboratory-accelerated corrosion is a useful and applicable approach, and it has been applied by several researchers (Bassuoni & Rahman, 2016; Chen et al., 2013; Janfeshan Araghi, Nikbin, Rahimi Reskati, Rahmani, & Allahyari, 2015). In this study, concentrated hydrochloric acid was used to make corrosion solutions. Three concentration levels of

corrosion solutions with the percentage value %5, 10%, and 15% respectively, were prepared. The dry weight of each sample was weighed before the test samples were thrown into the solution. The specimens were immersed in acid solutions and the top of the specimens was more than 5cm below the solution surface since there was evaporation loss of the solutions. After the samples were removed from the corrosion solutions, their wet weights were weighed and then naturally dried for 72 hours. After drying, it was finally weighed to determine the weight losses caused by the acid solution.

2.3. Three-Point Bending Tests

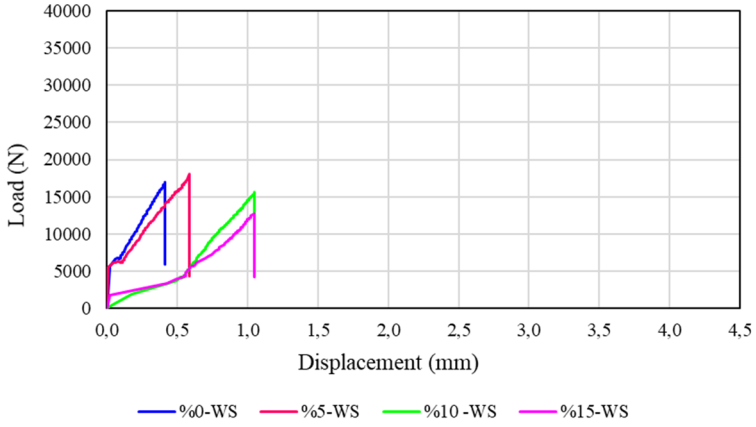
In order to study the effect of acid environment on concrete flexure, the three-point bending (TPB) specimens were made by using concrete with small size coarse aggregate. The specimens were immersed in acid solutions, and then these specimens were applied in three-point bending experiments. According to TS 205 definitions for the flexural test; generally, the middle of the circular or rectangular cross-section that a straight-fitting on the two supports is defined as a change of shape when a bending force is applied to without changing direction.

Figure 4 - Three-point bending test sample and test set up

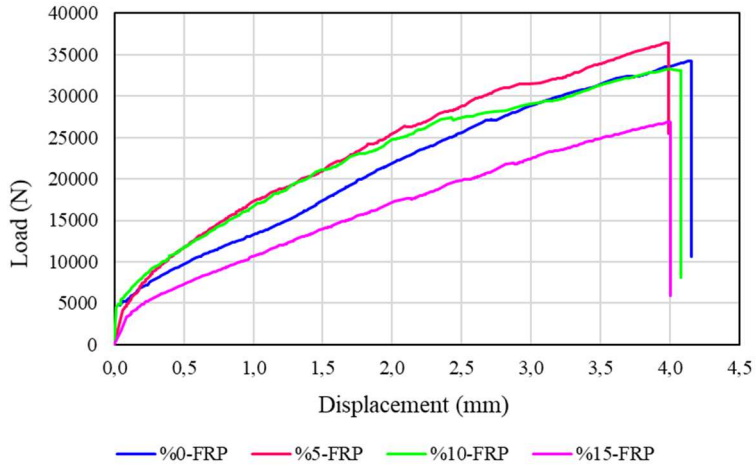
The three-point bending (TPB) tests of the corroded specimens were carried out by means of a 300 kN electronic universal testing machine which was controlled by a computer. The loading rate was controlled by load 500N/min which could make crack propagation slowly. The distance between two supports of the concrete specimen was 300 mm in the TPB tests, and the loading equipment is shown in Figure 4. During the three-point bending tests, the load-displacement behavior of each sample was determined by computer-aided software.

3. Result and Discussion

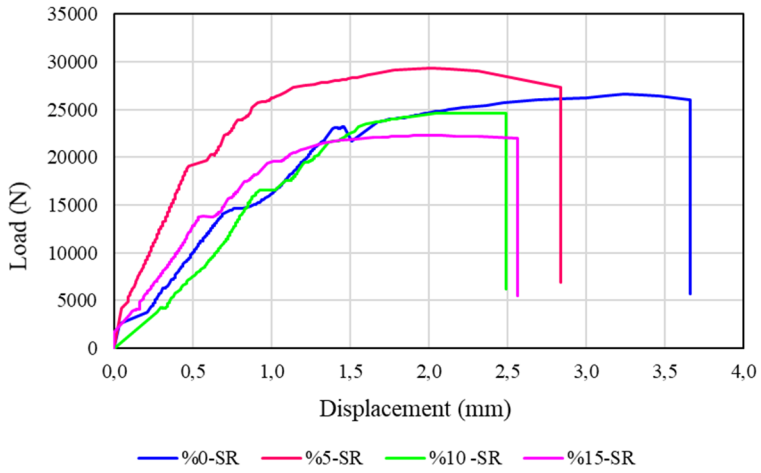
In the three-point bending experiments, the loads and the strains of the corroded specimens were obtained from the computer-aided software. The typical curve of loads versus strains of the corroded specimen with an acidic solution with %5, %10, and %15 concentration percentage along the days of 30 immersion time is shown in Figure 5.



(a)



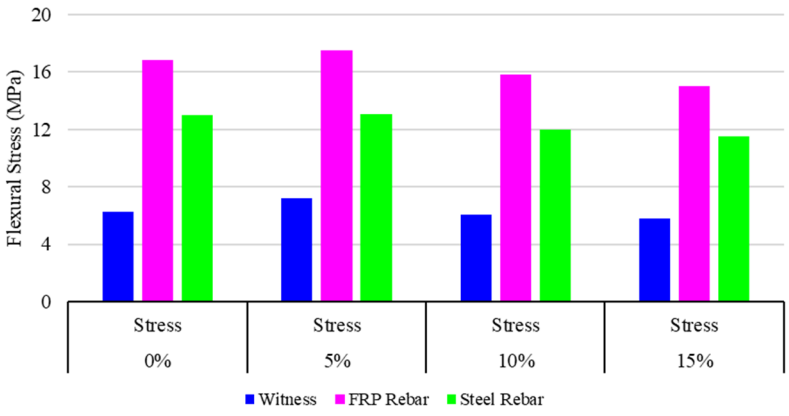
(b)



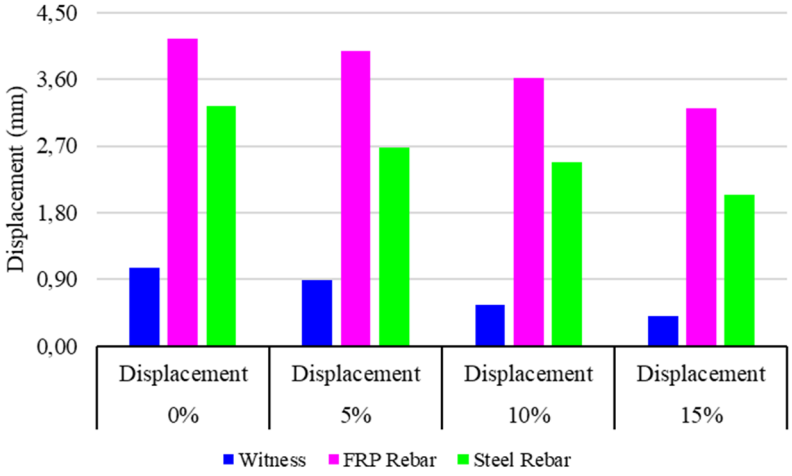
(c)

Figure 5 - Load-displacement curves of concrete beams (a) witness, (a) FRP reinforced, and (c) Steel Rebar reinforced

Figure 5 showed that the flexural behavior of concrete beams reinforced with Steel Rebar (SR) and FRP reinforcement was different. Bending load-bearing capacity of FRP reinforced concrete beams increased approximately 2 times compared to the witness samples. Similarly, it is about 1.5 times the increase value for steel reinforced samples. In addition, it can be said that FRP reinforced concrete beams have better flexural deformability than the ones with steel rebar reinforced. In terms of deformation, FRP reinforced and steel reinforced concrete exhibited different behavior. The FRP reinforced concrete beam had a linear relationship between load and displacement. When the load reached the maximum value, it was fracture as brittle without deformation. When the steel reinforced concrete beam reached the damage load, the deformation axis showed a horizontal behavior. This is an indication of the ductility of the structure.



(a)



(b)

Figure 6 - The comparison of (a) flexural stress and (b) displacement values under three-point bending.

In Figure 6, flexural strengths and displacement values of the concrete beams, which were kept in acidic solutions of different concentrations, were compared. Maximum bending strength 17.5 MPa was obtained from concrete beams which were reinforced with FRP rebar and kept in 5% acidic solution. The minimum flexural strength was found as 5.82 MPa from witness sample that retained in 15% acidic solution. When the displacement values were examined, a maximum damage displacement value of 4.15mm was obtained from the witness sample reinforced with FRP rebars. The minimum damage displacement value was found to be 0.41 mm from the witness sample kept in 15% acid solution. Flexural strength and displacement values were given in Table 4 for each type of reinforcement and solution concentration.

Table 4 - Flexural strength and displacement values of tested concrete beams

Reinforcement Type	0%		5%		10%		15%	
	Stress (MPa)	Disp. (mm)	Stress (MPa)	Disp. (mm)	Stress (MPa)	Disp. (mm)	Stress (MPa)	Disp. (mm)
Witness	6.25	1.05	7.23	0.89	6.03	0.56	5.82	0.41
FRP Rebar	16.80	4.15	17.50	3.99	15.82	3.62	15.02	3.21
Steel Rebar	12.96	3.24	13.05	2.68	11.98	2.49	11.52	2.04

On the basis of the flexural strength and displacement values of the witness samples according to reinforcement type, reinforcing the concrete beam with FRP rebar increased the flexural strength and damage deformation capacity of the samples up to 168% and 546%, respectively. Similar comparing was performed for samples reinforced with steel rebar, it was seen that the flexural strength and damage deformation capacity increased up to 107% and 396%, respectively.

When bending strength and displacement values were examined in terms of acid solution concentration, it was seen that the degradation behavior was not linear. Accordingly, it was observed that the flexural strength of the concrete beams that kept in 5% acid solution increased up to 15%. A maximum of 11% reduction in flexural strength was observed in the samples that kept in more than 5% acid solution. This result is related to the findings in the literature (Zhou et al., 2018). When the effect of the acid solution on the three-point bending damage deformation is examined, the damage deformation value decreased, when the acid concentration increases. The maximum decrease value in the deformation capacity was seen in the witness samples and this value was around 60%. The maximum decrease value for samples reinforced with FRP and Steel rebars was 22% and 37% respectively. Considering the results obtained in this respect, it can be said that the reinforcement of FRP rebar for concrete structures is a good alternative.

Under the acid environment, the concrete surface is deteriorated and the surface color will change accordingly. The color is related to immersion time and the concentration percentage of the solutions. Color of surface turned from light grey to brown by the effect of acidic solutions (Figure 7). It was observed that this turning increased with increasing acidity. Due to the high concentration of H+, dissolving corrosion occurs rapidly on the surface of concrete, finally leading to the failure of cementitious material. After being immersed in the acid solutions for 30 days, it is seen that the corroded surface becomes softened and pulpified. Since the samples were kept in water for 28 days before being introduced into the acid solutions, no capillary cracks such as shrinkage cracks were formed and the samples were saturated with water. Therefore, the acid solution could not be penetrated into the samples. Thus, corrosion occurred outside the samples.

Witness 5% 10% 15%

Figure 7 - Surface description of concrete specimens immersed in acid solutions

The initial weight (w_i) of each sample was weighed before the test samples were thrown into the acid solutions. Samples, which immersion period was complete, were weighed as wet (w_w) immediately after removal from the solution and the dehumidification quantities were calculated according to Equation 1.

$$\% \text{ Dehumidification} = \frac{w_w - w_i}{w_i} \text{x} 100 \quad (1)$$

Then, the wet samples were dried in laboratory conditions for 10 days. After the drying process was completed, the dry weights (w_d) were weighed again and the weight losses under the acid solution were calculated according to Equation 2. The percentages of dehumidification and weight loss were given in Table 5.

$$\% \text{ Mass Losses} = \frac{w_i - w_d}{w_i} \text{x} 100 \quad (2)$$

Table 5 – The percentages of dehumidification and weight loss

	% Dehumidification	% Weight Loss
5%	0.6715	0.1722
10%	0.6333	0.5817
15%	0.8551	1.5007

When Table 5 is examined, it is seen that the amount of dehumidification of C30 concrete in an acidic environment is around 0.71%. There is a linear relationship between weight loss and solution concentration. Accordingly, as the percentage of acidity increases, weight loss increases. Maximum weight loss was found to be 1.5% in the samples which were kept in 15% acid solution.

4. Conclusion

Knowing the behavior of reinforced concrete structures under environmental influences is an important issue both for determining the service life of the building and the safety of life. In

this study, flexural strengths, deformation capacities, dehumidification and weight losses of reinforced and unreinforced concrete beams, which were kept in different acidic solutions along a period of 1 month, were investigated. The findings obtained from the experimental study were given below.

- Under acid environments, concrete will be corroded, and the color of the concrete surfaces will turn from light grey to yellow or tan. Inside the corroded concrete, the microstructures will be porous and loose, and cracks or microcracks will be developed.

- Flexural strengths increased in the samples that kept in 5% acidic solution. When increasing the acidity of the solution from this point, the flexural strength decreased. This shows that the samples which were kept in water for 28 days were not affected by acidic solution with 5% and H^+ ions cause only surface degradation. The 10% and 15% acid solution adversely affects the elastic behavior of the concrete beam and it causes the maximum reduction of 11% in the flexural strength

- Deformation capacities of concrete beams, which were kept in acidic solutions, decreases as the acidity level increases. This shows that the concrete structure becomes brittle in the acidic environment.

- The dehumidification tests showed that the dehumidification behavior of the C30 concrete was not significantly influenced by the acid concentration. However, if the acidity level increased, the weight loss of the C30 concrete decreased.

References

12390-1, T. S. E. (2002). *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1 : Deney numunesi ve kalıpların şekil, boyut ve diğer özellikleri*.

Abdelkarim, O. I., Ahmed, E. A., Mohamed, H. M., & Benmokrane, B. (2019). Flexural strength and serviceability evaluation of concrete beams reinforced with deformed GFRP bars. *Engineering Structures*, *186*(December 2018), 282–296. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.02.024

Abed, F., & Alhafiz, A. R. (2019). Effect of basalt fibers on the flexural behavior of concrete beams reinforced with BFRP bars. *Composite Structures*, *215*(February), 23–34. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.050

Al-Majidi, M. H., Lampropoulos, A. P., Cundy, A. B., Tsioulou, O. T., & Alrekabi, S. (2019). Flexural performance of reinforced concrete beams strengthened with fibre reinforced geopolymer concrete under accelerated corrosion. *Structures*, *19*(February), 394–410. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.02.005

Barros, J. A. O., Taheri, M., Salehian, H., & Mendes, P. J. D. (2012). A design model for fibre reinforced concrete beams pre-stressed with steel and FRP bars. *Composite Structures*, *94*(8), 2494–2512. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.03.007

Bassuoni, M. T., & Rahman, M. M. (2016). Response of concrete to accelerated physical salt attack exposure. *Cement and Concrete Research*, *79*, 395–408. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.02.006

Chen, M. C., Wang, K., & Xie, L. (2013). Deterioration mechanism of cementitious materials under acid rain attack. *Engineering Failure Analysis*, *27*, 272–285. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.08.007

Dong, H. L., Zhou, W., & Wang, Z. (2019). Flexural performance of concrete beams reinforced with FRP bars

grouted in corrugated sleeves. *Composite Structures*, *215*(February), 49–59. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.052

Fan, Y. F., Hu, Z. Q., & Luan, H. Y. (2013). Deterioration of tensile behavior of concrete exposed to artificial acid rain environment. *Interaction and Multiscale Mechanics*, *5*(1), 41–56. https://doi.org/10.12989/imm.2012.5.1.041

Janfeshan Araghi, H., Nikbin, I. M., Rahimi Reskati, S., Rahmani, E., & Allahyari, H. (2015). An experimental investigation on the erosion resistance of concrete containing various PET particles percentages against sulfuric acid attack. *Construction and Building Materials*, *77*, 461–471. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.037

Kanazu, T., Matsumura, T., Nıshıuchi, T., & TAKESHI, Y. (2001). *EFFECT OF SIMULATED ACID RAIN ON DETERIORATION OF CONCRETE*. *130*, 1481–1486.

Lee, G. C., Mohan, S. B., Huang, C., & Fard, B. N. (2013). A Study of U . S . Bridge Failures by. *MCEER Technical Rep*. Retrieved from https://mceer.buffalo.edu/pdf/report/13-0008.pdf

Siad, H., Lachemi, M., Sahmaran, M., & Hossain, K. M. A. (2015). Effect of glass powder on sulfuric acid resistance of cementitious materials. *Construction and Building Materials*, *113*, 163–173. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.049

TEC (Turkish Earthquake Code). (2007). *Specifications for Structures to be Built in Disaster Areas*. *1*(1), 1–156.

TS 708. (2013). *Celik - Betonarme icin - Donati celigi*. *2012*(112).

Wang, Z., Zhu, Z., Sun, X., & Wang, X. (2017). Deterioration of fracture toughness of concrete under acid rain environment. *Engineering Failure Analysis*, *77*, 76–84. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.02.013

Yoo, D. Y., Banthia, N., & Yoon, Y. S. (2016). Flexural behavior of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete beams reinforced with GFRP and steel rebars. *Engineering Structures*, *111*, 246–262. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.003

Zhou, C., Zhu, Z., Wang, Z., & Qiu, H. (2018). Deterioration of concrete fracture toughness and elastic modulus under simulated acid-sulfate environment. *Construction and Building Materials*, *176*, 490–499. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.049

Cam Tozu Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Emriye ÇINAR[1], Behçet DÜNDAR[2], Ebru ŞAHİN[3]

[1,2,3] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye
E-postalar: behcetdundar@osmaniye.edu.tr, emriyecinar@osmaniye.edu.tr, e_ebrusahin@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada, öğütülmüş atık cam tozu ve polipropilen lif kullanımının çimento esaslı harçlarda taze, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Harçların yapımında agrega olarak kırma kum, bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Harçlarda su/bağlayıcı oranı 0.5 olarak sabit tutulmuştur. Mineral katkı olarak kullanılan öğütülmüş atık cam tozu, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame yapılarak kullanılırken, polipropilen lif hacimce %0, %0.1, %0.3 ve %0.5 oranlarında ikame edilmiştir. Üretilen harç numuneleri 7. günde eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Kür havuzunda 28. gününü tamamlayan numunelere su emme yüzdesi, porozite yüzdesi ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılarak fiziksel özellikleri; eğilme ve basınç deneyleri yapılarak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Atık cam tozu oranının artmasıyla birlikte yayılma değerlerinde artış gözlenirken, lif oranının artmasıyla birlikte yayılma değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Öğütülmüş cam tozu oranının artmasıyla birlikte eğilme dayanımında artış, basınç dayanımın azalma gerçekleşmiştir. Lif içeriğinin artmasıyla birlikte eğilme ve basınç dayanımlarında artış görülmüştür.

Anahtar Kelime: Lifli Harç, Atık Cam Tozu, Polipropilen Lif

1.GİRİŞ

Son yıllarda artan nüfus, endüstriyel tesislerin artması ve insanların tüketim miktarının artmasıyla birlikte artan atıklar çevre sorunlarını meydana getirmektedir. Ortaya çıkan bu çevre sorunları; atık malzemelerin depolanması, imha edilmesi veya yeniden değerlendirilmesiyle azaltılabilinmekte veya ortadan kaldırılabilinmektedir (Kılıçoğlu, 2013). Günümüzde kaliteli ve ekonomik yapı malzemelerine olan ihtiyacın her geçen gün artması, bazı endüstriyel atıkların yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi konusunda çalışmalar doğurmuştur (Özkan, 2007; Liu, 2011). Bu çalışmalar gerek ekonomik gerekse çevre sorunlarını çözme bakımından büyük önem taşımaktadır.

Camlar, şişe camı, pencere camı, ampül camı, cam süs eşyaları gibi günlük hayatta kullandığımız birçok malzeme üretiminde kullanılmaktadır (Özkan, 2007). Bu malzemelerin kullanımdan sonra ortaya çıkan atık camları agrega yerine, çimento üretiminde, filler malzeme olarak ve puzolanik katkı olarak çimento yerine kullanılabilmektedir. Yıkanarak yabancı maddelerden temizlenen cam tozları öğütme işlemine tabi tutulduktan sonra beton üretiminde kullanılır. Atık camlar beton üretiminde kullanılmadan önce, yıkanarak yabancı

maddelerden öğütme işlemine tabi tutulur. Öğütme işleminden sonra elenerek tane büyüklüğüne göre sınıflara ayrılır. İri malzemeler betonda agrega yerine, toz malzemeler ise çimento yerine veya filler malzeme olarak kullanılır (Baradan, 2003).

Beton içerisinde maksimum 38µm tane çaplı cam tozu kullanımının puzolanik etki gösterdiğini tespit etmişlerdir (Shao vd., 2000). Beton yüzyılı aşkın süredir tüm dünyada yapı malzemesi olarak kullanılmakta ve her geçen gün kullanım alanları artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Portland çimentosunun imal edilmesiyle inşaat hayatına başlayan beton sektörü her gün gelişmektedir. Betonun en büyük dezavantajı çekme dayanımının ihmal edilebilecek kadar düşük olmasıdır. Bunun yanında kullanım alanı veya kullanılan yapıya göre betondan farklı performanslar beklenmektedir. Bu beklentiler ancak özel betonlarla karşılanabilmektedir. Bu özel beton türlerinden biri olan lifli beton ise beton ve çimentolu malzemelerde çeşitli özelliklerde liflerin kullanımı esasına dayanmaktadır (Arazsu, 2012).

Beton gibi çimento esaslı malzemeler çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi çok düşük gevrek yapıdaki malzemelerdir. Geleneksel beton tipik olarak; yorulma dayanımı, kavitasyon ve aşınma dayanımı, çekme dayanımı, deformasyon kapasitesi, kayma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıf performans gösterir. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde beton içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun yukarıdaki zayıf özellikleri iyileştirilerek beton gibi malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur (Açıkgenç vd., 2012). Böylece betonda da polipropilen lif, karbon lif, plastik-cam bazlı lif ve çelik lifler kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat Mühendisliği alanında, sağladığı avantajlar bakımından lifli betonların önemi hızla artmaktadır ve kompozitlerin özeliklerini geliştirmek adına önemli adımlar atılmıştır. Bu çalışmada kullanılan polipropilen lif, malzeme olarak termoplastiklerin içinde yer alan ve oldukça hafif bir polimerdir. Günlük hayatta kullanılan plastiklerin hemen hemen yarısının hammaddesini oluşturur. Bu açıdan da bakılacak olursa üretimi ucuz olan bir plastik olduğunu da söylemek mümkündür. Beton veya sıvada polipropilen lifli betonun en önemli etkisi, beton dökümünden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzülmelerden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşme, prizlenmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzülmelerden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibariyle su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve buharlaşmanın tabii bir sonucudur. Özellikle çok güçlü olmayan büzülmelere karşı polipropilen lifler tercih edilmektedirler (Arazsu, 2012; Bekaert, 1998).

Bu çalışmada, mineral katkı olarak kullanılan atık cam tozu, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame yapılarak kullanılırken, polipropilen lif hacimce %0, %0.1, %0.3 ve %0.5 oranlarında ikame edilmiştir. Taze haldeki harçlara yayılma deneyi yapılarak işlenebilirlikleri karşılaştırılmıştır. Harçların yayılma değerleri ölçüldükten sonra, kalıba yerleştirilip 24 saat sonra kalıptan çıkartılarak standart kür havuzuna bırakılmıştır. 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde basınç ve üç noktalı eğilme deneyi yapılarak dayanımları bulunmuştur. 28. günü dolduran numunelerin su emme yüzdeleri, porozite ve birim hacim ağırlık gibi fiziksel özelikleri belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Kullanılan Materyaller

Harç numunelerinin üretimin de agrega olarak 0-4 mm boyutlarında kırma kum kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen CEM I 42.5 R tipi çimento seçilmiştir. Puzolanik malzeme olarak kullanılan Şekil 1'deki öğütülmüş atık cam tozunun kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir.

Şekil 1. Öğütülmüş atık cam tozu

Tablo 1: Atık cam tozunun kimyasal analizi (Vijayakumar vd., 2013)

Kimyasal Bileşenleri	İçerik Oranları (%)
SiO_2	67.33
Al_2O_3	2.62
Fe_2O_3	1.42
TiO_2	0.16
CaO	12.45
MgO	2.74
Na_2O	12.05
K_2O	0.64
ZrO_2	0.02
ZnO	0.01
SrO	0.02
P_2O_5	0.05
NiO	0.01
CuO	0.01
Cr_2O_3	0.02

Deneysel çalışmada lifli harç üretimi için kullanılan Şekil 2'deki polipropilen lifin teknik özelikleri Tablo 2'de verilmiştir.

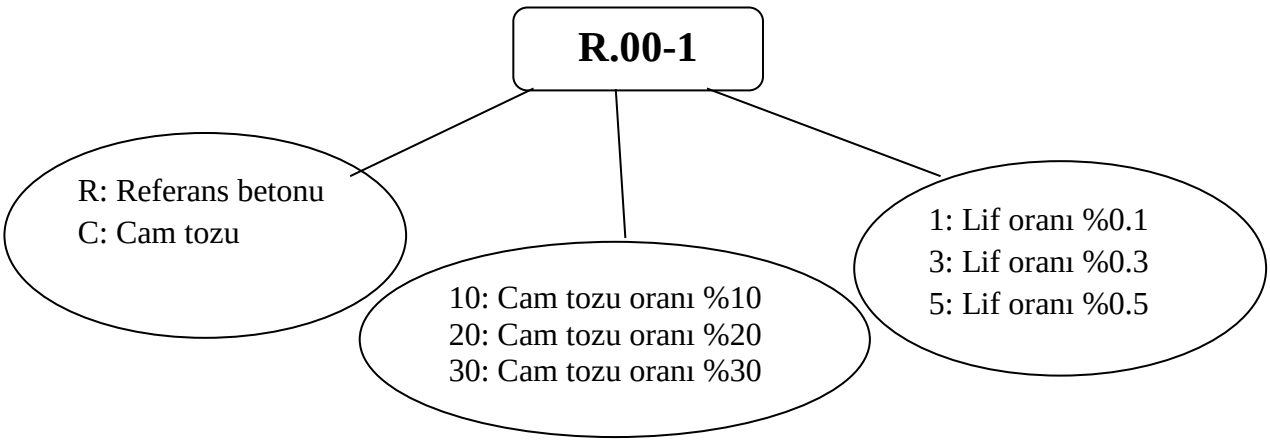
Tablo 2. Polipropilen lifin teknik özellikleri (Akkaş vd., 2010)

Teknik Özellikler	Açıklama
Kimyasal yapı	% 100 polipropilen
Yoğunluk	0,91 g/cm^3
Lif uzunluğu	12 mm
Lif Çapı	18 mikron-nominal
Su emme	Eser miktarda
Ergime noktası	160 °C
Tutuşma sıcaklığı	365 °C
Isı iletkenliği	Düşük
Liflerin özgül yüzey alanı	250 m^2/kg
Asit drenci	%100
Çekme Dayanımı	300-400 MPa
Elastisite Modülü	~4000 MPa

Şekil 2. Polipropilen lif

2.1. Numune Üretimi

Harç üretiminde, su/bağlayıcı oranı 0.5 olarak sabit tutulan standart harç karışım oranları kullanılmıştır. Mineral katkı olarak kullanılan öğütülmüş atık cam tozu, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame yapılarak harçlar üretilmiş ve bu harçlara polipropilen lif hacimce %0, %0.1, %0.3 ve %0.5 oranlarında ilave edilmiştir. Toplamda kontrol numuneleri de dahil olmak üzere 16 adet numune hazırlanmıştır. Üretilen harç numunelerine ait isimlendirme şeması Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Deney serilerinin isimlendirilmesi

Numune üretimi için kullanılan malzeme karışım miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Harç karışım miktarları (gr)

Seri Adı	Çimento	Agrega	Su/Çimento	Cam tozu	Polipropilen Lif
R	450	1350	0.5	-	-
R-1	450	1350	0.5	-	0.4
R-3	450	1350	0.5	-	1.2
R-5	450	1350	0.5	-	2.0
C.10	405	1350	0.5	45	-
C.10-1	405	1350	0.5	45	0.4
C.10-3	405	1350	0.5	45	1.2
C.10-5	405	1350	0.5	45	2.0
C.20	360	1350	0.5	90	-
C.20-1	360	1350	0.5	90	0.4
C.20-3	360	1350	0.5	90	1.2
C.20-5	360	1350	0.5	90	2.0
C.30	315	1350	0.5	135	-
C.30-1	315	1350	0.5	135	0.4
C.30-3	315	1350	0.5	135	1.2
C.30-5	315	1350	0.5	135	2.0

Bu çalışmada, öğütülmüş cam tozu farklı oranlarda çimentoya ağırlıkça ikame edilmesi ile hazırlanan 16 farklı deney numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları test edilmiştir. Karışımlarda agrega olarak kırmataş kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplarda TS EN 13369 (2018) kurallarına göre 24 saat bekletildikten sonra kür havuzunda küre bırakılmıştır. Referans numunemiz (R) numune: agrega, çimento ve su karışımından yapılmıştır.

2.2. İşlenebilirliğin ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Yayılma tablası deneyi, mineral bağlayıcı ve yoğun (normal) agrega veya hafif agregaların karıştırıldıktan hemen sonra taze haldeki harç kıvamını, yayılma değerinin belirlenmesi amacıyla yapılır. Deneyde kullanılan kalıp içerisine yerleştirilen taze haldeki harç, deney aşamasın da kalıp düşey olarak yukarıya doğru yavaşa çekilerek alınır ve dairesel levha üzerinde kalan harç kütlesi, yayılma tablası yaklaşık olarak saniyede bir defa olmak zere, sabit sıklıkta 15 defa düşürülerek levhaya yayılır. Taze haldeki harç numunelerine TS EN 1015-3 (2000) standardına göre yayılma tablası deneyi uygulanmıştır.
Cam tozu ve polipropilen katkılı tüm harç serileri kalıplara yerleştirilmeden önce yayılma deneyi yapılarak işlenebilirlikleri belirlenmiştir. 28. günü dolduran harç numuneleri havuzdan çıkartıldıktan sonra, Arşimet prensibi ile çalışan tartıda suya doygun ağırlıkları ve yüzey kuru suya doygun ağırlıkları alındıktan sonra 24 saat süreyle 105 ºC standart etüv koşullarında etüv

kurusu hale getirilerek, etüv kurusu ağırlıkları not edilmiştir. Arşimet tartısından alınan ağırlıklar değerleri gerekli formüllerde yerine yazılarak su emme yüzdeleri, porozite ve birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Tüm seriler üzerinde TSE EN 1170-6 (1999)'a uygun Arşimet prensibi ile çalışan terazi yardımıyla porozite, su emme özelikleri belirlenmiştir. Betonlar 28 gün sonunda kür havuzundan çıkartılarak tartının su içerisinde ki sepete koyularak arşimet terazisi yardımıyla veriler kaydedilmiştir. Daha sonra yüzeyleri bir bez yardımı ile kurulanarak havadaki ağırlıkları tartı üzerindeki veriler kaydedilmiştir. Numuneler 110 ºC'de etüvde 24 saat boyunca kurutulup etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüvden çıkan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra etüv kurusu ağırlıkları tartılarak alınmıştır. Ağırlık ölçümleri her seri için 3er numune üzerinde yapılarak ortalama değerleri kaydedilmiştir.

2.3. Eğilme ve Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

Tüm seriler 24 saat sonra kalıptan alındıktan sonra standart kür koşullarında 7 ve 28 gün süre ile kür edilmiştir. 7. ve 28. gününü dolduran numuneler Şekil 3'deki 200 ton kapasiteli Baz Makina tarafından TS EN 12390-4 (2002)'e uygun olarak imal edilen basınç pres cihazı yardımıyla Şekil 3'deki cihaz ile eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur.
Çalışmada eğilme-basınç dayanımlarının belirlenmesinde TS EN 196-1 (2016) standardı esas alınmıştır. Çimentoların eğilme-basınç tayini deneyleri, Şekil 2.1'de görüldüğü üzere 40x40x160 mm boyutlarında numuneler üzerinde yapılmıştır.

Şekil 3. Eğilme ve basınç dayanımı cihazı

3. BULGULAR

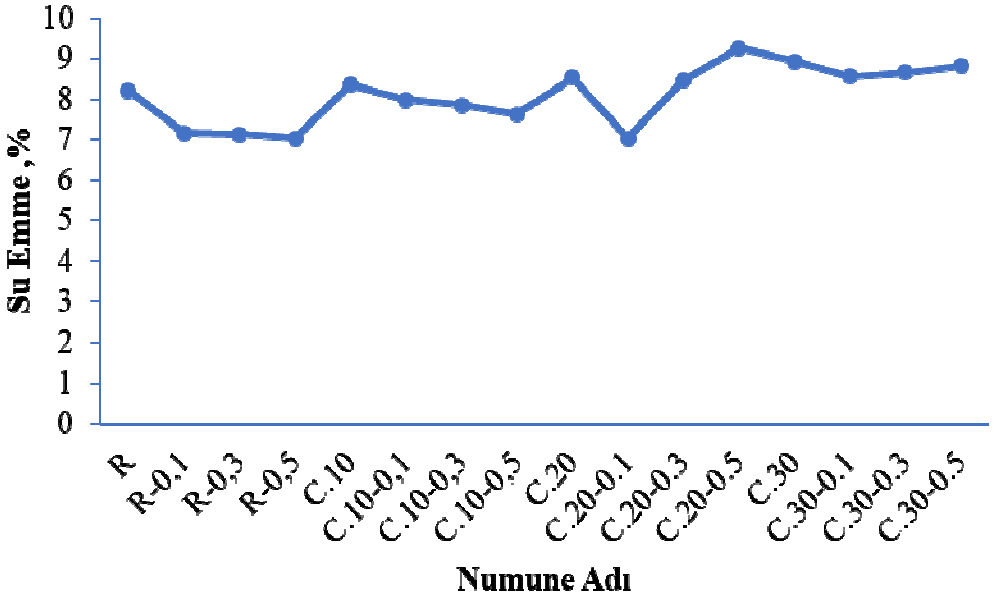
3.1. İşlenebilirlik ve Fiziksel Özellikleri

Oluşturulan karışımlarda kıvam açısından en iyi sonuçlar kontrol numunesi ile elde edilmiştir. Bu durum cam tozunun çimentodan daha ince bir madde olmasından dolayı karışımın su ihtiyacının artmasıyla açıklanabilir. Cam tozu oranı arttıkça suyun kaplaması gereken yüzey alanı artarak su gereksinimini artırmıştır. Ancak polipropilen lif ve cam tozunun birlikte kullanıldığı numunelerde cam tozu miktarı arttıkça belirgin bir şekilde yayılma değerlerinde azalma olmakla birlikte polipropilen lif oranı arttıkça daha da azalmaktadır. Bu nedenle kalıba yerleştirme işleminde de güçlük yaşanmıştır. Yayılma tablası deneyi sonuçları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Yayılma tablası deneyi sonuçları

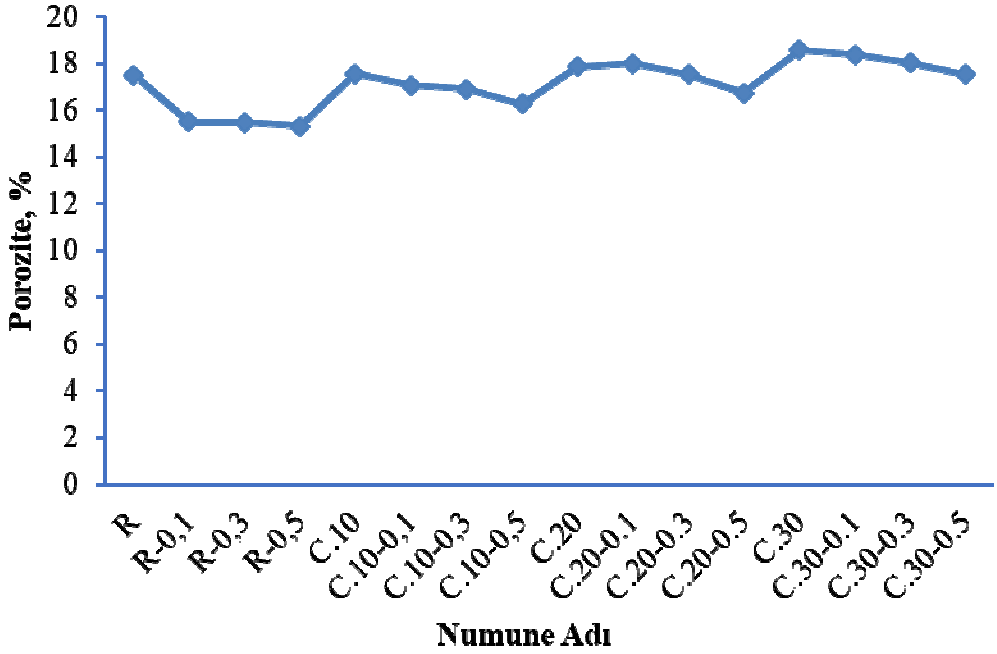
Seri Adı	Yayılma Değerleri (cm)
R	12.7
R-1	14.6
R-3	14.0
R-5	12.0
C.10	13.5
C.10-1	15.8
C.10-3	13.8
C.10-5	13.0
C.20	15.5
C.20-1	14.3
C.20-3	14.5
C.20-5	11.8
C.30	16.8
C.30-1	11.5
C.30-3	11.8
C.30-5	11.5

Cam tozu ikameli lifli harçların su emme oranları, Şekil 4'de verilmiştir. Su emme oranı, cam tozu oranının artmasıyla birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Referans harç numunesinin su emme değeri %7.17 iken %30 cam tozu ikame edilmesiyle %8.56'ya yükselmektedir. Lif miktarının artmasıyla birlikte tüm referans ve cam tozu serilerinde, su emme oranının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4: Su emme yüzdeleri

Porozite oranlarına baktığımızda cam tozu oranı ile arttığı gözlemlenmiştir. Cam tozu oranının artmasıyla birlikte ince madde miktarı arttığından yerleşme güçlükleri ile birlikte daha boşluk oranı artmıştır. Referans harç numunesinde porozite değeri %17.51 iken cam tozu oranının %18.57 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Lif miktarının artmasıyla birlikte porozite oranlarında tüm seriler için düştüğü gözlemlenmiştir.

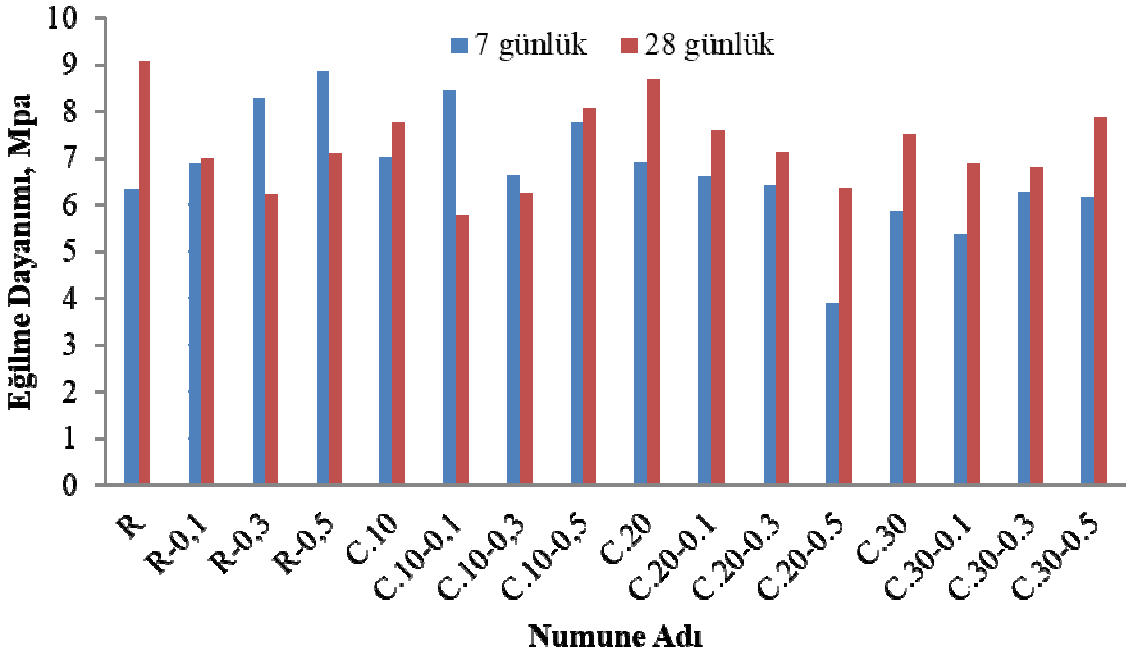


Şekil 5: Su emme yüzdeleri

Cam tozu ve lif oranının, su emme oranı üzerinde olumsuz etkisi olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni cam tozu partiküllerinin çok yüksek yüzey alanına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Cam tozunun yüksek yüzey alanın fazla olmasının yanında çimento ile yer değiştirme yapıldığından cam tozu oranının artmasıyla birlikte çimento miktarında azalma meydana gelmektedir. Çimento miktarı azaldıkça bağlayıcılık azaldığından harçların porozite değerlerinde artma meydana gelmiştir. Lif miktarının artması ile birlikte yüzey alanında artış ve işlenebilme ve kalıba yerleştirme güçlükleri çıkmaktadır, bu nedenle lif miktarı arttıkça boşluk oranında ve su emme miktarlarında artış gözlemlenmiştir.

3.2 Eğilme ve basınç dayanımı sonuçları

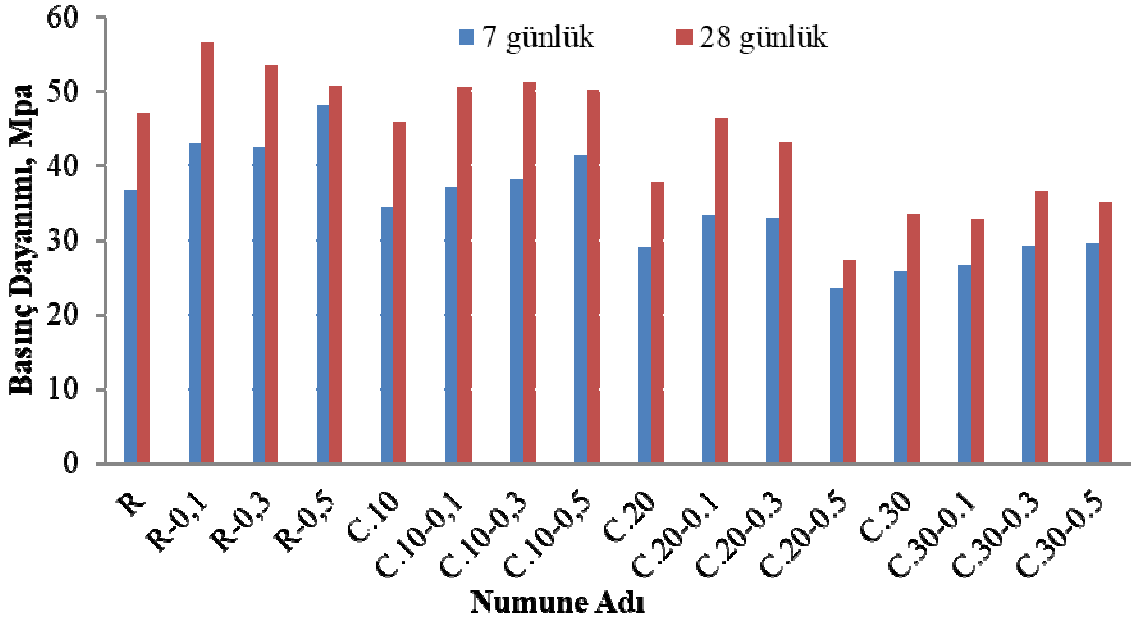
Cam tozu katkılı lifli harç numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları Şekil 9'da verilmiştir. Numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde cam tozu oranının %10 olması durumunda artma meydana gelirken %20 ve %30 oranlarında azalma meydana gelmiştir. Lif oranının artmasıyla birlikte tüm serilerde eğilme dayanımında artış meydana gelmiştir. Özellikle eğilme dayanımında artış gözlemlenen %10 cam tozu katkılı harcın 28 günlük eğilme dayanımı 7.2 MPa iken %0.5 lif ilavesi ile eğilme dayanımı 8.98 MPa değerine yükselmiştir.



Şekil 6: Eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Cam tozu katkılı lifli harç numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 10'da verilmiştir. Cam tozu oranının artmasıyla birlikte basınç dayanımlarında azalma meydana gelmektedir. Cam tozu ince tane yapısından kaynaklı harç numunelerinde dolgu etkisi oluşturduğundan dolayı bağlayıcı gereksinimi arttırmaktadır. Bu nedenle cam tozu oranının artmasıyla birlikte bağlayıcı ihtiyacı artacağından basınç dayanımlarında azalma meydana

gelmiştir. Lif oranının artmasıyla birlikte tüm serlerde artış gözlemlenmiştir. Referans numunesinin 28 günlük basınç dayanımı 47.14 MPa iken %0.5 lif ilavesi ile basınç dayanımı 56.61 MPa değerine yükselmiştir.



Şekil 7: Basınç dayanımı deneyi sonuçları

4. SONUÇ

- Cam tozu miktarı arttıkça belirgin bir şekilde yayılma değerlerinde azalma olmakla birlikte polipropilen lif oranı arttıkça daha da azalmaktadır.
- Harç numunelerinde porozite oranları incelendiğinde cam tozu oranı ile bu değerin arttığı gözlemlenmiştir. Cam tozu oranının artmasıyla birlikte ince madde miktarı arttığından yerleşme güçlükleri ile birlikte boşluk oranı artmıştır.
- Referans harç numunesinde porozite değeri %17.51 iken cam tozu oranının %18.57 değerine çıktığı gözlemlenmiştir.
- Lif miktarının artması ile birlikte yüzey alanında artış, işlenebilme ve kalıba yerleştirme güçlükleri çıkmaktadır. Bu nedenle lif miktarı arttıkça boşluk oranında ve su emme miktarlarında artış gözlemlenmiştir
- Cam tozu ve lif oranının, su emme oranı üzerinde olumsuz etkisi olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni cam tozu partiküllerinin çok yüksek yüzey alanına sahip olmasından kaynaklanmaktadır.
- Referans harç numunesinin su emme değeri %7.17 iken %30 cam tozu ikame edilmesiyle %8.56'ya yükselmektedir
- Cam tozu ince tane yapısından kaynaklı harç numunelerinde dolgu etkisi oluşturduğundan dolayı bağlayıcı gereksinimi arttırmaktadır. Bu nedenle cam tozu oranının artmasıyla birlikte bağlayıcı ihtiyacı artacağından basınç dayanımlarında azalma meydana gelmiştir.

- Lif oranının artmasıyla birlikte tüm serlerde artış gözlemlenmiştir. Referans numunesinin 28 günlük basınç dayanımı 47.14 MPa iken %0.5 lif ilavesi ile basınç dayanımı 56.61 MPa değerine yükselmiştir.
- Numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanım değerleri incelendiğinde cam tozu oranının %10 olması durumunda artma meydana gelirken %20 ve %30 oranlarında azalma meydana gelmiştir.
- Lif oranının artmasıyla birlikte tüm serilerde eğilme dayanımında artış meydana gelmiştir. Özellikle eğilme dayanımında artış gözlemlenen %10 cam tozu katkılı harcın 28 günlük eğilme dayanımı 7.2 MPa iken %0.5 lif ilavesi ile eğilme dayanımı 8.98 MPa değerine yükselmiştir.

5. KAYNAKÇA

Açıkgenç, M., Arazsu, U., Alyamaç, K.E. (2012), Farklı Karışım Oranlarına Sahip Polipropilen Lifli Betonların Dayanım Ve Durabilite Özellikleri. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 4 (3), 41-54.

Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabacı, S , Başyiğit, C. (2010), Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 2 (1), 9-14.

Baradan B. (2003), İnşaat Mühendisleri İçin Malzeme Bilgisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Yayın No: 307, İzmir.

BEKAERT (1998), Duomix Hakkında Genel Bilgiler Kılavuzu. Bekaert, Belgium.

Kılıçoğlu, C. (2013), Cam atıklarının betonda agrega ve çimento yerine kullanımı, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.

Liu, M. (2011), Incorporating ground glass in self-compacting concrete, Construction and Building Materials, 25, 919-925.

Özkan, Ö. (2007), Atık cam ve yüksek fırın cürufu katkılı harçların özellikleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 22(1), 87-94.

Shao,Y., Lefort, T., Moras, S., and Rodriguez, D. (2000), Studies on concrete containing ground waste glass, Cement and Concrete Research, 30(1), 91–100.

Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete Production Dr. G.Vijayakumar1, Ms H. Vishaliny2, Dr. D. Govindarajulu3

Topçu, İ.B., Demirel, O.E., Uygunoğlu, T. (2017), Polipropilen Lif Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelikleri. Polipropilen Lif Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelikleri. Politeknik Dergisi, 20 (1), 91-96.

TS EN 196-1 (2016), Çimento deney metotları – Bölüm 1: Dayanım tayini TSE, Ankara Turkey,

TS EN 1015-3 (2000), Kagir harcı-Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini TSE, Ankara Turkey,

TS EN 1170-6 (1999), Ön yapımlı beton mamuller-Cam elyaf takviyeli çimento (ctc) deney metodu-Bölüm 6: Suya daldırma yoluyla su emmeve kuru yoğunluk tayini TSE, Ankara Turkey

TS EN 12390-4 (2002), Beton basınç dayanımının ölçülmesinde kullanılan basınç deney makinelerinin performans özellikleri-Bölüm 4: Basınç dayanımı-Deney makinelerinin özellikleri TSE, Ankara Turkey,

TS EN 13369 (2018), Ön dökümlü beton mamuller – Genel kurallar TSE, Ankara Turkey.

Tuğla Unu Katkılı Pomza Agregalı Hafif Harçların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Behçet DÜNDAR[1], Emriye ÇINAR[2], Ahmet Necip ÇALIŞKAN[3]

[1,2,3] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye
E-postalar: behcetdundar@osmaniye.edu.tr, emriyecinar@osmaniye.edu.tr, necipcaliskann@hotmail.com

Özet

Bu çalışmada, mineral katkı olarak tuğla unu (TU) ikameli pomza agregalı hafif harçların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Harçların yapımında agrega olarak pomza (0-4mm) ve CEM I 42,5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Standart harç karışım oranları ağırlıkça, harç oranları Kum:Çimento:Su=3:1:0,5 olan referans alınarak kum yerine pomza agregası kullanılmıştır. Mineral katkı olarak kullanılan tuğla unu, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilmiştir. Üretilen harç numunelerinin taze halde yayılma değerleri belirlenmiştir. Harç numuneleri 28 gün boyunca standart kür havuzunda kür edilmiştir. 7. günü dolduran harç numunelerinin eğilme ve basınç dayanımları alınmıştır. 28 günü dolduran numunelerin su emme yüzdesi, porozite ve birim hacim ağırlık gibi fiziksel özellikleri belirlenip, eğilme ve basınç dayanımları alınmıştır. 28. gün sonunda nihai dayanıma ulaşan harç numunelerini yüksek sıcaklık fırınında 200 ºC, 400 ºC, 600 ºC ve 800 ºC sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Sıcaklık sonrası eğilme ve basınç dayanımları belirlenerek sıcaklık öncesi ve sonrası arasında dayanım kayıpları tayin edilmiştir. TU oranının artmasıyla birlikte eğilme ve basınç dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Tüm sıcaklıklarda ultrases geçiş hızında azalma meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte de ultra ses değerleri azalmıştır.

Anahtar Kelime: Hafif Harç, Pomza, Tuğla Unu, Yüksek Sıcaklık

1.GİRİŞ

Çimento, inşaat sektörünün en fazla kullandığı bağlayıcı malzemeler arasında yer alır. Yapı sektörünün büyük bir hız ile gelişmesiyle birlikte çimento tüketimi de oldukça artmaktadır. Çimento sanayinde tamamen yerli hammadde kullanılmasına rağmen yüksek enerji maliyetleri, üretimi olumsuz etkilemekte ve CO_2 üreten bir süreç olması nedeniyle de küresel ısınmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu sebepten ötürü çimento endüstrisinin kullandığı enerji ve çevresel etkileri hem bilimsel hem de dünya gündeminin sürekli tartışılan konularındandır.

Bütün bunlara ek olarak çimentoları iyileştirmesini, daha kaliteli, verimli ve ekonomik hale getirecek hammadde arayışları devam etmektedir (Yıldırım E., 2001, Yılmaz B., 2006.). Katkılı çimentoların inşaat sektöründe kullanımı, gerek sağladıkları ekonomik ve teknik avantajlar, gerekse klinker üretimini azaltarak CO_2 emisyonunu azaltmadaki dolaylı faydaları ile günümüzde tercih edilebilir hale gelmiştir. Bu malzemelerin çoğunu puzolanik özelliğe sahip olan mineral katkı maddeleri oluşturur (Kırgız M.S., 2007.).

Puzolanlar; avantajları ile birlikte çimentoda ekonomiklik, geçirgenliğinin azaltılması, alkali agrega gelişiminin kontrolü, kimyasal direnç sağlaması, hafiflik, atıkların değerlendirilmesi, betonun kuruma büzülmesini azaltması ve mukavemetlerde artış sağlaması gibi avantajları nedeniyle, çimentoya doğrudan katkı olarak ya da çimentonun bir kısmına ikame etmek üzere betona katılmaktadır (Hansen T.C. 1992).

Dünya tarihinde üretimi yapılan ilk yapı malzemesi olan tuğla, tarih boyunca önemli yapılarda kullanılmıştır. Kilden üretilen tuğlanın, dayanıklılık ve dayanım, düşük ses ve ısı geçirgenlikleri ve yanmaya karşı direnci gibi olumlu özellikleri sayesinde günümüzde de en çok kullanılan yapı malzemeleri arasında yer alır (Çelik K., 2005.). Tuğla uygun toprakların bol olması, bu malzemenin ucuz ve kolay üretilmesine olanak vermesi nedeniyle kentlerde olduğu gibi kırsal alanlarda tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılmakta ve üretimi yapılmaktadır (Yetgin Ş. Vd 2005). Ülkemizde hayvan barınakları, tarımsal ürün depoları gibi yapılar genellikle tek katlı ve prefabrik yapı malzemeleri ile yapılmaktadır. Bunlar içerisinde önemli yeri bulunan tuğlalar, yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleridir (Dalkılıç S., 2014, Görçiz G., 2000).

Tuğla unu da gerek harç gerekse beton içerisine katılan puzolanik katkılardan biridir. Endüstriyel olarak tuğla üretimin artmasıyla birlikte birçok problemleri beraberinde getirmiştir. Bunlardan en önemlisi üretimden dolayı geriye kalan atıklardır. Tuğla üretimi ve taşıma işlemleri sırasında kırılmalar olmakta ve bu kırık tuğla parçaları atık olarak ayrılmaktadır (Aksin E., 2007.). Tuğla fabrika atıklarının fabrika dışına taşınması hem verimli tarım arazilerinin bozulmasına hem de tarıma dayalı ülke ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca bu tarım arazilerinin tekrar eski halini alabilmesi ve kendini yenileyebilmesi için binlerce seneye ihtiyaç vardır. Buda, topraklardaki ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır (Bıyık M., 2007.). Yapılan inceleme ve araştırmalar tuğla atık miktarının toplam üretimin yaklaşık %10 olduğunu göstermektedir (Şahin Ş.E., 2008.).

Atık malzemelerin miktarında olan artış nedeniyle birçok ülkede bu atıkların nasıl kullanılabileceği üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Atık malzemelerin, ana malzemelerin miktarında azaltma yapılarak, ana malzemelerin yerine ikame edilmesiyle çevreye verilen zarar en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Böylece doğal kaynaklar daha iyi kullanılmış olacak ve atık malzemelerin kullanımıyla çevre kirliliği azalacaktır (Çakar, B., 2009.).

Bu çalışmada çimentoya %10, %20, %30 oranlarında tuğla unu ikame edilerek pomza agregalı harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen harç numuneleri 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp kür havuzunda beklemeye bırakılmıştır. Harç numunelerinin taze halde işlenebilirliği, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanım testleri, ultrases, su emme, porozite, birim hacim ağırlık ve yüksek sıcaklık deneyleri yapılmıştır. 28 günü dolduran harç numunelerin de yüksek sıcaklık deneyi yapılırken 200 ºC, 400 ºC, 600 ºC ve 800 ºC ‘de bir saat bekletilmiştir. Üretilen %0, %10, %20, %30 oranlı TU numunelerinin yüksek sıcaklık fırınından çıkarıldıktan sonra tekrar eğilme ve basınç değerleri, su emme, porozite, birim hacim ağırlık deneyleri yapılıp veriler alınmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Materyaller

Deney numunelerinin üretilmesinde kullanılan harcın bileşenleri arasında yer alan çimento, TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen ÇİMSA çimento fabrikasından alınan CEM I 42,5 R tipi çimentodur (TS EN 197-1, 2012.). Kullanılan çimentonun kimyasal analizi, üretici çimento fabrikasından alınmış olup, fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1- CEM I 42,5 R tipi çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz (%)	CEM I 42.5R
CaO (%)	64,7
SiO_2 (%)	20,7
AL_2O_3 (%)	5,55
Fe_2O_3 (%)	2,9
MgO (%)	2,58
SO_3 (%)	2,76
Kızdırma Kaybı (%)	3,26
İncelik (cm^2/gr)	3102
Hacim Genleşmesi (mm)	1
Priz Başı (dk)	260
Priz Sonu (dk)	300

Deneysel çalışmada üretilen harç numunelerinin karışımında TS EN 1008'e uygun olan Osmaniye ili, şehir şebeke suyu kullanılmıştır (TS EN 1008, 2003.). Türkiye'de pomza yatakları, Ürgüp Avanos ve Kayseri'nin Talas-Tomarza-Develi ve Osmaniye bölgesinde yoğunlaşmıştır. Pomza oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan hafif, suda uzun süre yüzebilen, permeabilitesi düşük ve yalıtımı oldukça yüksektir. Kimyasal olarak %75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Kayacın içerdiği SiO_2 oranı, kayaca abrasif özellik kazandırmaktadır. Al_2O_3 bileşimi ise ateş ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. (Yaşar, E., Vd. 2005). Harç üretiminde kullanılan Şekil 1'deki pomza, Osmaniye ili Toprakkale ilçesine bağlı Tüysüz beldesinden temin edilen bazik karakterli pomza agregasıdır.

Şekil 1- Osmaniye pomzası

Deneysel çalışmada kullanılan maksimum tane çapı 4 mm olan pomza agregasının, kimyasal analizi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2- Kullanılan pomzanın kimyasal analizi

Bileşim	Ortalama
SiO	45,95
AhO	19,95
Fe20	7,53
CaO	13,23
MgO	6,24
Na20+K: 0	6,69
Diğer	0,41
Toplam	100,00

Bu çalışmada, mineral katkı malzemesi olarak standart tuğlanın önce kırıcıda 4mm boyutuna getirilip daha sonra öğütücüde öğütülerek 24-40µ un haline getirilmesiyle oluşan Şekil 2'deki tuğla unu kullanılmıştır.

Şekil 2- Tuğla unu

Tuğla bünyesinde insan sağlığına ve çevreye zararlı herhangi bir kimyasal madde bulundurmamaktadır. Bu nedenle fabrikalarda üretimleri veya taşınması esnasında hasara uğrayan tuğlalar, öğütülerek yer döşeme elemanlarında, tenis kortlarında, park yürüyüş yollarında, bisiklet yollarında ve bahçe düzenlemelerinde kullanılmaktadır. Sanayileşmenin ve inşaat sektörünün büyümesi gereksinim duyulan inşaat malzemeleri üretimini de arttırmıştır. Bunların başında tuğla gelmektedir. Artan üretim beraberinde kusurlu üretim miktarını da doğal olarak artırmaktadır (Khalaf, F.M. vd. 2004, Z. Ge vd. 2012.). Çevreye zararlı olmayan bu malzemeler ekonomiye geri kazandırılmalıdır. Dünyada pek çok endüstriyel atık gibi tuğla ve kiremit kırıkları betonda agrega ve mineral katkı olarak kullanılmıştır.

2.2. Numune Üretimi

Bu çalışmada, TU farklı oranlarda çimentoya ağırlıkça ikame edilmesi ile hazırlanan 4 farklı deney numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları test edilmiştir. Karışımlarda agrega olarak pomza kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplarda

TS EN 13369 (2018) kurallarına göre 24 saat bekletildikten sonra kür havuzunda küre bırakılmıştır. Referans numunemiz (%0 TU) numune agrega, çimento ve su karışımından yapılmıştır (TS EN 13369, 2018.).
Deneyde kullanılan malzeme miktarları ve numune adları Tablo 3'de verilmiştir. Karışım hazırlandıktan sonra yayılma tablası üzerinde her karışım için 15 vuruş yapılarak yayılma değerleri ölçülmüştür. Yayılma değerleri de alındıktan sonra yağlanan kalıplar çimento sarsma masasına yerleştirilerek kalıplara iki aşamada beton harcı dökülmüştür (TS EN 1015-3, 2000.).

Tablo 3- Deneyde kullanılan numune isimleri ve malzeme miktarları (gr)

Numune Adı	Açıklama	Agrega	Su	Çimento	TU
TU0	Referans	850	250	450	0
TU10	%10 tuğla unu ikameli harç	850	250	405	45
TU20	%20 tuğla unu ikameli harç	850	250	360	90
TU30	%30 tuğla unu ikameli harç	850	250	315	135

2.2.1. Yayılma Tablası Deneyi

Yayılma tablası deneyi, mineral bağlayıcı ve yoğun (normal) agrega veya hafif agregaların karıştırıldıktan hemen sonra taze haldeki harç kıvamını, yayılma değerinin belirlenmesi amacıyla yapılır. Deneyde kullanılan kalıp içerisine yerleştirilen taze haldeki harç, deney aşamasın da kalıp düşey olarak yukarıya doğru yavaşa çekilerek alınır ve dairesel levha üzerinde kalan harç kütlesi, yayılma tablası yaklaşık olarak saniyede bir defa olmak zere, sabit sıklıkta 15 defa düşürülerek levhaya yayılır. Taze haldeki harç numunelerine TS EN 1015-3 (2010) standardına göre yayılma tablası deneyi uygulanmıştır (TS EN 1015-3, 2000.).

2.2.2. Su emme ve Porozite Deneyleri

Tüm seriler üzerinde Arşimet prensibi ile çalışan terazi yardımıyla porozite, su emme özelikleri belirlenmiştir. Betonlar 28 gün sonunda kür havuzundan çıkartılarak tartının su içerisinde ki sepete koyularak Arşimet Terazisi yardımıyla veriler kaydedilmiştir. Daha sonra yüzeyleri bir bez yardımı ile kurulanarak havadaki ağırlıkları alınmıştır. Numuneler 110 ºC'de etüvde 24 saat boyunca kurutulup etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüvden çıkan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulduktan sonra etüv kurusu ağırlıkları tartılarak alınmıştır. Ağırlık ölçümleri her seri için 3'er numune üzerinde yapılarak ortalama değerleri kaydedilmiştir (TS EN 1170-6, 1999.).

2.2.3. Basınç ve Eğilme Dayanım Deneyleri

Tüm serilerde 24 saat sonra kalıptan alındıktan sonra standart kür koşullarında 7 ve 28 gün süre ile kür edilmiştir. Kür sonrası yüksek sıcaklık uygulanan ve uygulanmayan numuneler Türk standardına göre 200 ton kapasiteli Baz Makina tarafından imal edilen Şekil 3'deki cihaz

yardımıyla 7. ve 28. gününü dolduran numuneler Şekil 3'deki cihaz ile eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur (TS EN 12390-4, 2002.).
Çalışmada eğilme-basınç dayanımlarının belirlenmesinde TS EN 196-1 standardı esas alınmıştır. Çimentoların eğilme-basınç tayini deneyleri, Şekil 4'de görüldüğü üzere TS EN 196-1'e uygun 40x40x160 mm boyutlarında numuneler üzerinde yapılmıştır (TS EN 196-1, 2016.).

Şekil 4- Eğilme ve basınç dayanımı cihazı

2.2.4. Ultrases Deneyi

Numunelerin ultrases geçiş hızı ölçümleri Şekil 5'deki Ultrases test cihazı (P-dalgası) ile yapılmıştır. 28 gün standart kür havuzunda bekletilen numuneler etüv kurusu hale getirilerek ultrases deneyi uygulanmıştır. Numunelerin iki yüzeyi arasındaki mesafe kumpas yardımıyla ölçülüp, ölçüm yapılacak yüzeylerde hava boşluğunun kalmaması için ultrason jeli ile pürüzsüz olması sağlanmıştır. Propların (verici-alıcı) arasına numune yerleştirilerek aynı hizaya getirilmiş ve cihaz çalıştırılmıştır. Cihazdaki ses dalgasının geçiş süresi kaydedilmiştir. Proplar arası ara mesafe ve kayıt aldığımız ses geçiş hızı yardımı ile formülde gerekli hesaplamalar yapılarak ultrases geçiş hızları hesaplanmıştır. Ultrases deneyi yapılan numuneler daha sonra yüksek sıcaklık fırınına koyularak 200 ºC, 400 ºC, 600 ºC ve 800 ºC derecelerde standartlara göre bekletilerek tekrar ultra ses deneyi yapılmıştır (TS EN 12504-4, 2004.).

Şekil 5- Ultrases deney cihazı

2.2.5. Harçlara Yüksek Sıcaklık Uygulaması

Yüksek sıcaklık uygulanması TS EN 13501-1 (2013) standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Standartlara göre gerçek yangın ortamı olan 20 – 1000°C sıcaklık arasında ve 15- 300dk süre içerisinde oluşmaktadır. Ortalama ısı artış oranı 27,4 .C/dk'ya denk gelmektedir. Ancak, ısı artış oranını bu kadar kısa süre içerisinde 27,4 °C/dk'ya çıkarmak rezistanslı fırınlar için mümkün olamamaktadır. Harç örnekleri 1800 ºC kapasiteli laboratuvar tipi fırında sıcaklık artış hızı 10 °C/dk olacak şekilde 200 ºC, 400 ºC, 600 ºC ve 800 ºC sıcaklıklar uygulanmış ve bütün sıcaklık değerlerinde 60 dk fırın içerisinde bekletilmiştir. Ardından laboratuvar koşullarının sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmıştır (TS EN 13501-1+A1, 2013.). Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler soğuma işleminden sonra tekrar eğilme, basınç ve ultrases deneyleri yapılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Yayılma Deneyi

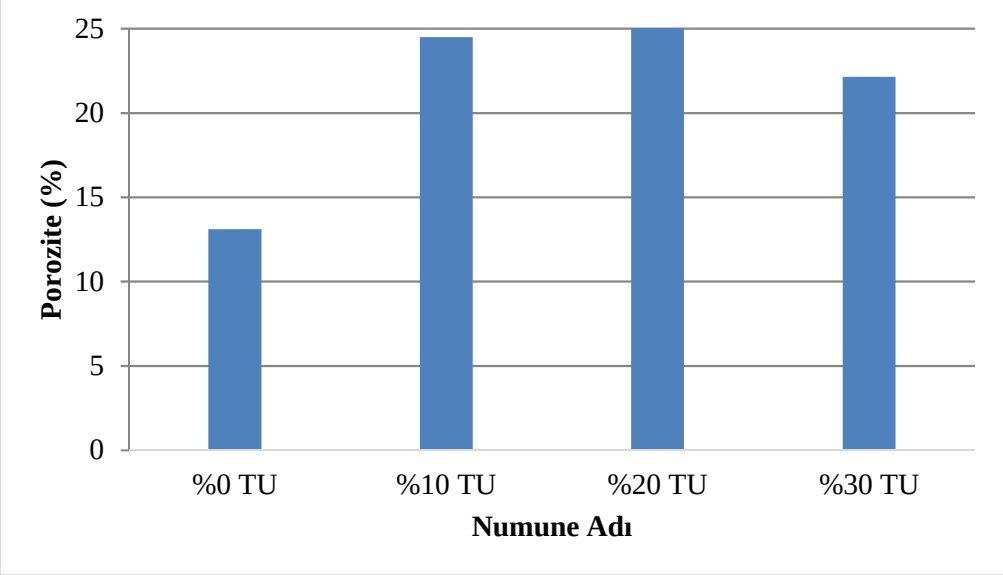
Deneysel çalışma için üretilen numunelerin yayılma değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Yayılma değerleri incelendiğinde TU oranının artmasıyla birlikte yayılma değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu durumda işlenebilirliği azaltmaktadır.

Tablo 4. Taze haldeki harç numunelerinin yayılma değerleri

Numune Adı	Yayılma Değerleri (cm)
% 0 TU	14.0
% 10 TU	14.0
%20 TU	13,5
%30 TU	13,0

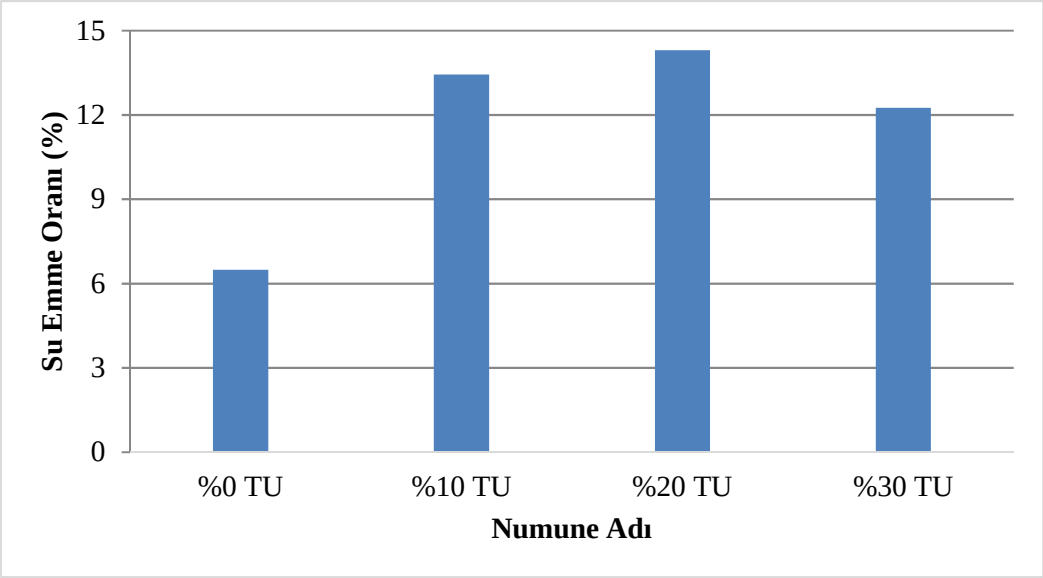
3.2. Porozite, Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık

Yapılan deneysel çalışmada üretilen tüm numuneler için porozite deneyi yapılarak deney sonuçları Şekil 6'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre en fazla porozite %20 oranında tuğla unu ikame edilen numunenin porozite değeri %25 olarak bulunmuştur. Referans numuneye göre %10 oranında porozite değerinde artış gözlenmiştir.



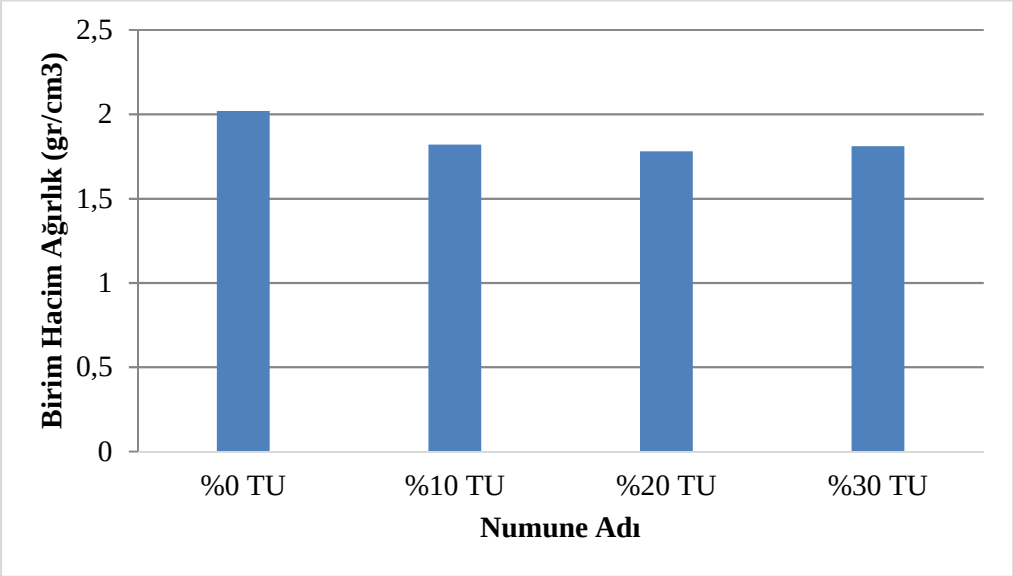
Şekil 6- Porozite deney sonuçları

28 gün boyunca kür işlemine tabii tutulan numunelerin su emme yüzdeleri Şekil 7'de verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde en fazla su emme yüzdesi, %20 oranında tuğla unu ikame edilen numunede 14,30 olduğu tespit edilmiştir. Tüm serilerde tuğla ununun çimento ile ikame edilmesi sonucu su emme yüzdesinin referans numuneye göre arttığı gözlenmiştir.



Şekil 7- Su emme deney sonuçları

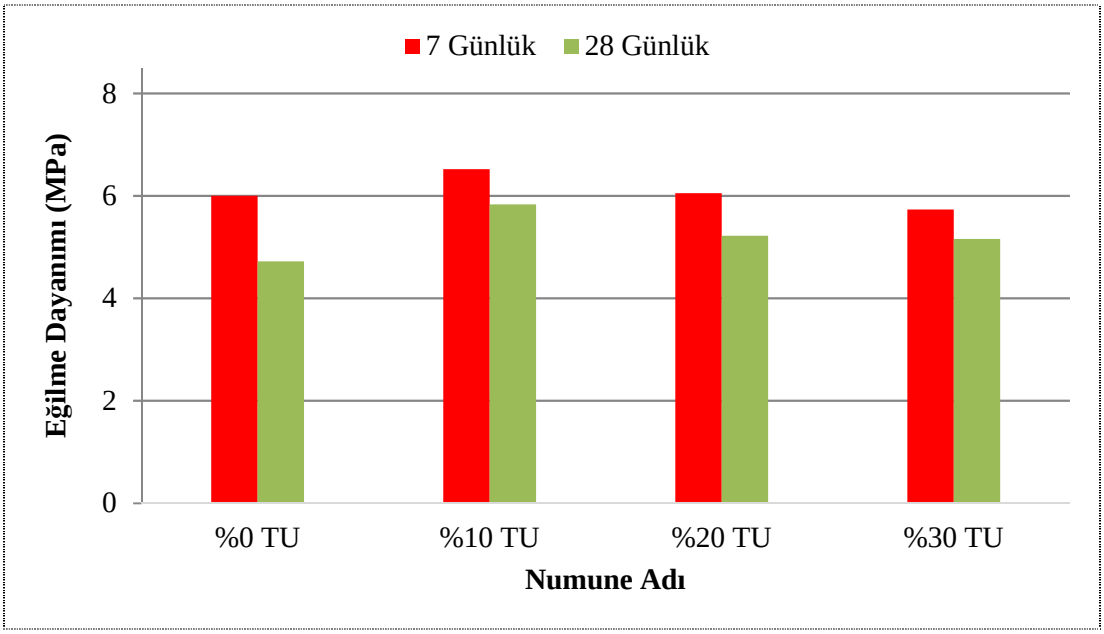
Üretilen numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık deney sonuçları Şekil 8'de yer almaktadır. Bu sonuçlara göre tuğla onu ikame edilmesi ile birim hacim ağırlıklarında bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Birim hacim ağırlığı referans numune de 2,02 gr/cm^3 iken %20 tuğla unu ikame edilen numunede 1,78 gr/cm^3 değerine düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 8- Birim hacim ağırlık deney sonuçları

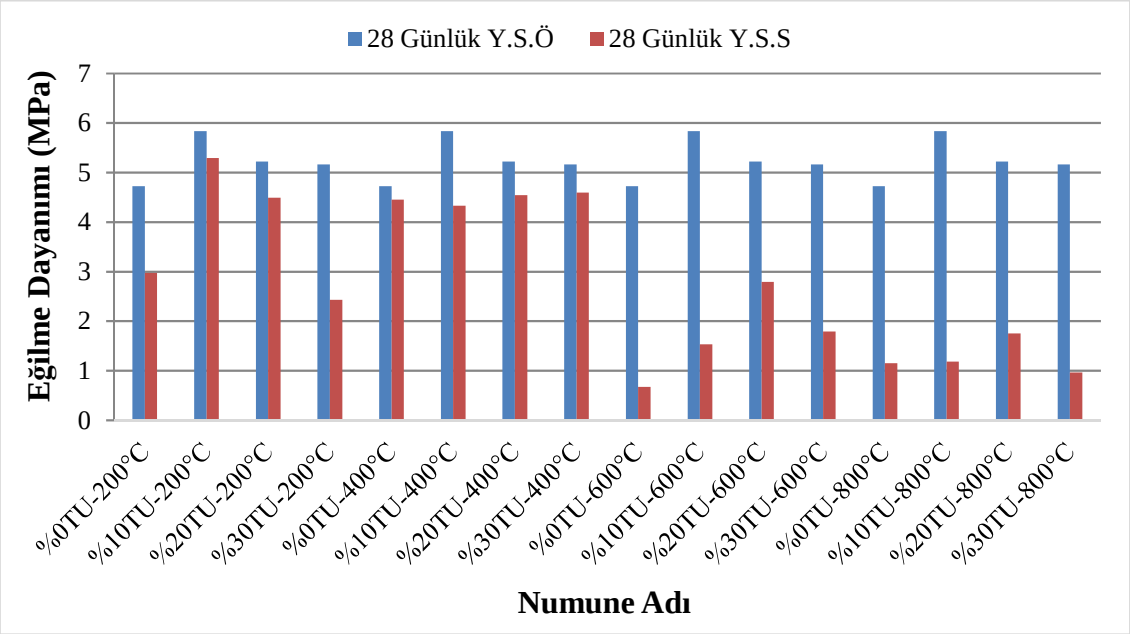
3.3. Eğilme ve Basınç Dayanımları

Üretilen numuneler üzerinde yapılan 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 9'de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde eğilme dayanımı referans numuneye göre %10 tuğla unu ikame edilen numunede fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 9- Eğilme dayanımı değerleri

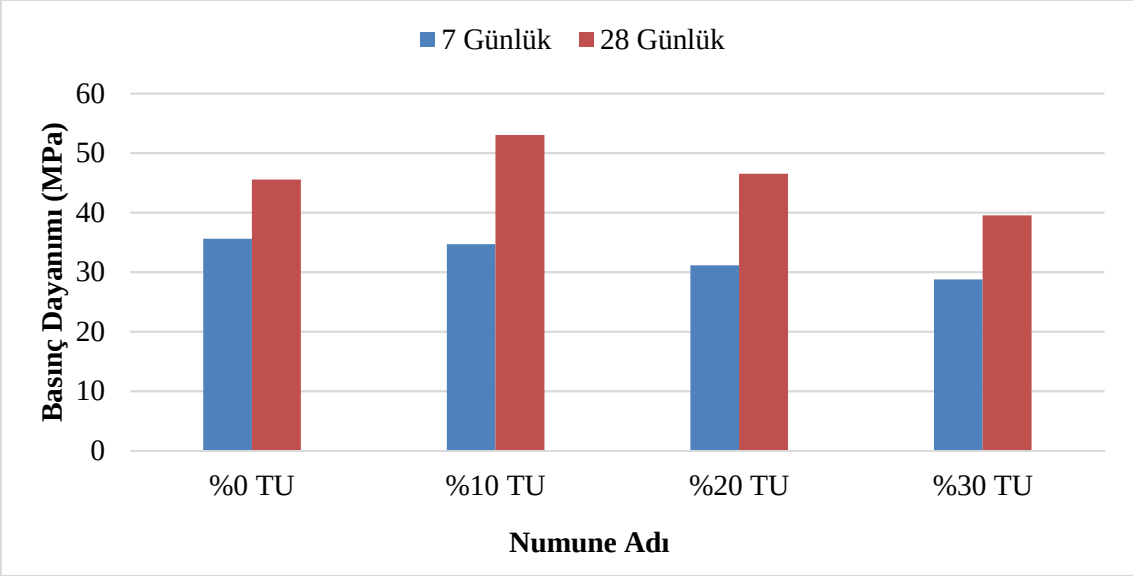
Deney numuneleri yüksek sıcaklık öncesi ve sonrasında eğilme dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Yapılan deney sonuçları Şekil 10'da yer almaktadır. Sıcaklık sonrası eğilme dayanımları referans numuneye göre azalma gösterdiği, sıcaklık değeri arttıkça eğilme dayanımında daha fazla düşüşün olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 10- Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası eğilme dayanımları

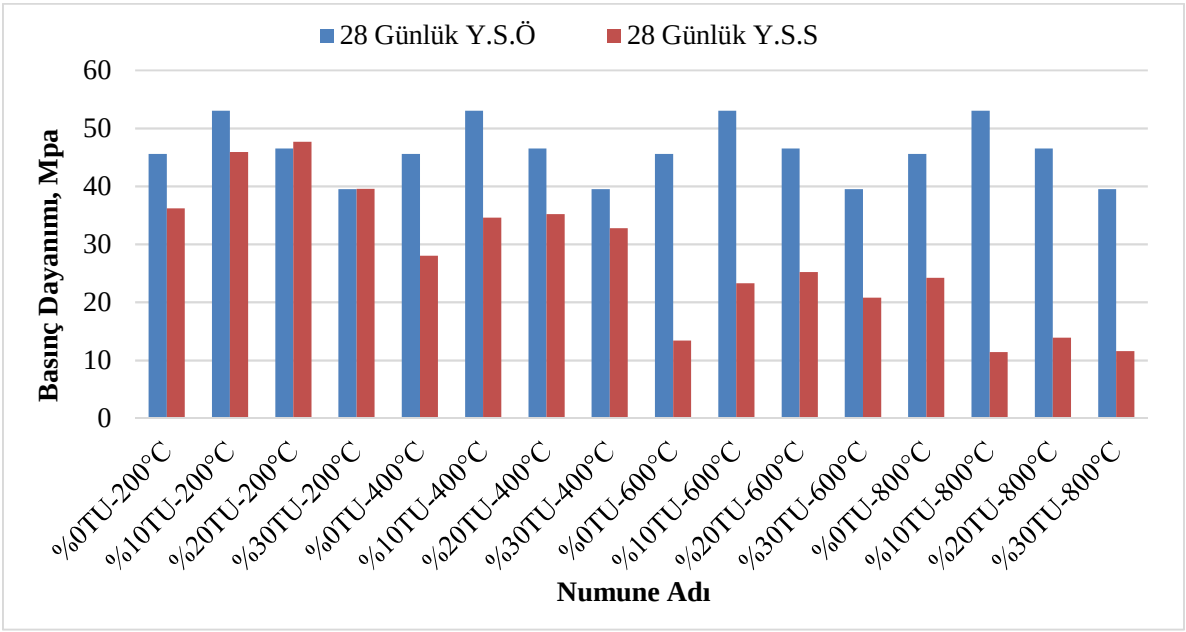
Üretilen numuneler üzerinde yapılan 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 11'de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde basınç dayanımı referans numuneye göre %10 tuğla unu ikame edilen numunede fazla olduğu tespit edilmiştir. Referans numunenin 7 günlük basınç değeri 35.58 MPa iken %10, %20, %30 oranında çimento ile tuğla unu ikame edilen numunelerde sırasıyla bu değerler 34.68, 31.14 ve 28.78 MPa olarak bulunmuştur.

Referans numunenin 28 günlük basınç değeri ise 45.56 MPa iken %10, %20, %30 oranında çimento ile tuğla unu ikame edilen numunelerde sırasıyla bu değerler 53.03, 46.51 ve 39.53 MPa olarak bulunmuştur. Tüm serilerin basınç dayanım değerleri incelendiğinde en büyük değerin %10 tuğla unu ikame edilen numune de olduğu %30 tuğla unu ikame edilen numune de ise bu değerin düşerek 39.53 MPa olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 11- Basınç dayanımlarının deney sonuçları

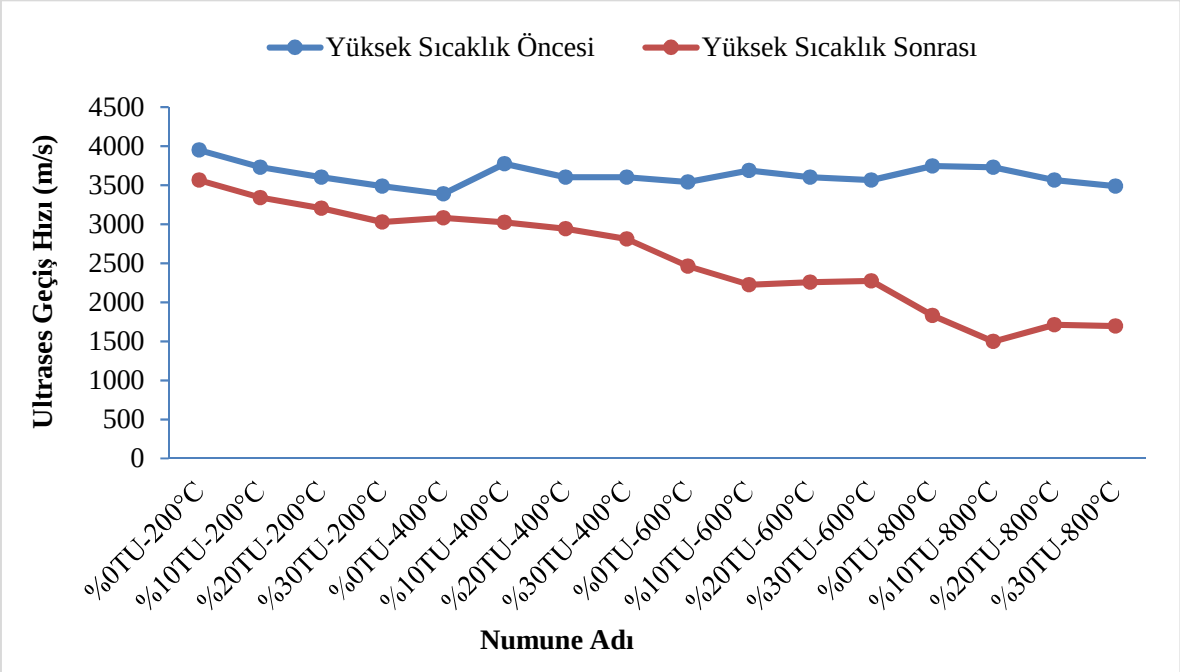
Deney numuneleri yüksek sıcaklık öncesi ve sonrasında basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Yapılan deney sonuçları Şekil 12'de yer almaktadır. Sıcaklık sonrası basınç dayanımları referans numuneye göre azalma gösterdiği, sıcaklık değeri arttıkça eğilme dayanımında daha fazla düşüşün olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 12- Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası basınç dayanımları

3.4. Ultrases Geçiş Hızı

Ultra ses geçiş hızında sıcaklık etkisine baktığımızda, tüm sıcaklıklarda ultrases geçiş hızında azalma meydana gelmiştir. Sıcaklığın artmasıyla birlikte de ultra ses değerleri azalmıştır. Tuğla unu ince bir malzeme olduğundan ötürü dolgu etkisi yaratmaktadır. Tuğla unu ikame edildiğinde yüzey alanını arttırdığından numunenin bağlayıcılık isteğini artırmaktadır. Bu isteğin artmasıyla birlikte bağlayıcı malzeme yetersiz gelmektedir. Bu sebeb ile boşluklu bir yapı meydana geliyor. Ultrases geçiş hızı dayanım düştükçe azalmaktadır. Sıcaklık ile birlikte ciddi oranda numune içerisinde patlamalar kılcal çatlaklar meydana geldiğinden ötürü ultrases geçiş hızı azalmıştır.



Şekil 13- Yüksek sıcaklık sonrası harç numunelerinden alınan ultrases değerleri

3. SONUÇLAR

- Yayılma değerleri incelendiğinde TU oranının artmasıyla birlikte yayılma değerlerinde azalma gözlenmiştir. Bu durumda işlenebilirliği azaltmaktadır.
- Harç numunelerinin porozite değerleri en fazla porozite %20 oranında tuğla unu ikame edilen numunenin porozite değeri %25 olarak bulunmuştur. Referans numuneye göre %10 oranında porozite değerinde artış gözlenmiştir.
- Tüm serilerde tuğla ununun çimento ile ikame edilmesi sonucu su emme yüzdesinin referans numuneye göre arttığı gözlenmiştir.
- Bu sonuçlara göre tuğla onu ikame edilmesi ile birim hacim ağırlıklarında bir düşüş olduğu gözlenmiştir. Birim hacim ağırlığı referans numune de 2,02 gr/cm^3 iken %20 tuğla unu ikame edilen numunede 1,78 gr/cm^3 değerine düştüğü tespit edilmiştir.

- Bu sonuçlar incelendiğinde eğilme dayanımı referans numuneye göre %10 tuğla unu ikame edilen numunede fazla olduğu tespit edilmiştir. 28 gun sonunda referansa göre %10 tuğla unu ikameli harç diğer numunelere göre en fazla artışı göstermiştir.
- Sıcaklık sonrası eğilme dayanımları referans numuneye göre azalma gösterdiği, sıcaklık değeri arttıkça eğilme dayanımında daha fazla düşüşün olduğu tespit edilmiştir.
- Bu sonuçlar incelendiğinde basınç dayanımı referans numuneye göre %10 tuğla unu ikame edilen numunede fazla olduğu tespit edilmiştir. Referans numunenin 7 günlük basınç değeri 35.58 MPa iken %10, %20, %30 oranında çimento ile tuğla unu ikame edilen numunelerde sırasıyla bu değerler 34.68, 31.14 ve 28.78 MPa olarak bulunmuştur.
- Referans numunenin 28 günlük basınç değeri ise 45.56 MPa iken %10, %20, %30 oranında çimento ile tuğla unu ikame edilen numunelerde sırasıyla bu değerler 53.03, 46.51 ve 39.53 MPa olarak bulunmuştur. Tüm serilerin basınç dayanım değerleri incelendiğinde en büyük değerin %10 tuğla unu ikame edilen numune de olduğu %30 tuğla unu ikame edilen numune de ise bu değerin düşerek 39.53 MPa olduğu gözlemlenmiştir.
- Sıcaklık sonrası basınç dayanımları referans numuneye göre azalma gösterdiği, sıcaklık değeri arttıkça eğilme dayanımında daha fazla düşüşün olduğu tespit edilmiştir.
- Tuğla ununun ağırlıkça ikameli olarak çimento harcında ilave edilmesi ve sonrasında yüksek sıcaklık sonrası mukavemete etkisinin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler, aşağıda sıralanmıştır.
- Çimento harcı üretiminde, tuğla ununun mineral katkı şeklinde kullanılması atıkların değerlendirilerek ekonomik katkı sağlaması ve pahalı bir malzeme olan çimentonun sarfiyatının belirli oranda azalması açısından uygun olacağı düşünülmektedir.
- Bu çalışmada kullanılan tuğla ununun, standartlar dâhilinde katkılı çimento üretiminde kullanılabilirliği görülmüştür, %10 katkılı çimento 7 ve 28 günden sonra mukavemete olumlu katkıda bulunmaktadır. Bu oran %5 civarındadır.

5. KAYNAKÇA

Aksin, E., 2007. Endüstriyel Atıklarının Tuğla ve Kiremit Üretiminde Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 89s, İzmir.

Bıyık, M., 2007. BaCO3 ve SrCO3 Katkısıyla Tuğla Üretiminde Çiçeklenmenin Giderilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü., Yüksek Lisans Tezi, 155s, Afyonkarahisar.

Çakar, B., 2009. Esnek Üst Yapılarda Tuğla Kırığı Atıkları Kullanımının Deneysel Olarak İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Çelik, K., 2005. Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Traslı Çimentolarla Üretilen Aynı Mukavemet Sınıfındaki Harçların Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 62s, İstanbul.

Dalkılıç, S., 2014. Tuğla Tozu Katkılı Harçlarda Donatı Korozyonunun Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2-15s

Görçiz, G., 2000."Ülkemizde Tuğla ve Kiremit Endüstrisi", 2000'li Yıllarda Sağlıklı ve Güvenli Konutlar için Tuğla-Kiremit Paneli, TUKDER, Ocak, Ankara.

Hansen TC. Recycling of demolished concrete and masonry. London: E&FN SPON; 1992. Khalaf, F.M. and DeVenny, A.S., 2004, Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete: review, Journal of Materials in Civil Engineering, 16, 4, 33-340.

Kırgız, M.S., 2007. Mermer ve Tuğla Endüstrisi Atıklarının Çimento Üretiminde Mineralojik Katkı Olarak Kullanılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 228s, Ankara.

Şahin, Ş.E., 2008. Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Kütahya.

TS EN 1008, (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları TSE, Ankara Turkey.

TS EN 1015-3, (2000). Kagir harcı-Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini TSE, Ankara Turkey,

TS EN 1170-6, (1999). Ön yapımlı beton mamuller-Cam elyaf takviyeli çimento (ctc) deney metodu-Bölüm 6: Suya daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini TSE, Ankara Turkey ,

TS EN 12390-4, (2002). Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 4: Basınç dayanım Deney makinelerinin özellikleri TSE, Ankara Turkey.

TS EN 12504-4 (2004). Beton deneyleri-Bölüm 4: Ultrases geçiş hızının tayini TSE, Ankara Turkey.

TS EN 13369, (2018). Öndökümlü beton mamuller- Genel kurallar TSE, Ankara Turkey,

TS EN 13501-1+A1, (2013). Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın sınıflandırması bölüm 1: Yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma TSE, Ankara Turkey.

TS EN 196-1, (2016). Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini TSE, Ankara Turkey,

TS EN 197-1, (2012). Cement- Stage 1: General cements – component, TSE, Ankara Turkey. using the orthogonal design method, Constr. Build. Mater. 31 (2012) 289–293,

Yaşar, E.& Erdoğan Y. 2005; Asidik (Nevşehir) ve Bazik (Osmaniye) Pomzaların Yapı Sektöründe Değerlendirilmesi, 409,413 s.

Yetgin, Ş. ve Çavdar A., 2005. Doğal Puzolan katkı Oranının Çimentonun Dayanım, İşlenebilirlik, Katılaşma ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (4), 687-692.

Yıldırım, E., 2001. Çorum'da Kullanılan Tuğla Atıklarının Tekrar Değerlendirilmesinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78-83s, Ankara.

Yılmaz, B., 2006. Na-CMC Polielektrolik İlavesinin Puzolanlı Çimento Özelliklerine Etkisi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11, 143- 154.

Z. Ge, Z. Gao, R. Sun, L. Zheng, Mix design of concrete with recycled clay-brickpowder

Çelik Lif Kullanım Oranının Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi

İlker Fatih KARA[1], Cahit BİLİM[1], Yunus Emre AKKAŞ[1]

[1] Department of Civil Engineering, Mersin University, Turkey
Emails: ifkara@mersin.edu.tr, cbilim@mersin.edu.tr, yunusemreakkas@mersin.edu.tr

Özet

Çalışmada, çelik lif ihtiva eden çimento harçlarının eğilme ve basınç mukavemetleri incelenmiştir. Bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosunun kullanıldığı harç karışımlarında su/bağlayıcı oranı 0.5 ve kum/bağlayıcı oranı 3.0 alınmıştır. İnce agrega olarak standart kumun yer aldığı karışımlarda çelik lif, hacim esasına göre, %0, %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında kullanılmıştır. Harçların mekanik özelliklerinin tespitinde her bir karışımdan 40 x 40 x 160 mm boyutlarına sahip prizma numuneler üretilmiştir. 21±1°C sıcaklığa sahip su içerisinde 7, 14 ve 28 gün boyunca kür edilen numuneler daha sonra eğilme ve basınç mukavemeti testlerine tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışmadan elde edilen bulgular, çelik lif katkısının kontrol karışımına kıyasla harçların eğilme ve basınç dayanımlarını geliştirdiğini ve artan lif dozajıyla birlikte dayanımların da arttığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Çelik lif, Çimento, Harç, Eğilme dayanımı, Basınç dayanımı

The Effect of Steel Fiber Usage Rate on Mechanical Properties of Cement Mortars

Abstract

In this study, the flexural and compressive strength of cement mortars containing different ratios of steel fibers were investigated. In the mortar mixtures, the water/cement and sand/cement ratios were chosen 0.5 and 3.0 respectively. Steel fiber was utilized at 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0% ratios on the basis of volume in the mixtures in which standard sand was used as fine aggregate. To determine the mechanical properties of mortars, the specimens with 40 x 40 x 160 mm dimensions was produced from each mixture. Then, these specimens were subjected to the flexural and compressive strength tests after the curing period of 7, 14 and 28 days. The findings obtained from the experiments presented that the addition of steel fiber into mixture improved the flexural and compressive strengths of cement mortars in comparison with reference mortar. Also, it was observed that an increase in the fiber ratio increased the all strength values of mortar mixtures.

Keyword(s): Steel fiber, Cement, Mortar, Flexural strength, Compressive strength

1. Giriş

Beton, günümüz inşaat teknolojisinde yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden birisidir. Betonun bu kadar çok talep görmesinin nedenleri arasında, istenilen formlarda yapı elemanlarının üretimine imkan tanıması, yüksek mekanik mukavemete ve dayanıklılığa sahip bulunması, onarım maliyeti düşük ekonomik bir malzeme olması gibi bazı faktörler gelmektedir (Yazıcı, 2017). Ancak, sayılan bu avantajlarının yanı sıra beton, gevrek olması münasebetiyle, yorulma dayanımı, aşınma direnci, çekme mukavemeti, çatlama sonrası yük taşıma kapasitesi ve tokluk özellikleri açısından zayıf bir malzemedir. Dolayısıyla, betonun bu özelliklerini önemli ölçüde artırmak için beton teknolojisinde çeşitli malzemelerin kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu malzemelerden biri de beton karışımlarına katılan farklı boyutlardaki çelik liflerdir (Şimşek, 2004; Karahan, 2006).

Çeşitli malzemelerin liflerle takviye edilerek bazı özelliklerini geliştirmeye yönelik uygulamaların, balçık ve samanın birlikte karıştırılmasıyla üretilen kerpiç malzemesinde olduğu gibi çok eskilere dayandığı bilinmektedir. Bu bakımdan, betona çelik lif ilavesiyle betonun çekme, eğilme, yorulma ve darbe etkilerine karşı mukavemeti artmakta ve sonuçta, süneklik ve mukavemet gibi mühendislik özellikleri iyileştirilmektedir (Kozak, 2013). Zira, betondaki iç gerilmelere bağlı olarak oluşan mikro çatlakların büyümesi ve ilerlemesi, liflerin gerilme aktarma özelliği ile önlenmekte ve lifler, şekil ve miktarlarına bağlı olarak oluşan bazı gerilmeleri taşımak suretiyle çimento matrisi içerisinde gerilmeleri aktarmaktadır. Neticede, beton içerisinde gerilmelerin dağılımı değişmekte ve yük taşıma kapasitesi kayda değer bir şekilde artmış olmaktadır (Bentur ve Mindness, 1990). Ancak, çelik lif katkısı taze betonun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemekte, lif içermeyen betona nazaran lifli betonun üretimi ve yerleştirilmesi daha iyi bir organizasyona ve işçiliğe ihtiyaç duymaktadır. Bunun yanı sıra, çelik liflerin beton özellikleri üzerinde yapacağı etkiler, su/bağlayıcı oranı, agreganın maksimum tane büyüklüğü, agreganın bileşimi, çelik lifin kullanım oranı ve narinliği gibi bir takım parametrelere bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Gambhir, 1986; Bentur ve Mindness, 1990; Tokyay vd., 1991; Zollo, 1997; ACI 544, 1998; Mansur vd., 1999; Yazıcı vd., 2007). Dolayısıyla yapılan bu çalışmada, hacim esasına göre %0, %0.5, %1, %1.5 ve %2 gibi değişik oranlarda çelik lif kullanımının çimento harçların eğilme ve basınç mukavemetine olan etkilerinin incelenmesi ve elde edilen sonuçlarla literatürdeki mevcut bilgi seviyesine katkı yapılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Üretilen harçların içerisinde kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de görülen TS EN 197-1 (2012) ile uyumlu CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. TS EN 196-1 (2009) ile uyumlu standart kumun ince agrega olarak kullanıldığı harçlarda su/çimento oranı 0.50 ve kum/çimento oranı 3.0 seçilmiştir. Harçların üretiminde uzunluğu 60 mm, çapı 0.90 mm ve narinlik (boy/çap) değeri 65 olan RC 65/60 BN tipi iki ucu kancalı, kaplamasız ve düşük karbonlu çelik lif kullanılmıştır. Çelik lifler, hacim esasına göre %0 (kontrol), %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında harç karışımlarına dahil edilmiştir.

Tablo 1 – Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kompozisyon (%)	CEM I 42.5 R
SiO_2	14.38
Al_2O_3	3.33
Fe_2O_3	2.85
CaO	67.36
MgO	1.60
Na_2O	0.41
K_2O	1.09
SO_3	4.51
Cl^-	0.35
Özgül yüzey	3250
Özgül ağırlık	3.15

Çelik lifin çimento harçlarının eğilme ve basınç dayanımlarına olan etkisini araştırmak maksadıyla 40 x 40 x 160 mm boyutlarına sahip prizmatik örnekler hazırlanmıştır. Dökümden 24 saat sonra kalıplarından çıkartılan numuneler 7, 14 ve 28 gün boyunca sıcaklığı 21 ± 1°C olan su içerisinde kür edilmiştir. Numunelerin mukavemet tespiti, TS EN 1015-11 (2000) standardına uygun olarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Harç Numunelerin Eğilme Dayanımları

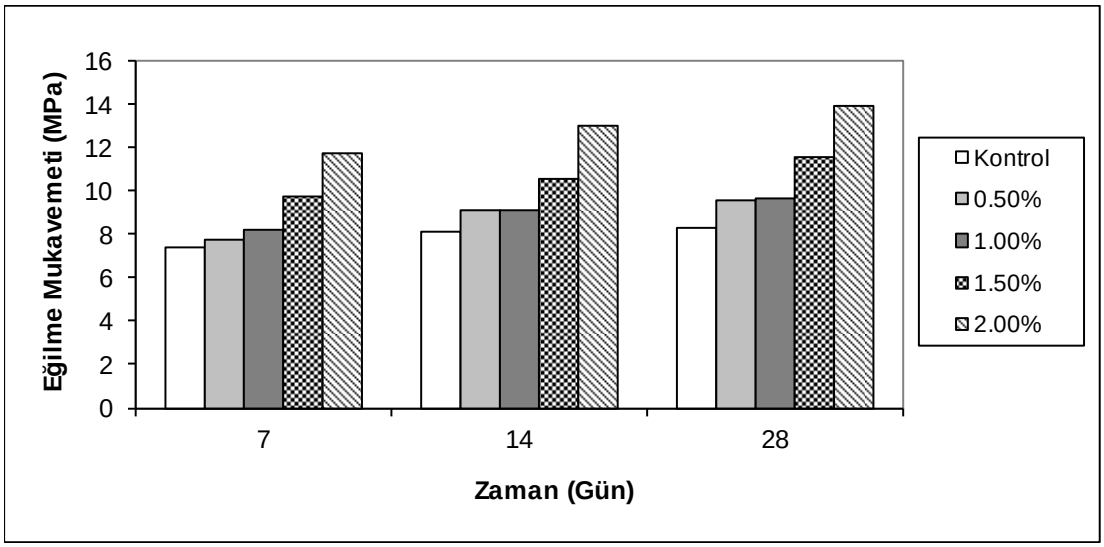
Harç numunelerinin 7, 14 ve 28 günlük eğilme dayanımları hem Tablo 2'de hem de grafik olarak Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 2 – Çimento harçlarının eğilme dayanımları

	Eğilme Dayanımı (MPa)		
Karışım	7.Gün	14.Gün	28.Gün
Kontrol	7.43	8.09	8.30
K0.5	7.80	9.12	9.56
K1.0	8.23	9.13	9.63
K1.5	9.77	10.57	11.56
K2.0	11.77	12.99	13.96

Tablo 2 (*veya Şekil 1*)'den görüleceği üzere, sadece Portland çimentosu ile hazırlanan çelik lifsiz kontrol harcının 7, 14 ve 28 gün sonrasındaki eğilme dayanımları sırasıyla 7.43 MPa, 8.09 MPa ve 8.30 MPa değerlerini almıştır. Diğer taraftan, %0.5'ten başlayarak %2.0 katkı oranına kadar çelik lif içeren harç karışımlarının eğilme dayanımları ise 7. günde 7.80 ila 11.77 MPa arasında, 14. günde 9.12 ila 12.99 MPa arasında ve 28. günde ise 9.56 ila 13.96 MPa arasında değişiklik göstermiştir. Kontrol harcına kıyasla, karışım içerisine dahil edilen çelik lif, yükselen katkı oranıyla birlikte 7, 14 ve 28 günlük eğilme dayanımlarında önemli derece artışlar meydana getirmiştir. Dolayısıyla, maksimum eğilme dayanımları en fazla çelik lif katkısı içeren K2.0 karışımından elde edilmiş olup, bu grubun kontrol karışımına kıyasla dayanım artışları 7, 14 ve 28 gün için sırasıyla %58, %61 ve %68 olarak belirlenmiştir.

Prizmatik örneklerin tarafsız eksen altında kalan bölgesindeki çekme kuvvetlerine bağlı çatlak gelişimleri, çelik liflerin gerilme köprüsü özelliği sayesinde önlenmiş ve eğilme yüklerinin taşınmasında kayda değer düzeyde artış sağlanmıştır.



Şekil 1 – Çimento harçlarının eğilme dayanımları

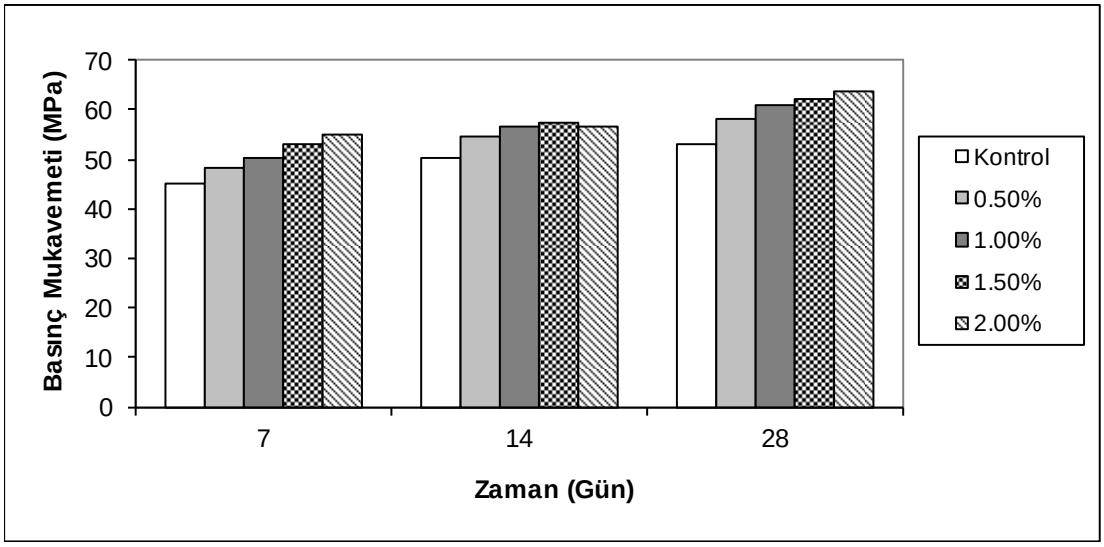
3.2. Harç Numunelerin Basınç Dayanımları

Harç numunelerinin 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımları hem Tablo 3'te hem de grafik olarak Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 3 – Çimento harçlarının basınç dayanımları

	Basınç Dayanımı (MPa)		
Karışım	7.Gün	14.Gün	28.Gün
Kontrol	45.18	50.29	53.09
K0.5	48.35	54.51	58.23
K1.0	50.30	56.56	60.97
K1.5	52.82	57.23	62.18
K2.0	55.15	56.72	63.85

Tablo 3 (*veya Şekil 2*)'den görüleceği üzere, salt Portland çimentosu ile üretilen çelik lifsiz kontrol karışımının 7, 14 ve 28 gün sonrasındaki basınç mukavemetleri sırasıyla 45.18 MPa, 50.29 MPa ve 53.09 MPa olmuştur. Buna karşılık, %0.5 ila %2.0 katkı oranları arasında çelik lif ihtiva eden harç karışımlarının basınç mukavemetleri ise 7. günde 48.35 ila 55.15 MPa arasında, 14. günde 54.51 ila 56.72 MPa arasında ve 28. günde ise 58.23 ila 63.85 MPa arasında değerler almıştır. Kontrol harcıyla karşılaştırıldığında, karışım içerisine eklenen çelik lifin artan kullanım oranı 7, 14 ve 28 günlük basınç dayanımlarında artış meydana getirmiştir. Bu bakımdan, 28 günlük kür süresi sonrası için maksimum basınç dayanımı 63.85 MPa değeri ile K2.0 karışımından elde edilmiş olup, kontrol karışımına göre basınç dayanımındaki artış oranı ise %20 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2 – Çimento harçlarının basınç dayanımları

4. Sonuçlar

Yürütülen çalışmadan elde edilen sonuçlar, herhangi bir lif katkısı içermeyen kontrol karışımına nazaran harç karışımı içerisine ilave edilen çelik lifin, artan kullanım oranıyla birlikte 7, 14 ve 28 günlük ıslak kür sonrasındaki eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığını göstermiştir. Bu bakımdan, ele alınan harç karışımları içerisinde en yüksek eğilme ve basınç dayanımları hacimce %2.0 çelik lif katkısı içeren K2.0 karışımından elde edilmiştir. Harç numunelerin mekanik davranışına çelik lifin sağladığı katkı, basınç mukavemetinden ziyade, çekme kuvvetlerinin yol açtığı çatlak gelişimlerini kontrol altında tutması açısından özellikle eğilme mukavemetinde daha belirgin bir şekilde gözlenmiştir.

Kaynaklar

1. ACI Committee 544, (1998). “Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete”, ACI 5442R, American Concrete Institute, Michigan.
2. Bentur, A. & Mindess S., (1990). “Fiber Reinforced Cementitious Composites”, Elsevier Applied Science, London.
3. Gambhir, M. L., (1986). Concrete Technology. New Delhi: McGraw Hill Publishing.
4. Karahan, O., (2007). Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 1-256.
5. Kozak, M., (2013). “Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 3(5); 26-35.
6. Mansur, M. A., Chin, M. S., Wee, T. H., (1999). “Stress–strain Relationship of High Strength Fiber Concrete in Compression”, Journal of Materials in Civil Engineering, 11(1):21–29.
7. Şimşek, O., (2004). “Beton ve Beton Teknolojisi”, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 247s.
8. Tokyay, M., Ramyar, K., Turanlı, L., (1991). “Behaviour of Polypropylene and Steel Fiber Reinforced High Strength Concretes under Compressive and Flexural Loads”, Proc. 2nd National Concrete Conference, Istanbul, Turkey, pp. 303-311.
9. TS EN 196-1, (2009). “Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
10. TS EN 197-1, (2012). “Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

11. TS EN 1015-11, (2000). "Kâgir Harcı Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
12. Yazıcı, S., Inan, G., Tabak, V., (2007). "Effect of Aspect Ratio and Volume Fraction of Steel Fiber on The Mechanical Properties of SFRC", Construction and Building Materials, 21:1250–1253.
13. Yazıcı, Ş., (2017). "Çelik Lif Boyu ve Kullanım Oranının Çelik Lifli Betonun Özelliklerine Etkisi", Proc. 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2017), Baku, Azerbaijan, pp. 1866-1872.
14. Zollo, R. F., (1997). "Fiber-reinforced Concrete: An Overview after 30 Years of Development", Cement and Concrete Composites, 19(2):107–122.

Çelik Lif Katkısı içeren Çimento Harçlarının Yüksek Sıcaklıklara Karşı Direnci

Cahit BİLİM[1], İlker Fatih KARA[1], Yunus Emre AKKAŞ[1]

[1] Department of Civil Engineering, Mersin University, Turkey
Emails: ifkara@mersin.edu.tr, cbilim@mersin.edu.tr, yunusemreakkas@mersin.edu.tr

Özet

Çalışmada, çelik lif içeren çimento harçlarının yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması sonrasındaki eğilme ve basınç mukavemetleri incelenmiştir. CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosunun kullanıldığı karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0.5 ve kum/bağlayıcı oranı 3.0 alınmıştır. İnce agrega olarak standart kumun yer aldığı karışımlarda çelik lif, hacimce, %0, %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında kullanılmıştır. Harçların mekanik özelliklerinin tespitinde her karışımdan 40 x 40 x 160 mm boyutlarında örnekler üretilmiştir. 24 saat sonra kalıptan çıkartılarak 21±1°C sıcaklığa sahip su içerisinde 27 gün boyunca bekletilen numuneler, kür bitiminde 1 saat süreyle 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklara maruz bırakılmış ve ardından, fırın içinde soğutulmuşlardır. Buna müteakip, ortam sıcaklığına kadar soğuyan numunelerin eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Sonuçlardan, yangın sonrası dayanımların artan lif dozajıyla iyileştiği ve lif içermeyen kontrol karışımına kıyasla, yüksek sıcaklık görmüş harçlarda çelik lifin eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yüksek sıcaklık, Harç, Durabilite, Çelik lif

The Resistance of Cement Mortars Containing Steel Fiber to High Temperatures

Abstract

In this study, the residual flexural and compressive strength after the high temperatures for cement mortars containing different ratios of steel fibers were investigated. In the mixtures, the water/cement and sand/cement ratios were chosen 0.5 and 3.0 respectively. Steel fiber was utilized at 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2.0% ratios on the basis of volume in the mixtures in which standard sand was used as fine aggregate. To determine the mechanical properties of mortars after the elevated temperatures, the specimens with 40 x 40 x 160 mm dimensions was produced from each mixture. After 24 h, the specimens were removed from the molds and cured for 27 days in water at 21±1°C. Then, they were subjected to 300°C, 600°C and 900°C temperatures for an hour and cooled in the oven. After that, the flexural and compressive strength tests were performed on these specimens cooling down to the room temperature. The results showed that the residual strengths of mortars improved with the increasing ratio of steel fiber, and that the addition of steel fiber into the mixture increased the flexural and compressive strength values of cement mortars exposed to the high temperatures compared to control mortar without fiber.

Keyword(s): High temperature, Mortar, Durability, Steel fiber

1. Giriş

Günümüzün en sık kullanılan yapı malzemelerinden birisi olan beton, çatlama sonrası yük taşıma, tokluk, kayma mukavemeti, aşınma direnci, çekme dayanımı ve yangına karşı dayanıklılık açısından oldukça zayıf bir malzemedir (Açıkgenç vd., 2012; Kakooei vd., 2012; Fakharifar vd., 2014). Zayıf olan bu özelikleri geliştirmek için birçok çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle yangın, her zaman karşılaşılabilecek bir tehlikedir ve beton elemanlar, çeşitli nedenlerden dolayı yüksek sıcaklıklara maruz kalabilmektedir. Gelişen teknoloji ve sanayileşme, nüfusun giderek artmasına paralel olarak toplu yerleşim bölgelerinin de fazlalaşmasına neden olmakta ve bu durum, yangın riskinin ve buna bağlı maddi ve manevi zararların artışına yol açmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisiyle betonun mukavemeti, elastisite modülü ve mekanik özellikleri değişiklik gösterebilmekte ve istenmeyen çatlamalar, kırılmalar ve dökülmeler meydana gelebilmektedir. Yüksek sıcaklıkların tesiri altında kalan betonun davranışını etkileyen faktörlerin başında ısınma hızı, nemlilik koşulları ve bağlayıcı hamuru oluşturan bileşenlerin özellikleri geldiğinden çimento hamurunun yüksek sıcaklıklar karşısındaki direncinin araştırılması büyük önem taşımaktadır.

Betonun çatlak gelişimine karşı direncini ve sünekliğini geliştirmek için betonun liflerle takviye edilmesi etkili olabilecek bir yol olup, beton gibi çimento bileşenli kompozitlerin gevrek davranışı çeşitli özelliklere sahip lifler kullanılmak suretiyle sünek davranışa doğru iyileşme sağlanabilir (Topçu, 2006; Yardımcı, 2007). Bu bakımdan, betonda ani ve gevrek kırılmayı önleyebilmek ve betonun sünekliğini artırabilmek için beton içerisinde farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip lifler kullanılmaktadır. Fiziksel ve mekanik özelikleri farklı olan bu lifler, beton karışımı içerisinde karma olarak da kullanılarak, gevrek davranış gösteren yüksek dayanımlı betonlara süneklik kazandırmada ve zayıf yönleri daha da iyileştirmede yarar sağlamaktadır (Hsie vd., 2008; Alani ve Beckett, 2013).

Betonların yangın direncini arttırmak için yüksek sıcaklık etkisiyle meydana gelen genleşmelerin ve buna bağlı çatlakların ve parçalanmaların önüne geçilmesi gerektiğinden, yürütülen bu çalışma kapsamında, farklı derecelerdeki yüksek sıcaklık etkilerine maruz bırakılan çimento harçlarının yangına karşı direnci üzerinde değişen oranlarda yapılan çelik lif katkısının etkileri araştırılmış ve ulaşılan bulgular, literatüre katkı sağlamak amacıyla tartışılarak sunulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

Harç karışımlarının üretiminde, kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1'de görülen TS EN 197-1 (2012) ile uyumlu CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. TS EN 196-1 (2009) ile uyumlu standart kumun ince agrega olarak kullanıldığı harç karışımlarında kum/çimento oranı 3.0 ve su/çimento oranı 0.50 seçilmiştir. Harç karışımlarının üretiminde uzunluğu 60 mm, çapı 0.90 mm ve narinlik (boy/çap) değeri 65 olan RC 65/60 BN tipi iki ucu kancalı, kaplamasız ve düşük karbonlu çelik lif kullanılmıştır. Çelik lifler, harç karışımlarının içerisine hacim esasına göre %0 (kontrol), %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında dahil edilmiştir.

Tablo 1 – Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kompozisyon (%)	CEM I 42.5 R
SiO_2	14.38
Al_2O_3	3.33
Fe_2O_3	2.85
CaO	67.36
MgO	1.60
Na_2O	0.41
K_2O	1.09
SO_3	4.51
Cl^-	0.35
Özgül yüzey	3250
Özgül ağırlık	3.15

Çelik lif katkısının çimento harçlarının yüksek sıcaklık sonrasındaki eğilme ve basınç dayanımlarına olan etkisini araştırmak amacıyla 40 x 40 x 160 mm boyutlarındaki prizma numuneler üretilmiştir. Döküldükten 24 saat sonra kalıplarından çıkartılan bu numuneler, 21±1°C sıcaklıktaki su içerisinde 27 gün boyunca küre tabi tutulmuşlardır. Kür süresi sonunda her bir karışımdan 3 adet prizmatik harç numune, ısıtma hızının 5ºC/dk olarak ayarlandığı yüksek sıcaklık sağlayan fırın içerisinde 1 saat süreyle 300ºC, 600ºC ve 900ºC sıcaklıklara maruz bırakılmış ve sonrasında fırın içinde bekletilerek soğumaları sağlanmıştır. Numunelerin ortam sıcaklığına kadar soğumasının ardından TS EN 1015-11 (2000) doğrultusunda eğilme ve basınç mukavemeti ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Harç Numunelerin Yüksek Sıcaklık Sonrasındaki Basınç Dayanımları

Harç numunelerinin 28 günlük kür işlemine tabi tutulmalarının ardından yüksek sıcaklığa maruz bırakılmaları sonrasında elde edilen basınç dayanımları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2 – Harçların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları

	Basınç Dayanımı (MPa)			
	20ºC	**300ºC**	**600ºC**	**900ºC**
Kontrol	53.09	57.84	41.51	13.83
K0.5	58.23	65.43	42.18	15.42
K1.0	60.97	67.30	43.45	15.64
K1.5	62.18	70.24	43.97	16.16
K2.0	63.85	73.09	45.38	16.23

Tablo 2'den görüleceği üzere, karışım içerisinde çelik lif hacminin artması, bütün sıcaklık değerleri için mukavemet üzerinde olumlu bir etki meydana getirmiş ve harç örneklerin basınç mukavemetlerini arttırmıştır. Diğer taraftan, 20°C sıcaklıkta harçların basınç dayanımları 53.09 MPa ila 63.85 MPa arasında değişiklik gösterirken, sıcaklığın 300°C'ye

çıkması sonrasında harç karışımlarından elde edilen basınç mukavemeti değerleri 57.84 MPa ila 73.09 MPa arasında yer almıştır. Dolayısıyla, 20°C sıcaklığa sahip harç numunelerine nazaran 300°C sıcaklıktaki harç numunelerin basınç mukavemeti değerlerinde %9 ila %14 arasında değişen bir artış meydana gelmiş ve en fazla dayanım artışının gözlendiği karışım %2.0 çelik lif içeriğine sahip K2.0 kodlu karışım olmuştur. Mukavemette ortaya çıkan bu artış, serbest suyun buharlaşması neticesinde bağlayıcı hamur içindeki jel tabakalarının daha yakın konum alarak birbirlerini van der Waals kuvvetleriyle çekmesinden ileri gelmektedir (Dias vd., 1990; Khoury, 1992; Hossain, 2006). Bunun yanı sıra, sıcaklık 600° C olduğunda, harçların basınç dayanımı değerleri düşmeye başlamış ve 900°C sıcaklığa gelindiğinde bu düşüş miktarları önemli seviyelere ulaşmıştır. Harç numunelerin basınç mukavemetlerinde ortaya çıkan bu kayıplar, kalsiyum silikat hidrat jellerinin dağılmasından kaynaklanmaktadır (Xu vd., 2001; Poon vd., 2001).

3.2. Harç Numunelerin Yüksek Sıcaklık Sonrasındaki Eğilme Dayanımları

Harç numunelerinin 28 günlük kür işlemine tabi tutulmalarının ardından yüksek sıcaklığa maruz bırakılmaları sonrasında elde edilen eğilme dayanımları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3 – Harçların yüksek sıcaklık sonrası eğilme dayanımları

	Eğilme Dayanımı (MPa)			
	20ºC	**300ºC**	**600ºC**	**900ºC**
Kontrol	8.30	7.66	4.20	0.91
K0.5	9.56	10.58	5.77	1.05
K1.0	9.63	14.00	6.16	1.62
K1.5	11.56	16.03	9.16	2.66
K2.0	13.96	16.66	10.21	2.85

Tablo 3'den görüleceği üzere, yüksek sıcaklıkların eğilme mukavemeti üzerindeki şiddetli etkisi, basınç dayanımlarına kıyasla daha belirgin olmuştur. Harçların tümünün basınç dayanımı, 300ºC sıcaklığa kadar artış göstermesine rağmen numuneler, 300ºC sıcaklıktan itibaren eğilme dayanımlarını tedricen kaybetmeye başlamıştır. Numunenin merkezi ile yüzeyi arasındaki önemli sıcaklık farklılıklarının meydana getirdiği termal çatlaklar (Kong ve Sanjayan, 2010), sağlam kesit alanını azaltmakta ve numunelerde tarafsız eksenin altında kalan kısımlarında ortaya çıkan çekme gerilmeleri bu çatlakları arttırmaktadır (Özturan ve Cülfik, 2002; Xu vd., 2003; Li vd., 2004; Bilim, 2016). Diğer taraftan, bütün sıcaklık değerleri için karışım içerisinde çelik lif katkı oranın artmasına bağlı olarak harç numunelerin eğilme dayanımlarında bir artışın olduğu görülmektedir. İç yapıda termal gerilmeler nedeniyle oluşan mikro çatlakların büyümesi ve ilerlemesi, liflerin matris içerisinde gerilme aktarma özelliği sayesinde engellenmekte ve lifler, yük taşıma kapasitesini kayda değer bir mertebede arttırmış olmaktadır (Bentur ve Mindness, 1990).

4. Sonuçlar

Yürütülen bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, yüksek sıcaklıkların sebebiyet verdiği zararlı etkinin basınç dayanımındaki durum ile karşılaştırıldığında eğilme dayanımları üzerinde daha şiddetli ve belirgin olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yangın sonrası dayanımların artan lif dozajıyla birlikte iyileştiği ve çelik lifin, yüksek sıcaklık görmüş harçların eğilme ve basınç dayanımlarını lif içermeyen kontrol karışımına nazaran arttırdığı görülmüştür.

Kaynaklar

1. Açıkgenç, M., Arazsu, U., Alyamaç, K. E., (2012). "Farklı Karışım Oranlarına Sahip Polipropilen Lifli Betonların Dayanım ve Durabilite Özellikleri", SDU International Technologic Science, 4(3): 41-54.
2. Alani, A.M. & Beckett, D., (2013). "Mechanical Properties of A Large Scale Synthetic Fiber Reinforced Concrete Ground Slab", Construction and Building Materials, 41: 335-344.
3. Bentur, A. & Mindess S., (1990). "Fiber Reinforced Cementitious Composites", Elsevier Applied Science, London.
4. Bilim, C., (2016). "Alkali ile Aktive Edilmiş Cüruf Harçlarının Yangın Direnci", Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31 (2) 67-75.
5. Dias, W. P. S., Khoury, G. A., Sullivan, P. J. E., (1990). "Mechanical Properties of Hardened Cement Paste Exposed to Temperatures up to 700°C", ACI Materials Journal, 87(2): 160–166.
6. Hossain, K. M. A., (2006). "High Strength Blended Cement Concrete Incorporating Volcanic Ash: Performance at High Temperatures", Cement and Concrete Composites, 28(6): 535–545.
7. Hsie M., Tua C. and Song, P. S., (2008). "Mechanical Properties of Polypropylene Hybrid Fiber-Reinforced Concrete", Materials Science and Engineering A, 494: 153-162.
8. Fakharifar, A., Arezoumandi, M., Sharbatdar,, M. K., Chen, G., Kheyroddin, A., (2014). "Mechanical Properties of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites", Construction Building Materials, 71: 510-520.
9. Kakooei, S., Akil, H. Md., Jamshidi, M., Rouhi, J., (2012). "The Effects of Polypropylene Fibers on The Properties of Reinforced Concrete Structures", Construction Building Materials, 27(1): 73-77.
10. Khoury, G. A., (1992). "Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: A Reassessment", Magazine of Concrete Research, 44(161): 291–309.
11. Kong, D. L. Y., Sanjayan, J. G., (2010). "Effect of Elevated Temperatures on Geopolymer Paste, Mortar and Concrete", Cement and Concrete Research, 40(2): 334–339.
12. Li, M., Qian, C., Sun, W., (2004). "Mechanical Properties of High Strength Concrete After Fire", Cement and Concrete Research, 34(6): 1001–1005.
13. Özturan, T., Cülfik, M. S., (2002). "Effect of Elevated Temperatures on The Residual Mechanical Properties of High Performance Mortar", Cement and Concrete Research, 32(5): 809–816.
14. Poon, C. S., Azhar, S., Anson, M., Wong, Y. L., (2001). "Comparison of The Strength and Durability Performance of Normal and High-Strength Pozzolanic Concretes at Elevated Temperatures", Cement and Concrete Research, 31(9): 1291–1300.
15. Topçu, İ. B., (2006). "Beton Teknolojisi", Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
16. TS EN 196-1, (2009). "Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
17. TS EN 197-1, (2012). "Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
18. TS EN 1015-11, (2000). "Kâgir Harcı Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
19. Xu, Y., Wong, Y. L., Poon, C. S., Anson, M., (2001). "Impact of High Temperature on PFA concrete", Cement and Concrete Research, 31(7): 1065–1073.

20. Xu, Y., Wong, Y. L., Poon, C. S., Anson, M., (2003). "Influence of PFA on Cracking of Concrete and Cement Paste after Exposure to High Temperatures", Cement and Concrete Research, 33(12): 2009–2016.
21. Yardımcı, M. Y., (2007). "Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Testing of the Abrasion Value of Natural Ahlat Stone Rock Used in Paving Stones

Abdulrezzak Bakis*

Bitlis Eren University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Turkey
Emails: abakis@beu.edu.tr

Abstract

This study highlights an investigation of using construction Ahlat stone rock in fabricating paving stone. Test of surface abrasion was carried out for the specimens, in accordance with TS 2824 EN 1338 standard. Results of the tests indicated that the surface abrasion value was 34.6 $cm^3/50cm^2$ for paving stones produced from Ahlat stone rock at 3 days and 20 ± 2 °C of water curing. After combined curing, the surface abrasion value was 65.2 $cm^3/50cm^2$. Results of the test were compared with specification limits of TS 2824 EN 1338.

Keyword(s): Paving stone, Ahlat stone rock, Abrasion test

*Corresponding author. Email: abakis@beu.edu.tr

1. Introduction

Concrete paving stones, which are widely used in urban roads, tretuvar, and recreation areas [1], are fabricated by mixing cement, aggregate, water, and additives in certain ratios [2]. Concrete paving stones are produced in different grades, such as square cobblestones, tombstones, and paving stones, the third one being the most common [3]. The most common materials employed in the fabrication of pavement stones are crushed limestone aggregates. Relatively, this study investigates the use of Ahlat stone rock. Originally known as ignimbrites, Ahlat stone rock is widely used in Bitlis Province of the Ahlat region. Ahlat stone rock is one of the pyroclastic rocks that contain abundant pumice and volcanic glass due to the explosion of Nemrut crater. On this basis, Ahlat stone rock has limited applicability in the construction sector [4]. Ahlat stone rock is rather used mainly as a wall stone in structures. The author of this paper realizes that no study has been carried out yet regarding the use of natural Ahlat stone rocks in the production of paving stones. Specifically, this paper investigates the usability of natural Ahlat stone rock in the production of paving stones. Two different types of paving stones are produced, under two different types of curing applications. Surface abrasion test of different types of paving stones was carried out, and the results were compared with specification limits of TS 2824 EN 1338 standard [5].

2. Materials and Method

2.1. Materials

Two different types of paving stones were manufactured for the purpose of this study. ASRWC was produced from natural Ahlat stone rock and obtained after 3 days at 20 ± 2 °C

standard water curing application. ASRCC was obtained from a curing application combined to that for ASRWC. Figure 1 describes the appearance of the Ahlat stone rocks used in the production of ASRWC and ASRCC, which were retrieved from the Ahlat Ovakisla quarry.

Fig. 1. Ahlat stone rocks used for ASRWC and ASRCC production

Table 1 provides a list of the chemical properties of the Ahlat stone [6].

Table 1. Chemical properties of Ahlat stone

Component	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	Fe_2O_3
Percentage, %	5.51	0.24	16.01	64.11	4.78	1.64	0.44	4.91

2.2. Method

The usability of Ahlat stone rock in the fabrication was validated in the fabricated two different types of paving stones. Two curing applications were applied to the stones. Moreover, each stone type was subjected to surface abrasion test. Results of the test were compared with specification limits TS 2824 EN 1338 standard.

2.2.1. Curing types

Two curing types, namely, standard water curing and combined curing, were applied for the paving stones. The literature did not specify any standard for the combined curing of hardened concrete. The standard curing was for 3 days at 20 ± 2 °C, whereas the combined curing involved 3 days at 20 ± 2 °C of the standard water curing, followed by 2 days at 180 ± 2 °C of drying oven curing.

2.2.2. Test Methods

Surface abrasion test for the paving stones was performed in accordance to TS 2824 EN 1338 standard [5].

2.2.2.1. Surface abrasion test method

Bohme abrasion test is designed to obtain abrasion loss. A total of 16 cycles, each with 22 subcycles, were applied to the samples. Abrasion loss (ΔV) at the end of the 16 cycles was calculated through Eq. 1 [5]:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho r} \quad (1)$$

where:

ΔV = Volume loss after 16 cycles, cm^3
Δm = Mass loss after 16 cycles, g
Pr = Density of the sample, g/cm^3

Three samples from each type of paving stones were taken, and the abrasion loss was calculated as the average of all three values obtained.

3. Results and Discussion

3.1. Results of Bohme Abrasion Test

Results of the Bohme abrasion test for all the paving stones are listed in Table 2.

Table 2. Results of abrasion test for the paving stones

Paving stone type	**Abrasion ΔV ($cm^3/50\ cm^2$)**	**TS 2824 EN 1338 Specification limit ($cm^3/50\ cm^2$)**
ASRWC	34.6	$\Delta V \leq 18$
ASRCC	65.2	

No abrasion values of the paving stones provide the specification limits, as shown in the results of abrasion test in Table 2.

4. Conclusions

The usability of natural Ahlat stone rock in fabricating paving stones was the focal subject of investigation for this study. Two different types of paving stones were fabricated under two curing types. Test of surface abrasion for each paving stone type were carried out. Test results were compared with the specification limits. The findings of this study can be generalized as follows:

- No abrasion values of the paving stones provide the specification limits. Thus, natural Ahlat stone rocks cannot used in the production of paving stones.
- ASRWC had the lowest abrasion loss. ASRCC had the highest abrasion loss.

Acknowledgments

The author would like to thank Bitlis Eren University Rector and its staff, Ultra Building Materials and Quality Control Concrete Laboratory Industry and Trade Limited Company, and Van Lake Building Quality Control Laboratory Construction Industry Trade Limited Company.

References

1. Semiz, M. 2006. Research of the physical characteristics of concrete keystone and alternative production. Master Thesis, Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1-20.
2. Acikgoz, Y. 2008. Research in usage of fly ashes in the production of interlocking concrete pave. Master Thesis, Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1-60.
3. MEGEP. 2012. Covering in Sidewalk and Parks. Construction Technology, Ankara, 8-10.
4. Bakis, A. 2016. Usability of Ahlat stone in rigid pavement construction. BEU Journal of Science, 5, 164-71. http://dergipark.gov.tr/download/article-file/264097
5. TS 2824 EN 1338. 2005. Concrete paving blocks-Requirements and test methods. TSE, Ankara.
6. Simsek, O. and Erdal, M. 2004. Investigation of some mechanical and physical properties of the Ahlat stone (Ignimbrite). GU J Sci, 17, 71-8. http://gujs.gazi.e.,du.tr/article/view/1060000425

Measuring of the Freeze–Thaw of Ahlat Stone in the Production of Paving Stones

Abdulrezzak Bakis*

Bitlis Eren University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Turkey
Emails: abakis@beu.edu.tr

Abstract

This study highlights an investigation of using construction Ahlat stone rock in fabricating paving stone. Test of freeze–thaw was carried out for the specimens, in accordance with TS 2824 EN 1338 standard. Results of the test indicated that the freeze–thaw value was 1.02 kg/m^2 for paving stones produced from Ahlat stone at 3 days and 20 ± 2 °C of water curing. After combined curing, the freeze–thaw value was 2.11 kg/m^2.

Keyword(s): Paving stone, Ahlat stone rock, Freeze–thaw test

*Corresponding author. Email: abakis@beu.edu.tr

1. Introduction

Concrete paving stones are widely used in urban roads, tretuvar, and recreation areas [1]. Concrete paving stones are fabricated by mixing binder, aggregate, and water [2]. Concrete paving stones are produced in different grades [3]. The most common materials employed in the fabrication of pavement stones are crushed limestone aggregates. Relatively, this study investigates the use of Ahlat stone. Originally known as ignimbrites, Ahlat stone is widely used in Bitlis Province of the Ahlat region. Ahlat stone rock is one of the pyroclastic rocks that contain abundant pumice and volcanic glass due to the explosion of Nemrut crater. On this basis, Ahlat stone has limited applicability in the construction sector [4]. Ahlat stone is rather used mainly as a wall stone in structures. The author realizes that no study has been carried out yet regarding the use of natural Ahlat stone in the production of paving stones. Specifically, this study investigates the usability of natural Ahlat stone rock in the production of paving stones. Two different types of paving stones are produced, under two different types of curing applications. Freeze–thaw test of different types of paving stones were carried out. The results were compared with specification limits of TS 2824 EN 1338 (2005) standard [5].

2. Materials and Method

2.1. Materials

Two different types of paving stones were manufactured for the purpose of this study, as depicted in Table 1. ASRWC was produced from natural Ahlat stone rock and obtained after 3 days at 20 ± 2 °C standard water curing application. ASRCC was obtained from a curing application combined to that for ASRWC.

Table 1. Paving stone type and natural Ahlat stone size

Paving stone type	Natural Ahlat stone rock size (mm)
ASRWC	165 × 200 × 80 mm
ASRCC	165 × 200 × 80 mm

Figure 1 describes the appearance of the Ahlat stone used in the production of ASRWC and ASRCC, which were retrieved from the Ahlat Ovakisla quarry.

Fig. 1. Ahlat stone rocks used for ASRWC and ASRCC production

Table 2 provides a list of the physical and mechanical properties of the Ahlat stone [6].

Table 2. Physical and mechanical properties of Ahlat stone

Specific gravity (g/cm^3)	Porosity (%)	Water absorption by weight (%)	Surface abrasion loss ($cm^3/50\ cm^2$)	Unit weight (g/cm^3)	Compressive strength (MPa)	Bending strength (MPa)
2.60	27.31	20	29	1.89	10.6	1.59

2.2. Method

The usability of Ahlat stone rock in the fabrication was validated in the fabricated two different types of paving stones. Two curing applications were applied to the stones. Moreover, each stone type was subjected to freeze–thaw tests. Results of the tests were compared with specification limits [5]. Two curing types, namely, standard water curing and combined curing, were applied for the paving stones. The standard curing was for 3 days at 20 ± 2 °C, whereas the combined curing involved 3 days at 20 ± 2 °C of the standard water curing, followed by 2 days at 180 ± 2 °C of drying oven curing. Freeze–thaw test for the paving stones were performed after all curing.

Each paving stone was cut to a dimension of 120 × 80 × 80 mm. The surface area applied for the freeze–thaw test was 9600 mm^2. The mass loss (I) per unit area of the sample was calculated using Eq. 1 [5]:

$$I = \frac{M}{A} \quad (1)$$

where:

M: Total mass loss of material leaving from specimen after 28 days of cycles, kg
A: The surface area applied freeze–thaw, m^2
I: The mass loss per unit area, kg/m^2

For the freeze–thaw value, three samples from each type of paving stones were taken, and the average of these three values was calculated.

3. Results and Discussion

No freeze–thaw values of the paving stones provide the specification limits, as shown in the results of freeze–thaw test in Table 3.

Table 3. Results of freeze–thaw test results of paving stones

Paving stone type	**Mass loss per unit area, I (kg/m^2)**	**TS 2824 EN 1338 Specification limit (kg/m^2)**
ASRWC	1.02	$I \leq 1$
ASRCC	2.11	

4. Conclusions

The usability of natural Ahlat stone rock in fabricating paving stones was the focal subject of investigation for this study. Two different types of paving stones were fabricated under two curing types. Tests of splitting tensile strength, surface abrasion, and freeze–thaw for each paving stone type were carried out. Test results were compared with the specification limits of TS 2824 EN 1338 standard. The findings of this study can be generalized as follows:

- No freeze–thaw values of the paving stones provide the specification limits. Thus, natural Ahlat stone rocks cannot used in the production of paving stones.
- ASRWC had the lowest freeze–thaw mass loss. ASRCC had the highest freeze–thaw mass loss.

Acknowledgments

The author would like to thank Bitlis Eren University Rector and its staff, Ultra Building Materials and Quality Control Concrete Laboratory Industry and Trade Limited Company, and Van Lake Building Quality Control Laboratory Construction Industry Trade Limited Company.

References

1. Semiz M. 2006. Research of the physical characteristics of concrete keystone and alternative production. Master Thesis, Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1-20.
2. Acikgoz Y. 2008. Research in usage of fly ashes in the production of interlocking concrete pave. Master Thesis, Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1-60.
3. MEGEP. 2012. Covering in Sidewalk and Parks. Construction Technology, Ankara, 8-10.
4. Bakis A. 2016. Usability of Ahlat stone in rigid pavement construction. BEU Journal of Science, 5, 164-71. http://dergipark.gov.tr/download/article-file/264097
5. TS 2824 EN 1338. 2005. Concrete paving blocks-Requirements and test methods. TSE, Ankara.
6. Simsek O. and Erdal M. 2004. Investigation of some mechanical and physical properties of the Ahlat stone (Ignimbrite). GU J Sci, 17, 71-8. http://gujs.gazi.e.,du.tr/article/view/1060000425

Pomza Agregası Miktarının Geçirimli Beton Özelliklerine Etkisi

Sezer Sancar[1], Semih Süleyman Şahin[2]

[1] İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, İskenderun, Türkiye
[2]İnşaat Mühendisi, İzmir, Türkiye
Emails: sezer.sancar@iste.edu.tr, semih886@gmail.com

Abstract

In this study, effect of pumice aggregate content and water/cement ratio on mechanical and transport properties of pervious concrete were investigated. For this purpose, pumice aggregate was substituted for crushed limestone aggregate as 25, 50, 75 and 100 vol.% and fifteen pervious concrete mixtures having three different water/cement ratio (0.3, 0.4, 0.5) were produced. 5-15 mm size fraction of crushed limestone aggregate and 6-12 mm size fraction of pumice aggregate were used in all of the mixtures. Slump and unit weight tests were performed on fresh pumice concrete mixtures. Compressive strength, splitting tensile strength, water absorption, density, porosity and water permeability tests were also carried out on hardened pervious concretes. Test results indicated that an increase in pumice aggregate content decreased the compressive and splitting tensile strength of pervious concrete and increased the water permeability of concrete. According to the results obtained on the pervious mixtures including pumice aggregate, the optimum water/cement ratio from mechanical properties view point was found to be 0.5. As the water/cement ratio was lowered to 0.4 or 0.3, significant reductions in workability.

Keywords: Pervious concrete, pumice, compressive strength, splitting tensile strength, water absorption, water permeability.

Özet

Bu çalışmasında, pomza miktarının ve su/çimento oranının geçirimli betonun mekanik ve geçirimlilik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, yapılan çalışmada kireçtaşı agregası yerine hacimce % 25, 50, 75 ve 100 oranında pomza agregası kullanılmış ve su/çimento oranı 0.3, 0.4 ve 0.5 olan 15 farklı beton üretilmiştir. Deneysel çalışmada 5-15 mm tane boyutuna sahip kireçtaşı agregası ile, 6-12 mm tane boyutuna sahip pomza agregası kullanılmıştır. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde basınç, yarmada çekme, su emme, yoğunluk, porozite ve su geçirimliği deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda pomza miktarının artması geçirimli betonların basınç ve yarmada çekme dayanımlarını azaltırken, su geçirimliliklerini arttırmıştır. Bu çalışmada denenen pomza agregalı geçirimli beton karışımlarında mekanik özellikler açısından en uygun su/çimento oranın 0.5 olduğu, su/çimento oranı 0.4 ve özellikle 0.3 olması durumunda işlenebilmede sorunlar yaşandığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Geçirimli beton, su geçirimliliği, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme.

1. Giriş

Gözenekli beton olarak da adlandırılan geçirimli beton, genelde ince agrega içermeyip yapısında büyük gözenekler barındıran özel bir beton türüdür. Bu beton türünün en belirgin özelliği yapısındaki boşluk oranının % 15-25 civarında olması ve bu sayede geleneksel betonun aksine yüksek geçirimli olmasıdır. Alt yapısı zayıf olan bölgelerde, su baskınlarının etkisini azaltma ihtiyacı bu tarz bir betona ilgi oluşturmuş ve bu yönde çalışmalara başlanma gerekliliği ortaya koymuştur. Özellikle fazla yağış alan yerlerde, su birikintisine engel olunamayan yollar hem ulaşımı önemli ölçüde sekteye uğramakta hem de meydana gelen yağış, park alanları ve kaldırımlar gibi yaygın kullanım alanlarını kullanılamaz hale getirebilmektedir. Bu yüzden kaldırımlar, yol kaplamaları, spor alanları gibi açık alanlar geçirimli betonun en sık kullanıldığı ve kullanılması gereken alanlar olarak ele alınmaktadır (Kılınç ve Akakın, 2012).

Geçirimli beton düşük harç içeriği ve yüksek gözenekli yapısından dolayı geleneksel beton karışımlarına göre düşük dayanım göstermesine rağmen, park alanları, sokaklar, plazalar ve yürüyüş yolları da dahil olmak üzere pek çok döşeme uygulaması için yeterli taşıyıcı güce sahiptir (NRMCA, 2006).

Geçirimli betonların yol, kaldırım, park ve spor alanları gibi atmosfere açık alanlarda kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Geçirimli betonlar bu tür alanlarda yağan yağmur sularının yer altına az da olsa filtre edilerek sızmasını sağlamakta hem de kent yaşamını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca geçirimli betonun, yağmur sularının yer altı suyu ile birleşmesinde bir filtre görevi görerek, yeryüzünde su birikmesini önlediği ve yağış kaynaklı suları yer altına iletme özelliğine sahip olduğu bilinmektedir (Tennis vd., 2004).

Geçirimli beton, çökme değeri yaklaşık olarak sıfır olan ve yapısında kademeli boşluklar olan bir beton örneğidir. Geçirimli beton, genel olarak çimento, iri agrega, katkı maddeleri ve sudan oluşmaktadır ve çok az miktarda ince agrega içermekte veya hiç içermemektedir. Bu bileşenlerin karıştırılması ile suyun kolayca geçişini sağlayacak sertleşmiş geçirimli beton elde edildiği bilinmektedir. Geçirimli betonun basınç dayanımı 2,8 MPa ile 28 MPa arasında değişirken, su geçirimliliği 1,4 mm/s ile 12,2 mm/s arasında değişmektedir (ACI 522R, 2010).

Geçirimli beton aynı zamanda geliştirilmiş gözenekli beton, ince agregasız beton ve boşluklu beton olarak da adlandırılmaktadır. Geçirimli betonun boşluk oranının %15 ile %30 arasında değiştiği belirtilmektedir. (ACI 522R, 2010; Neithalath vd., 2006; Wang vd., 2006; Neithalath, 2007; Marolf vd., 2004; Haselbach vd., 2006). ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), su akışının düzenlenmesi açısından geçirimli betonu hayati olarak değerlendirmektedirler (Bury vd., 2006).

2. Geçirimli Beton

2.1 Geçirimli betonun avantajları

Geçirimli betonun en önemli avantajı gözenekli yapısı dolayısıyla büyük hacimli suları yer altına ileterek, kullanıldığı yerlerde yer altı su kaynaklarını şarj edebilmesi, yağmur ve fırtına sonucu oluşan akış problemlerini ortadan kaldırmasıdır (ACI 522R, 2010; Garber vd., 2011; Meininger, 1988).

Diğer avantajları ise yol kaplama yüzeylerindeki su miktarının az olması nedeniyle kayma direncini artırması ve otoyollarda lastik-yol etkileşiminden kaynaklanan gürültüyü azaltarak, yol güvenliğini artırmasıdır. Geçirimli beton, açık rengi dolayısıyla güneşten gelen ultraviyole ışınlarının çoğunu geri yansıtmakta ve asfalta göre daha az ısı emilimi yapmaktadır. Ayrıca boşluklu yapısı sayesinde normal betona göre daha az ısı depolamaktadır. Bu yüzden geçirimli betonun sıcak iklimlerde kullanılması avantaj sağlamaktadır (ACI 522R, 2010; Neithalath, 2004; Tennis vd., 2004; Yang ve Jiang, 2003).

2.2 Geçirimli betonun dezavantajları

Geçirimli betonlar ile ilgili bazı sınırlamalar normal beton gibi yaygın kullanımını engellemektedir. Bu sınırlamalar geçirimli betonun düşük mukavemet ve düşük dayanıklılık göstermesidir.

Geçirimli beton, geleneksel betona göre düşük basınç ve çekme mukavemeti göstermesi ve pürüzlü, petekli yüzeye sahip olmasından dolayı otoyol gibi yoğun trafiğe sahip yapılarda uygulanmasını engellemektedir. Bakım maliyetleri yüksektir. Tıkanma riskinden dolayı su geçirimliliği azalabilmekte ve bu durum yapının dayanıklılığını da olumsuz etkilemektedir. Taze geçirimli betonun sertlik, düşük akışkanlık ve pompalama zorluğu geleneksel betona göre dezavantaj olmaktadır (ACI 522R, 2010).

2.3 Geçirimli betonun karışım özellikleri

Geçirimli beton için kullanılan karışım oranları geleneksel betonun karışım oranlarına göre farklılık göstermektedir. Geçirimli beton için kullanılan karışım tasarımı, yapının geçirimliliğini sağlayacak şekilde boşluk oluşumuna izin verecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Geçirimli beton karışım tasarımları büyük ölçüde deneysel yöntemlere ya da deneme yanılma sonuçlarına bağlıdır (Tennis vd., 2004; Meininger, 1988; Marolf vd., 2004; Wang vd., 2006; Yang ve Jiang, 2003; Erickson 2006; Low vd., 2008; Deo ve Neithalath, 2010; Lian ve Zhuge, 2010). Agrega-çimento oranı (A/Ç) ve su-çimento oranı (S/Ç) geçirimli betonun mekanik özelliklerini etkileyen karışım tasarımlarından en önemli parametreleri temsil etmektedir (ACI 522, 2006). Çekme ve basınç mukavemeti göz ardı edilerek gözenekli ve yüksek geçirimli bir beton üretmek için agrega/çimento oranı yaklaşık olarak 4.25 ve su/çimento oranı 0.3 civarında olmalıdır (Lima vd., 2013).

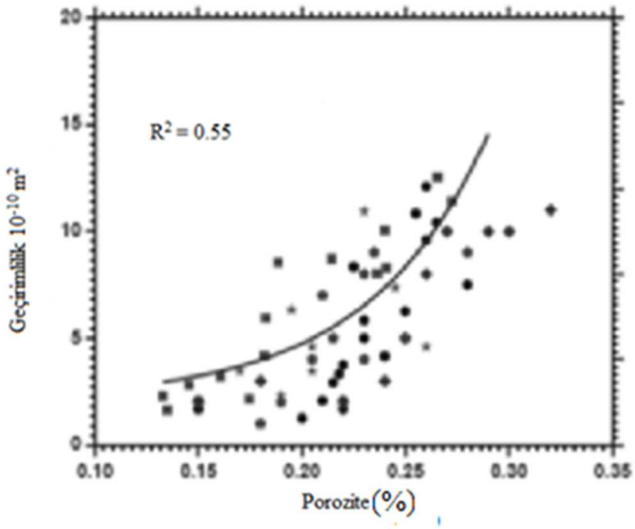
Karışım tasarımının temel amacı, geçirimli betonun hamur içeriği, porozitesi, işlenebilirliği ve dayanımı arasında mükemmel bir dengenin kurulmasını sağlamaktır. Bu dengenin kurulması için geçirimli betonun malzeme miktarlarına belirli sınırlamalar getirilmesi gerekmektedir. Geçirimli beton üretiminde kullanılan malzemeler için önerilen sınır değerler Tablo 1'de gösterilmiştir (ACI 522R, 2010; NRMCA, 2004).

Tablo 1 Geçirimli Betonun Karışım Tasarımı için Önerilen Sınır Değerler

Malzemeler	Karışım oranları
Çimento (kg/m^3)	270-415
İri agrega (kg/m^3)	1190-1600
A/Ç oranı (kütlece)	(4-5,5):1
S/Ç oranı (kütlece)	0,27-0.43

2.4 Geçirimli betonun su geçirimlilik özellikleri

Suyun iletilmesi ve su geçirimliliği, geçirimli betonun hayati özellikleri arasında yer almaktadır. Geçirimli beton içinden geçen sıvının akış hızı geçirimlilik katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte, geçirimli betonun geçirimliliği ile porozitesi arasında genel bir ilişki mevcuttur. Büyük gözenekli bir malzeme için porozite ölçümünün kolay olmasından dolayı, geçirimli betonun su geçirimliliği ile porozitesi arasındaki ilişki sık kullanılan bir özelliktir. Karışım tasarımının geçirimli betonun su geçirimliliği ve akış özellikleri üzerindeki etkisi deneysel çalışmalarla incelenmiştir (Neithalath vd., 2006; Wang vd., 2006; Montes ve Haselbach, 2006; Haselbach ve Freeman, 2006; Chopra vd., 2006). Şekil 2.1, bazı araştırmalara göre geçirimli betonun boşluk oranı ve geçirimliliği arasındaki ilişkiyi göstermektedir (ACI 522R, 2006; Low vd., 2008; Neithalath, 2004; Montes ve Haselbach. 2006; Wang vd., 2006). Genel bir çıkarım olarak, boşluk içeriğinin artması ile birlikte su geçirimliliğinin artma eğilimi, tüm araştırmalarda görülebilmektedir. Buna rağmen araştırmalar göstermektedir ki, boşluklu yapının sağlanması, su geçirimliliği için tek başına yeterli değildir. Geçirimli malzeme ile ilgili olarak, boşlukların su geçirimlilik özellikleri, bağlantı, boyut ve yüzey alanları da dahil olmak üzere boşluk yapısının diğer özelliklerine de bağlı olduğu görülmektedir. Geçirimli betonların geçirimlilik katsayısı 81 Lit/dak/m² ile 730 Lit/dak/m² veya 1.4 mm/s ile 12.2 mm/s değerleri arasında değişebilmektedir (Tennis vd., 2004; ACI 522R, 2010). Alan geçirimlilik katsayısının ise 19.5 mm/s ile 1.69 mm/s aralığında olduğu belirtilmiştir (Bean vd., 2007).



Şekil 1 Geçirimlilik ve porozite ilişkisi (Neithalath vd., 2013)

3. Deneysel Çalışmalar

3.1 Amaç

Bu deneysel çalışmada amaç, pomza miktarının ve su/çimento oranının geçirimli betonların basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme oranı, yoğunluk, porozite ve su geçirimliliği üzerindeki etkisini araştırmaktır.

3.2 Kapsam

Bu çalışma kapsamında, üç farklı su/çimento oranında (0.3, 0.4 ve 0.5) ve kireçtaşı agregası yerine hacimce %0, %25, %50, %75 ve %100 oranında pomza agregası kullanarak 15 farklı beton karışımı üretilmiştir. Üretilen beton karışımları üzerinde yapılan deneyler taze hal ve sertleşmiş beton deneyleri olmak üzere iki ana başlığa ayrılmıştır. Taze halde betonların çökme değerleri ve birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde ise 7 ve 28 gün sonunda basınç ve yarmada çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, 28 gün sonunda betonların su emme, porozite ve su geçirimlilik özellikleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında her seri için 18 adet olmak üzere toplam 270 adet 150 mm ayrıtlı küp numune hazırlanmıştır.

3.3 Kullanılan Malzemeler

3.3.1 Çimento

Bu çalışmanın tamamında CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır.

3.3.2 Agrega

Geçirimli beton üretiminde 6-12 mm tane boyutunda pomza agregası ve 5-15 mm tane boyutunda kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agregaların elek analizleri TS EN 933-1 , birim hacim ağırlıkları TS EN 1097-3 standardına, özgül agırlık ve su emme ise TS EN 1097-6 standardına uygun yapılmıştır. Agregaların elek analizi sonuçları Tablo 3.1'de, agregaların fiziksel özellikleri ise Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 2 Agregaların Elek Analizi Sonuçları

	Geçen (%)	
Elek açıklığı (mm)	**Kireçtaşı agregası**	**Pomza agregası**
32	100	100
16	100	100
8	39	23
4	9	4
2	0	0
1	0	0
0,5	0	0
0,25	0	0

Tablo 3 Agregaların Fiziksel Özellikleri

Özellik	**6-12 mm pomza agregası**	**5-15 mm kireçtaşı agregası**
Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)	530	1576
Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık	1.09	2,69
Su emme (%)	58	0,44

3.3.3 Su

Çalışmanın tamamında Bornova şebeke suyu kullanılmıştır.

4. Beton Karışımlarının Hazırlanması, Dökümü ve Kürü

Yapılan çalışmada üç farklı su/çimento oranında (0.3, 0.4, 0.5) ve pomza oranının hacimce %0, %25, %50, %75 ve %100 kullanılmasıyla 15 adet beton karışımı oluşturulmuştur. Bütün karışımlarda çimentonun dozajı 300 kg/m3 ve hacimce hava içeriği % 20 olarak sabit tutularak mutlak hacim yöntemiyle malzeme karışım oranları hesaplanmıştır. Üretilen beton karışımlarının 1 m3'ü için gerekli olan malzeme miktarlarından hareketle Tablo 3.3'te, düzeltilmiş oranlarla yeni malzeme miktarları verilmiştir. Betonların isimlendirmesi; su-çimento oranı / pomza miktarı (%) şeklinde verilmiştir. Örneğin 0.3 su/ çimento oranına ve %100 pomza miktarına sahip karışım "03/100" şeklinde isimlendirilmiştir.

Tablo 4 Üretilen Betonların 1 m3' ü için Düzeltilmiş Malzeme Miktarları

Beton Kodu	Çimento (kg/m^3)	Su (kg/m^3)	Kireçtaşı agrgası (kg/m^3)	Pomza agregası (kg/m^3)	Toplam (kg)
03/0	253	76	1408	-	1720
03/25	242	73	1000	135	1450
03/50	234	70	644	261	1210
03/75	226	68	310	377	980
03/100	218	65	-	486	770
04/0	273	109	1428	-	1810
04/25	272	109	1062	147	1590
04/50	266	106	696	282	1350
04/75	258	103	342	407	1110
04/100	264	106	-	560	930
05/0	297	149	1474	-	1920
05/25	295	148	1099	148	1690
05/50	295	147	731	297	1470
05/75	297	148	368	447	1260
05/100	274	137	-	550	960

Geçirimli beton örnekleri üzerinde 7, 28 gün sonunda basınç ve yarmada çekme, 28 günlük örnekler üzerinde, porozite, ve su geçirimlilik deneyleri yapılmıştır. Yapılan tüm deneyler sırasıyla; , TS EN 12390-3, TS EN 12390-6, - TS EN 12390-7, standartlarına uygun olarak 150 mm ayrıtlı yeterli sayıdaki örnekler üzerinde yapılmıştır. Su geçirimlilik deneylerinin ise belirli bir şartnamesi bulunmadığı için, önce küp örnekler etüvde 1 gün süre ile 100 C^0 de kurutulmuştur. Numunelerin darası alındıktan sonra 500 ml su, pet şişenin içine doldurulmuştur ve numune. Bu esnada numunenin alt yüzeyinden çıkan ilk suyun çıkış süresi kronometre yardımıyla ölçülmüştür. Su geçirimlilik deneyinin yapılışı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2 Numunelerin üst kısmında beton numunesine su girişini sağlayan, yan yüzeylere su çıkışını engelleyen pet şişe kullanımının gösterimi

Şekil 3 Su geçirimlilik deneyinin yapılışı

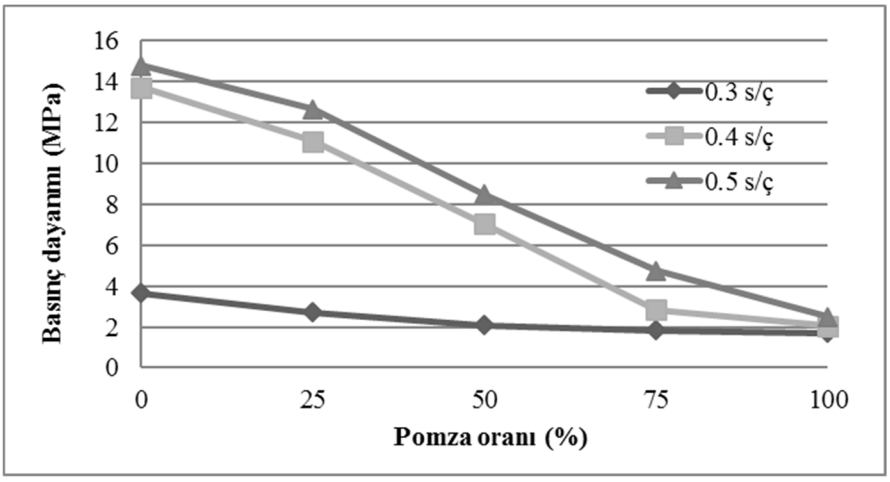
Su geçirimlilik deneyi gerçekleştirildikten beş dakika sonra, numunelerin ağırlıkları tartılmış ve beton içerisinde hapsolan su miktarı yüzdece hesaplanmıştır.

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

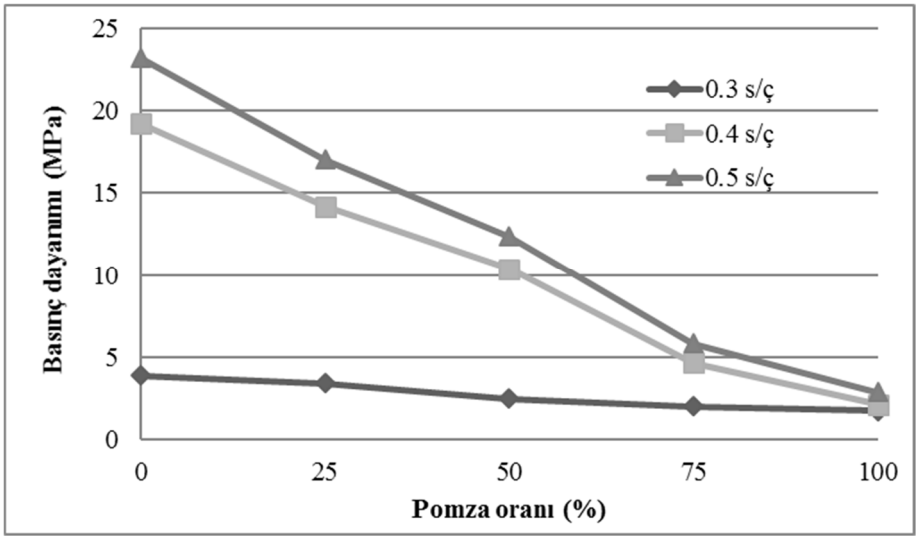
5.1 Basınç deneyi sonuçları

Bu deneysel çalışma üretilen 15 farklı beton karışımdan hazırlanan 150 mm ayrıtlı örnekler üzerinde 7 ve 28 günlük kür sonunda yapılan tek eksenli basınç deneyi sonuçları

Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. Basınç deneylerinde 15 farklı karışıma ait toplam olarak 90 adet örnek test edilmiştir. Grafiklerde verilen her bir sonuç 3 adet örneğin ortalamasıdır.



Şekil 4 günlük basınç dayanımı sonuçları



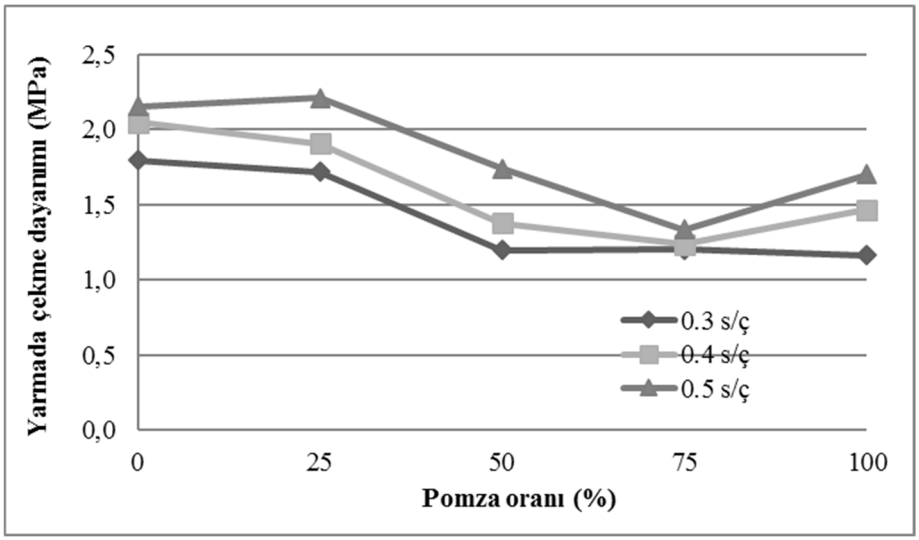
Şekil 5 28 günlük basınç dayanımı sonuçları

Şekil 4'teki deney sonuçlarına göre; 7 günlük basınç dayanımlarının su/çimento oranı 0.3 olan betonlarda 1.71 MPa ile 3.64 MPa arasında, 0.4 olan betonlarda 2.04 MPa ile 13.7 MPa arasında, 0.5 olan betonlarda 2.5 MPa ile 14.7 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 5'teki deney sonuçlarına göre; 28 günlük basınç dayanımlarının su/çimento oranı 0.3 olan betonlarda 1.77 MPa ile 3.9 MPa arasında, 0.4 olan betonlarda 2.16 MPa ile 19.2 MPa arasında 0.5 olan betonlarda 2.88 MPa ile 23.12 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Geçirimli betonlarda 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının kireçtaşı yerine kullanılan pomza agrega oranı arttıkça düştüğü, normal betonlardan farklı olarak su/çimento oranı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir.

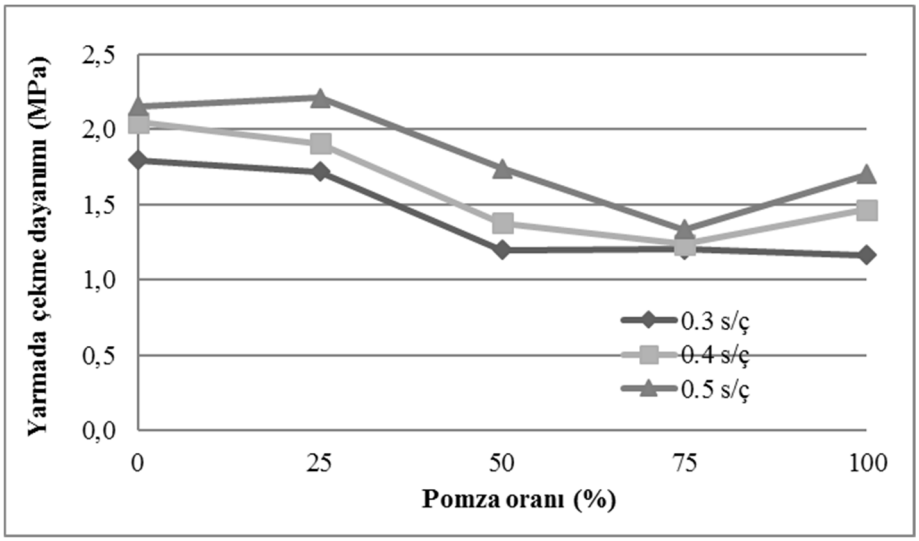
Zouaghi vd (2000) tarafından yapılan çalışmada; 300 kg/m3 çimento ile üretilmiş olan geçirimli betonların 28 günlük basınç dayanımlarının yaklaşık olarak 11 MPa seviyesinde olabileceği rapor edilmiştir. Tarafımızca yapılmış olan bu çalışmadan elde edilmiş olan basınç dayanımı sonuçları bu literatürü destekleyen niteliktedir.

5.2 Yarmada çekme deneyi sonuçları

Bu deneysel çalışmada üretilen geçirimli betonların 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.3-4.4 'de verilmiştir. Yarmada çekme deneylerinde üretilen 15 farklı karışımdan hazırlanan toplam 90 adet 150 mm ayrıtlı küp örnek kullanılmıştır. Grafikler verilen sonuçlar 3 adet örneğin ortalamasını göstermektedir.



Şekil 6 Yarmada çekme dayanımı 7 günlük numune için sonuçlar

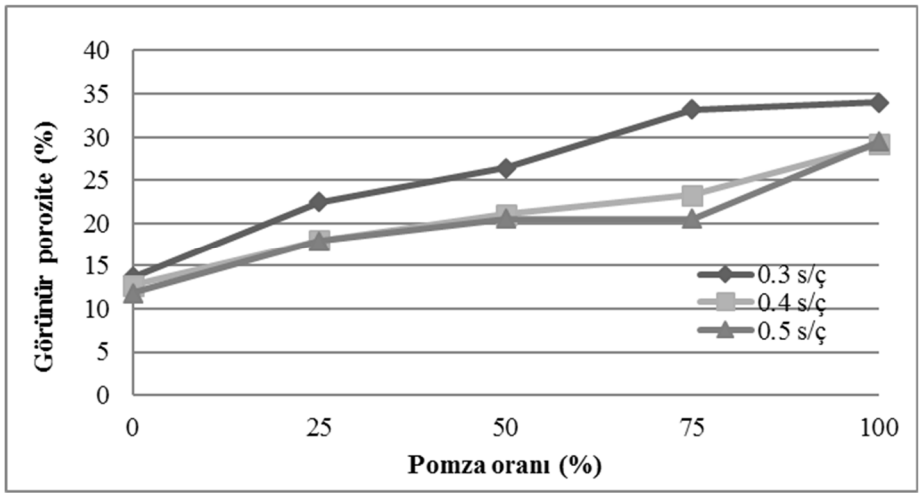


Şekil 7 Yarmada çekme dayanımı 28 günlük numune için sonuçlar

Şekil 6'daki deney sonuçlarına göre; 7 günlük yarmada çekme dayanımlarının su/çimento oranı 0.3 olan betonlarda 1.17 MPa ile 1.80 MPa arasında, 0.4 olan betonlarda 1.24 MPa ile 2.05 MPa arasında 0.5 olan betonlarda 1.34 MPa ile 2.16 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Şekil 7'deki deney sonuçlarına göre; 28 günlük yarmada çekme dayanımlarının su/çimento oranı 0.3 olan betonlarda 1.30 MPa ile 2.0 MPa arasında, 0.4 olan betonlarda 1.98 MPa ile 4.0 MPa arasında 0.5 olan betonlarda 2.06 MPa ile 4.30 MPa arasında değiştiği görülmektedir.

5.3 Porozite sonuçları

Üretilen betonların su emme oranları ile yoğunluk değeri kullanılarak saptanan porozite oranları grafik olarak Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 8 Üretilen geçirimli betonların Porozite oranları

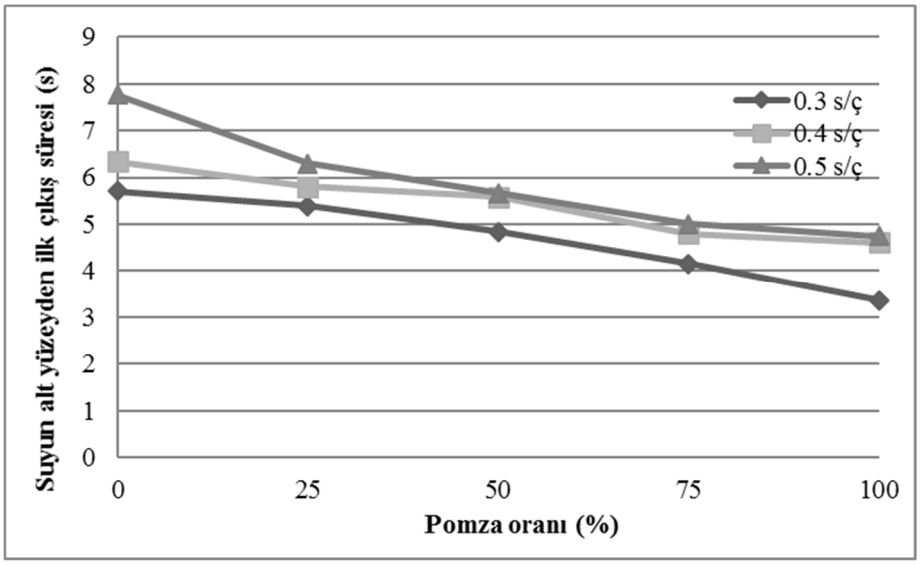
Şekil 8'den de görüleceği üzere; tüm karışımlar arasında en yüksek porozite değeri % 34.04 ile 05/0 karışımında, en düşük porozite değeri ise % 11.82 ile 03/100 karışımında görülmüştür. Ayrıca karışımların su/çimento oranının artması poroziteyi beklenin tersine azaltmıştır. Yine bu durumun nedeni önceki bölümlerde de açıklandığı üzere; su/çimento oranı 0.3 ve 0.4 olduğunda 0.5 olan duruma kıyasla betonların işlenebilmelerinin zorlaşması ve daha fazla boşluklu yapıya sahip olmalarıdır.

Yine beklendiği gibi, karışımdaki pomza oranı arttıkça boşluk artmakta buna bağlı olarakta porozite yükselmektedir. Bu olayın nedenide kireçtaşı iri agregaya kıyasla pomza agreganın çok daha yüksek boşluk oranına sahip olmasıdır.

5.4 Su geçirimlilik deneyi sonuçları

Geçirimli beton numunelerinin su geçirimliliğini belirlemek amacıyla her karışımdan üçer adet olmak üzere toplam 45 adet 150 mm ayrıtlı küp numune üzerinde deneyler

gerçekleştirilmiştir. Yapılan su geçirimlilik deneyleri sonucunda elde edilen bulgular (geçen suyun ilk çıkış süresi ve betonda kalan su miktarı olarak) Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9 Su geçirimlilik deneyinde suyun alt yüzeyden ilk çıkış süreleri

Şekil 9'da verilen sonuçlara göre; tüm karışımlar arasında suyun en hızlı geçişi 3.36 saniye ile 03/100 karışımda görülürken, en yavaş geçiş 7.76 saniye ile 05/0 karışımında görülmüştür. Yine şekilde görüldüğü üzere karışımların su/çimento oranı arttıkça suyun ilk çıkış süresi uzamaktadır. Bu durum normal betonlar dikkate alındığında beklenenin tersidir. Çünkü normal betonlarda betonun geçirgenliği su/çimento oranı arttıkça artmaktadır. Ancak önceki bölümlerde de açıklandığı gibi; su/çimento oranı 0.3 ve 0.4 olduğunda 0.5 olan duruma kıyasla betonların işlenebilmelerinin zorlaşması ve daha fazla boşluklu yapıya sahip beton oluşturmaları bu betonların su geçirimliliğini beklenenin aksine artırmıştır.

Beton karışımlarında pomza oranı arttığında ise suyun ilk çıkış süresinin kısaldığı görülmektedir. Bunun sebebinin ise, pomza agregasının içerisinde bulunan boşlukların, kireçtaşı agregasına göre daha fazla olmasıdır.

Su geçirimlilik deneyi esnasında dökülen 500 g suyun 5 dakikalık bekleme süresi sonunda geçirimli betonların bünyesinde kalan suyun yüzdece miktarı Şekil 9'da gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kireçtaşı iri agrega yerine değişik oranlarda pomza iri agrega kullanılarak üretilen geçirimli betonlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda aşağıdaki bulgulara varılmıştır.

•300 kg/m3 sabit çimento dozajında hazırlanan geçirimli betonlarda su/çimento oranın 0.3 ve 0.4'den, 0.5'e yükselmesi sonucunda beklenin aksine üretilen betonların birim ağırlık, su emme oranı, porozite oranı, yoğunluk, su geçirimlilik gibi fiziksel özellikleri ile basınç ve yarmada çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkilendikleri görülmüştür. Bu olayın nedeni olarak su/çimento oranı 0.3 ve 0.4 olan karışımlarda 0.5 olan karışıma kıyasla daha az çimento hamurunun bulunması ve işlenebilmenin çok düşük olması sonucu aşırı boşluklu yapının oluşması olarak değerlendirilmektedir.

•Üretilen geçirimli betonlarda kireçtaşı iri agrega yerine kullanılan pomza iri agrega oranının artması ile geçirimli betonlar için aranan geçirimlilik performansı dışındaki diğer özelliklerin (birim ağırlık, su emme oranı, porozite oranı, yoğunluk gibi fiziksel özellikleri ile basınç ve yarmada çekme dayanımı gibi mekanik özelliklerin) olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir. Bu olumsuz etkilenmeyi sağlayan unsurların pomza agregasının kireçtaşına kıyasla daha düşük dayanıma sahip olması, daha fazla su emmesi, aşırı boşluklu yapıya sahip olması olarak değerlendirilmektedir.

•300 kg/m3 sabit çimento dozajında üretilecek geçirimli beton karışımları için en uygun su/çimento oranının 0.5 olabileceği görülmüştür. Bu orana sahip geçirimli betonlarda sadece kireçtaşı iri agrega kulanılarak 28 günlük basınç dayanımı 23 MPa, yarmada çekme dayanımı 2.9 MPa olan betonlar üretilebileceği, yine %100 pomza iri agrega kullanılarak 28 günlük basınç dayanımı 4.3 MPa, yarmada çekme dayanımı 2 MPa olan geçirimli ve hafif betonlar üretilebileceği anlaşılmıştır.

Bu çalışma sonucunda şu öneriler sunulabilir;

•Çimento dozajı değişken alınarak (örneğin 300 kg/m3, 350 kg/m3, 400 kg/m3 gibi) çalışma tekrarlanabilir.

•Daha uygun işlenebilir ve ayrışma yapmayacak şekilde su/çimento oranı 0.45, 0.5, 0.55 ve 0.60 alınarak ve silis dumanı, uçucu kül gibi katkılar kullanılarak daha viskoz hamur ile çalışma tekrarlanabilir.

•Çalışmadaki su/çimento oranları için, akışkanlaştırıcı ve/veya viskozite artırıcı kulanılarak çalışma tekrarlanabilir.

•Geçirimli betonun boşluk yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için bu betonlar üzerinde ultrases geçiş hızı deneyi yapılabilir.

KAYNAKÇA

1. **American Concrete Institute (ACI),** 2006**,** Pervious Concrete, ACI522R-06, ACI, Farmington Hills, MI.
2. **American Concrete Institute (ACI),** 2010, Report on Pervious Concrete, ACI522R-10, ACI, Farmington Hills, MI.
3. **Bean, E., Hunt, Z. ve Bidelspach, W.,** 2007, Field Survey of Permeable Pavement Surface Infiltration Rates, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133(3), 249-255.
4. **Bury, M.A., Mawby, C.A. ve Fisher, D.,** 2006, Making Pervious Concrete Placement Easy: Using a Novel Admixture System, Concrete in Focus p. 55-59.
5. **Chopra, M., Wanielista, M., Spence, J., Ballock, C. ve Offenberg, M.,** 2006, Hydraulic performance of pervious concrete pavements, National Ready Mix Concrete Association, Proceedings in CD of the Concrete Technology Forum, Nashville.
6. **EPA. United States Environmental Protection Agency.,** 1999, Storm Water Technology Fact Sheet: Porous Pavement, 832-F-99-023.
7. **Erickson, S.,** 2006, Pervious Concrete Durability Testing, Proceedings in CD of the Concrete Technology Forum, Nashville, National Ready Mix Concrete Association.
8. **Garber, S., Rasmussen, R.O. ve Harrington, D.,** 2011, Guide to Cement-Based Integrated Pavement Solutions, Institute for Transportation, Iowa State University, 92 pages.
9. **Haselbach, L.M. ve Freeman, R.M.,** 2006, Vertical Porosity Distributions in Pervious Concrete Pavement, ACI Materials Journal, 103(6), 452-458.
10. **Kılınç, C. ve Akakın, T.,** 2012, Farklı Agrega Dağılımına Sahip Geçirimli Betonların İncelenmesi, Hazır Beton 79-84s.
11. **Lian, C. ve Zhuge, Y.,** 2010, Optimum Mix Design of Enhanced Permeable Concrete- An Experimental Investigation, Construction and Building Materials, 24(12), 2664-2671.
12. **Lima, E., Tan, K.H ve Fwa, T.F.,** 2013, Effect of Mix Proportion on Strength and Permeability of Pervious Concrete for Use in Pavement, Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.9.
13. **Low, K., Harz, D. ve Neithalath, N.,** 2008, Statistical Characterization of the Pore Structure of Enhanced Porosity Concrete, Proceedings in CD of the Concrete Technology Forum, Denver, National Ready Mix Concrete Association.
14. **Marolf, A., Neithalath, N., Sell, E., Wegner, K., Weiss, J. ve Olek, J.,** 2004, Influence of Aggregate Size and Gradation on Acoustic Absorption of Enhanced Porosity Concrete, ACI Materials Journal. 101(1), 82-91.
15. **Meininger, R.C.,** 1988, No-Fines Pervious Concrete for Paving, Concrete International, 10(8), 19- 27.
16. **Montes, F. ve Haselbach, L.,** 2006, Measuring hydraulic conductivity in pervious concrete, Environmental Engineering Science, 23(6), 960-969.
17. **National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA),** 2004, Freeze thaw resistance of pervious concrete, NRMCA association: www.nrmca.org.
18. **National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA),** 2006, Ready Mixed Concrete Industry LEED Reference Guide, Silver Springs, MD: www.rmc-foundation.org.
19. **Neithalath, N.,** 2004, Development and Characterization of Acoustically Efficient Cementitious Materials, Phd thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
20. **Neithalath, N., Deo, O. ve Sumanasooriya, M.S.,** 2013, Computational Material Science Based Predictive Tools for the Performance of Pervious Concrete, Phd thesis, Civil ve Environmental Engineering, published by ProQuest LLC.
21. **Neithalath, N., Weiss, J. ve Olek, J.,** 2006, Characterizing Enhanced Porosity Using Electrical Impedence to Predict Acoustic and Hydraulic Performance, Cement and Concrete Research, 36(11), 2074-2085.
22. **Tennis, Paul D., Leming, Michale L., Akers ve David, J.,** 2004, Pervious Concrete Pavements. Portland Cement Association, Skokie, Illinois and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, USA, 36 pages.
23. **TS EN 1097-3,** 1999, Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri için Deneyler Bölüm 3: Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 20 s. Ankara.
24. **TS EN 1097-6,** 2013, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 51 s. Ankara.

25. **TS EN 12390-3,** 2010, Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 12 s. Ankara.
26. **TS EN 12390-6,** 2010, Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 10 s. Ankara.
27. **TS EN 12390-7,** 2010, Beton, Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 5 s. Ankara.
28. **TS EN 933-1,** 2012, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini, Eleme metodu, Türk Standartları Enstitüsü, 18 s. Ankara.
29. **Yang, J., Jiang, G.,** 2003, Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Pavement Materials, Cement and Concrete Research, 33(3), 381-386.
30. **Zouaghi, A., Kumagai, M. ve Nakazawa, T.,** 2000, Fundamental Study on some Properties of Pervious Concrete and its Applicability to Control Stormwater Run-Off, Transactions of The Japan Concrete Institute, 22, 43-50.

Titanyum Dioksit Nano-Parçacıklarıyla Güçlendirilmiş Betonun Mekanik, Dinamik ve Durabilite Performansı

Ezgi Gürbüz[1], Savaş Erdem[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Istanbul University-Cerrahpaşa, Turkey
E-mails: ezgi.gurbuz@istanbul.edu.tr, savas.erdem@istanbul.edu.tr

Özet

Bu çalışmada titanyum dioksit nano parçacığı katkısının betonun basınç mukavemeti, çarpma dayanımı ve su geçirimsizliği özelliklerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca dijital görüntüleme tekniği kullanılarak numune kırılma yüzeylerin analizi üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Titanyum dioksit nano parçacığı katkısı, beton karışımında çimento ile ağırlıkça % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışmada titanyum dioksit nano parçacığı katkısının betonların basınç mukavemeti, çarpma dayanımı, ve su geçirimsizliklerini kontrol numunesiyle karşılaştırıldığında önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Matris içerisine homojen olarak dağılan titanyum dioksit nano parçacığı katkısının özellikle çimento-agrega ara yüzeylerinde yaptığı iyileştirmenin makro ölçekte mekanik özellikleri geliştirdiği gözlenmiştir. Bu deneysel çalışmanın sonuçları, titanyum dioksit nano parçacığı katkısı ile yüksek dayanımlı ve performanslı beton üretilerek depreme karşı daha dayanıklı yapıların inşasına katkıda bulunulabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nano parçacık, Nanoteknoloji, Titanyum dioksit, Beton, Mekanik özellikler

1. Giriş

Nanoteknoloji, atomlarla oynayarak maddenin yapısının değişebilmesine izin veren bir teknoloji türüdür. Çevre kirliliğini azaltarak ve ucuz bir biçimde çoğu şeyin elde edilebilmesi potansiyelini taşımaktadır. Güç ve dayanıklılık açısından yeni maddelerin yapılmasına olanak sağlayarak küçük kavramıyla beraber büyük kavramını da değiştirecektir.

Nanomaddeler artan yüzey alanıyla kendine özgü özellikler sunmaktadırlar. Yüksek yüzey alanlı maddeler şiddetli kimyasal, mekanik, optik ve manyetik özellikler sergilediklerinden bunların birçok yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda kullanılması önemli sonuçlar elde etmemizi sağlayabilir [1].

Beton; dayanıklılığı, son derece uygun maliyeti ve büyük miktarlarda kolayca hazırlanabilme özellikleri sebebiyle dünyada en çok kullanılan inşaat malzemesi olmasına rağmen; davranışını oluşturan karmaşık kimyasal ve fiziksel özellikleri sebebiyle hala yeteri kadar bilinmemektedir. Ancak maksimum yapısal performans, nanoteknolojik seviyede beton optimizasyonu ile elde edilebilir. Beton içerisinde bilhassa da çimento hamuru ile agrega ara yüzeyinde bulunan boşluklar sıkıştırma gücüne ve gerilme artışına neden oluştururlar. Bu sıkıştırma etkisi ve gerilme artışıyla birlikte agrega-çimento hamuru arasındaki aderans zayıflar ve ilgili alanda zararlı maddelerin oluşumu ile boşlukların daha da büyümesine sebep olurlar. Zayıflayan aderans betonun performansını kötü yönde etkiler ve yapı güvenliğini tehlikeye düşürür. Bu nedenle de doğru parçacıklar eklenerek, agrega-çimento hamuru ara yüzeyindeki boşlukların doldurulması betonu daha kompakt, sert ve daha dayanıklı hale getirebilir. Tabi betonda kullanılan katkı maddeleri sayesinde betonun herhangi bir özelliğini iyileştirmek için kullanılan bir katkı, farklı bir özelliğin işlevselliğini azaltabilir [2-4].

Betonun kullanımında hem statik hem de dinamik yükler dikkate alınır. Özellikle liman gibi su ile temas halinde olan yapılarda dalgaların dinamik etkisi betonu ciddi derecede etkilemektedir. Bu tarzdaki yapılarda betonun basıncı, su geçirimliliği, kırılma enerjisi gibi özellikler daha da önem kazanmaktadır [5].

Bu çalışmanın amacı; su, agrega ve çimento miktarlarını sabit tutup, farklı miktarlarda kullanılacak titanyum dioksit nano-partiküller ile çimento hamuru-agrega arasındaki boşluklar doldurularak betonun mekanik özelliklerindeki ve durabilitesindeki değişimleri deneysel ve mikro-yapısal olarak gözlemleyerek; yüksek performanslı, çevre dostu ve sürdürülebilir beton üretmektir.

2. Malzeme ve Yapılan Deneyler

2.1. Malzeme

Titanyum dioksit nano parçacığı, beton karışımında Portland çimentosu ile ağırlıkça % 0.5, % 1 ve % 1.5 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. 1 m³ betondaki karışım miktarları Tablo 1'de gösterilmektedir.

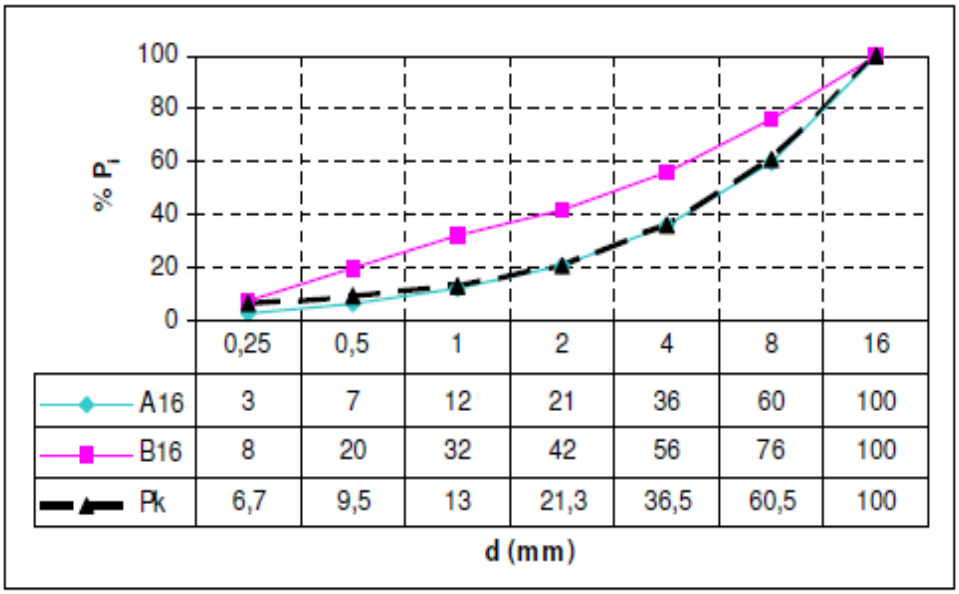
Tablo 1 – 1m³ betondaki karışım miktarları

Beton türü	Çimento (kg/m³)	Su (kg/m³)	Agrega (kg/m³)	Nano parçacık (kg/m³)
Referans	450	195	1780	-
% 0.5	447.75	195	1780	2.25
% 1	445.5	195	1780	4.5
% 1.5	443.25	195	1780	6.75

Beton üretiminde, İstanbul ilinde faaliyet gösteren Oyak Hazır Beton firmasının maden ocaklarından temin edilen ve üç farklı boyutta kırılmış olan agregalar kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2 de sunulmuştur. Agregaya ait granülometri eğrisi ise Şekil 1 de verilmiştir.

Tablo 2 – Agregaların fiziksel özellikleri

Agrega	Birim Ağırlık (g/cm^3)	Özgül Ağırlık (g/cm^3)
İnce	1.32	2.74
Orta	1.39	2.76
İri	1.56	2.61

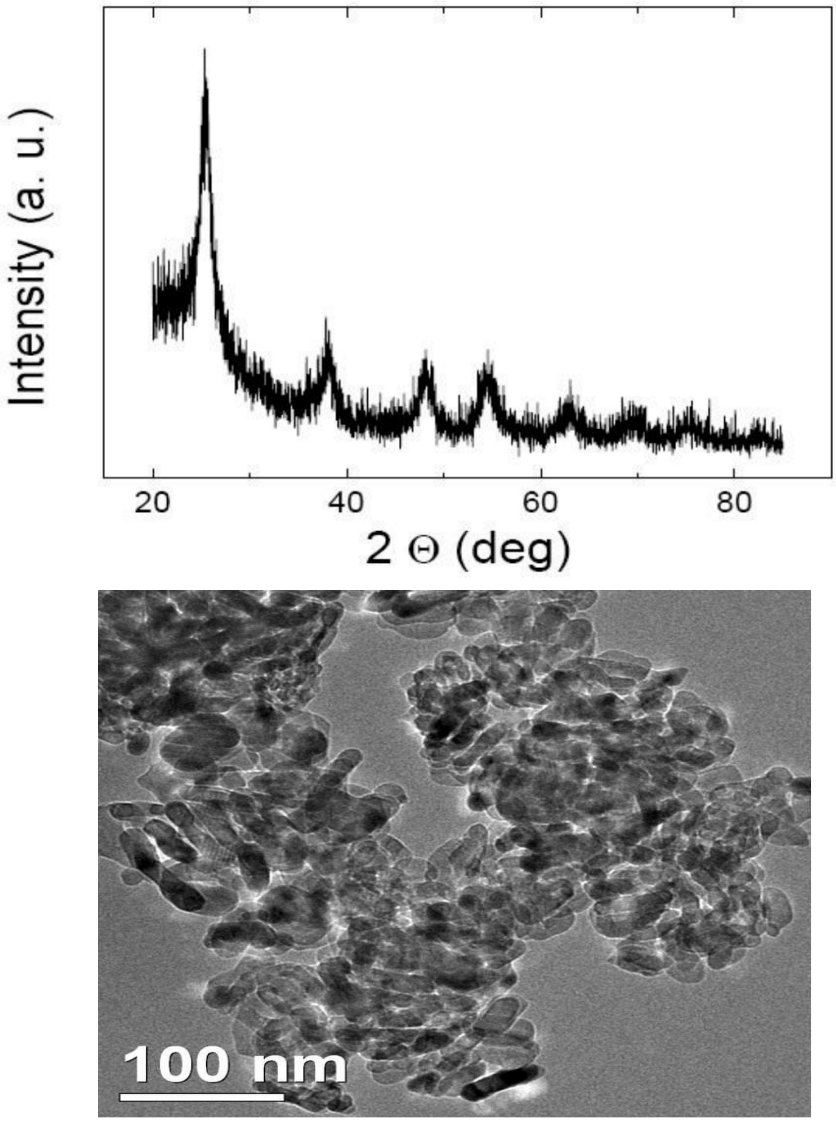


Şekil 1 – Agrega granülometri eğrisi

Beton numunelerin üretiminde bağlayıcı malzeme olarak, TS EN 197-1 standardına uygun olan CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Kompozit karışımların işlenebilirliğini artırmak için polikarbosilik eter esaslı yeni nesil yüksek oranda su azaltıcı bir süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Nanografi firmasından temin edilen ve özellikleri Tablo 3'te verilmiş titanyum dioksit nano parçacığı kullanılmıştır. Titanyum dioksit nano parçacığı Elektron Taramalı Mikroskop'ta Enerji Dağılımlı X ışını ile iki farklı bölgeden analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Analiz sonuçları neticesinde titanyum dioksit nano parçacıklarının boyutlarının 13 nm civarında olduğu görülmüştür. Titanyum dioksit nano parçacıklarının bu tarz çok ince yapısının, mikro yapı içerisinde ve özellikle de agrega ile çimento hamuru arasındaki ara yüzey civarındaki boşlukları dahi doldurma yeteneğine sahip olabilecekleri anlaşılmaktadır.

Tablo 3 – Kullanılan nano-parçacığın özellikleri

TiO_2	**Tane boyutu (nm)**	**Renk**	**Yoğunluk (gr/cm^3)**	**Yoğunluk (gr/cm^3)**	**pH**	**Spesifik yüzey alanı (m^2/g)**
%99.5	13	Beyaz	0.22	3.9	5.5-6.5	80



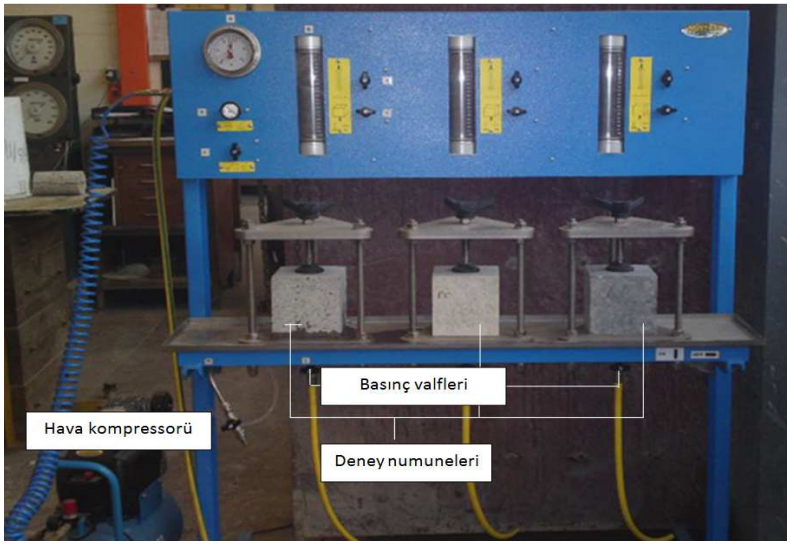
Şekil 2 – Nano-parçacığa ait mikro-yapısal analiz sonuçları

2.2. Yapılan Deneyler

Basınç deneyi ASTM C39 standardına uygun olarak, 150 mm boyutlarındaki küp numunelere 2000 kN kapasiteli press makinesi ile basınç uygulanarak gerçekleştirilmiştir. 0,602 MPa/sn yükleme hızı ile sistemin ortasına yerleştirilen küp numunelere basınç uygulanmıştır. Deneyden önce girilen değerler (numune boyutları, numune yaşı vb.) ile maksimum yük değerinden basınç dayanımı otomatik olarak elde edilebilmiştir.

Su geçirimsizliği deneyinin (Şekil 3) amacı; betonların su ilerleme derinliğinin saptanması veya su kayıplarını belirli bir düzeyde tutabilmek için beton karışım oranlarını araştırmada, gerekli önlemlerin belirlenmesi için yapılacak çalışmalarda temel bilgilerin elde edilmesidir. Bu deney için hazırlanan numunelere 72±2 saat süreyle, 500±50 kPa su basıncı uygulanmıştır. Bu sürenin sonunda, basınçlı su uygulanan yüzeye dik şekilde numune ortasından yarılarak ikiye bölünmüştür. Su işleyen kısım kesitinde ıslak alanının sınırları işaretlenmiştir ve basınçlı

su uygulanan deney alanından itibaren suyun işlediği derinlik ve 150 mm boyunca etki genişliği kaydedilmiştir.



Şekil 3 – Su geçirimsizlik deney düzeneği

Charpy çarpma test metodunun (Şekil 4) temeldeki ana fikri enerjinin korunumudur. Sarkaç belli bir yükseklikte durgun halde iken potansiyel enerjisi maksimumdur, numuneye çarptığı anda ise kinetik enerji maksimum seviyeye ulaşır. Numuneyi kırdığında enerjinin belli bir miktarı numunenin kırılma enerjisi olarak harcanır, geriye kalan enerji vasıtasıyla tokmak devam ederek yükselir. Buradaki enerji kaybı, çarpmadaki kırılma enerjisini verir. Sarkaç daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılmış, daha sonra 40 mm X 40 mm X 160 mm boyutlarında ve EN 12350 – 1'e uygun beton numuneler, uygun bir şekilde yerleştirilmiştir. Okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuna getirilmiş ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılmıştır. Sonuç, deneyden sonra kadrandan okunmuştur.

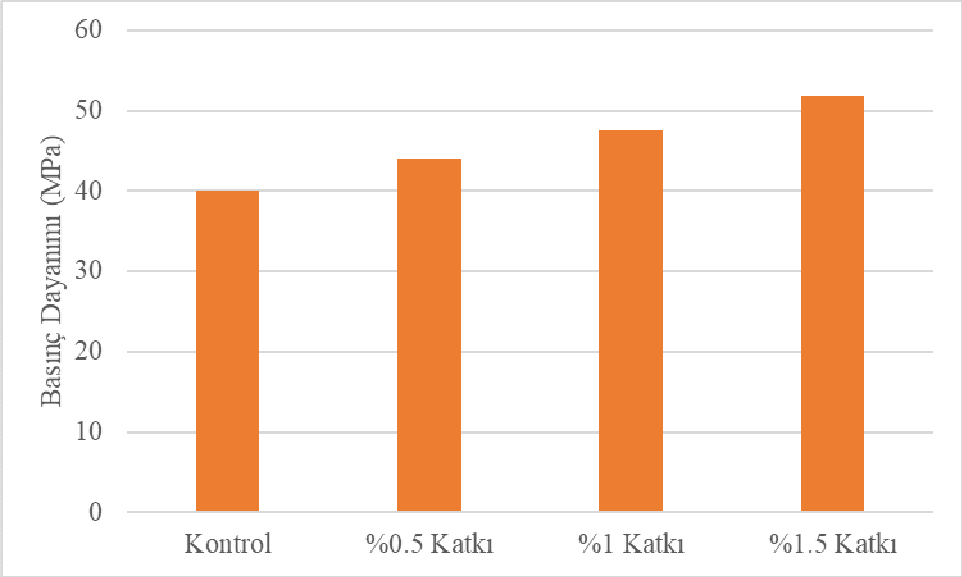
Şekil 4 – Çarpma dayanımı deney düzeneği

3. Bulgular

3.1. Basınç Dayanımı

Deney numuneleri üzerinde 28. gün sonunda gerçekleştirilen basınç deneyi sonuçlarına ait değerler Şekil 5'te verilmiştir.

Sonuçlar incelediğinde; titanyum dioksit katkısının genel olarak betonun dayanımında önemli bir iyileştirme sağladığı görülmektedir. Referans betonu ile titanyum dioksit nano parçacığı katkılı betonlar incelediğinde, kontrol betonuna göre % 0.5, %1 ve % 1.5 nano parçacık katkısı basınç dayanımlarında sırasıyla % 10, % 19 ve % 29.5 oranında artış sağlamıştır.

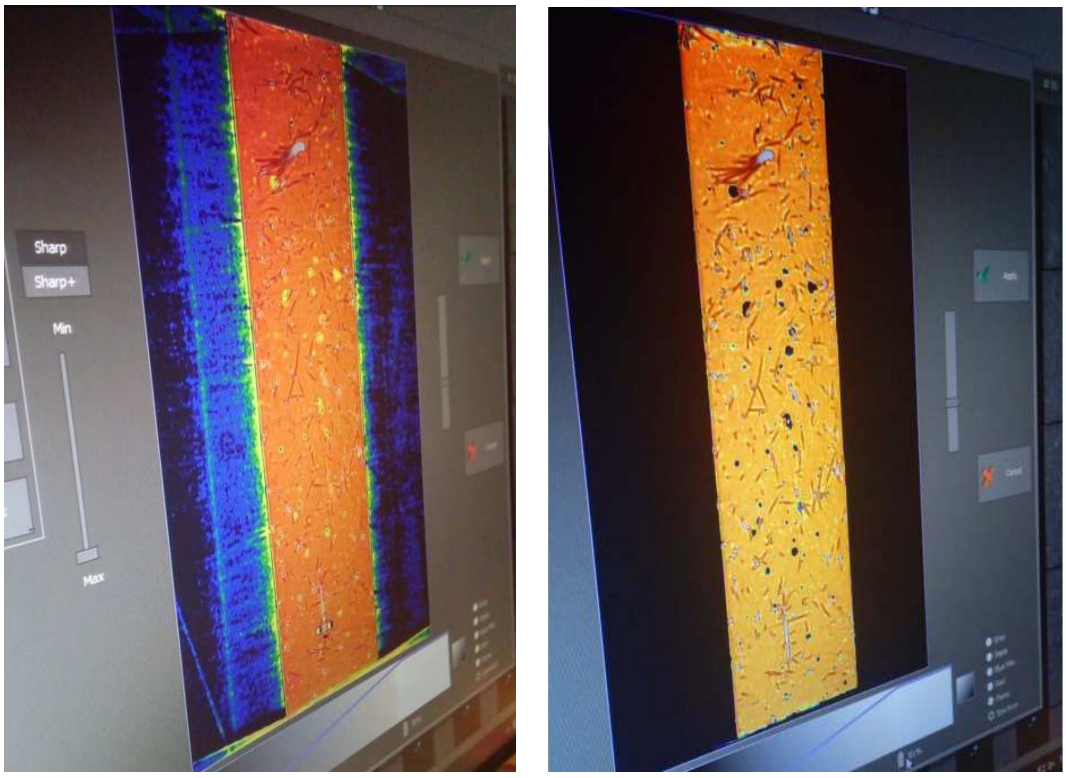


Şekil 5 – Basınç dayanımı sonuçları

Beton karışımlarda meydana gelen artışın nano parçacık ilavesinin agrega-çimento hamuru ara yüzey özelliklerinin iyileştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Normal şartlar altında yük altında meydana gelen çatlaklar bu zayıf ara bölgedeki çatlaklarla birleşerek çimento hamuru içerisine yayılmakta, makro çatlakların oluşmasına yol açmaktadır. Ancak 13 nm boyutuyla titanyum dioksit nano parçacıkları çimento matrisi içerisindeki boşlukları doldurabildiği düşünülmektedir.

Malzeme özelliklerindeki değişkenliklerin mikro yapı kaynaklı olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda Bilgisayarlı Tomografi cihazı kullanılarak malzemenin iç yapısı hasarsız olarak görüntülenmiş ve incelenmiştir.

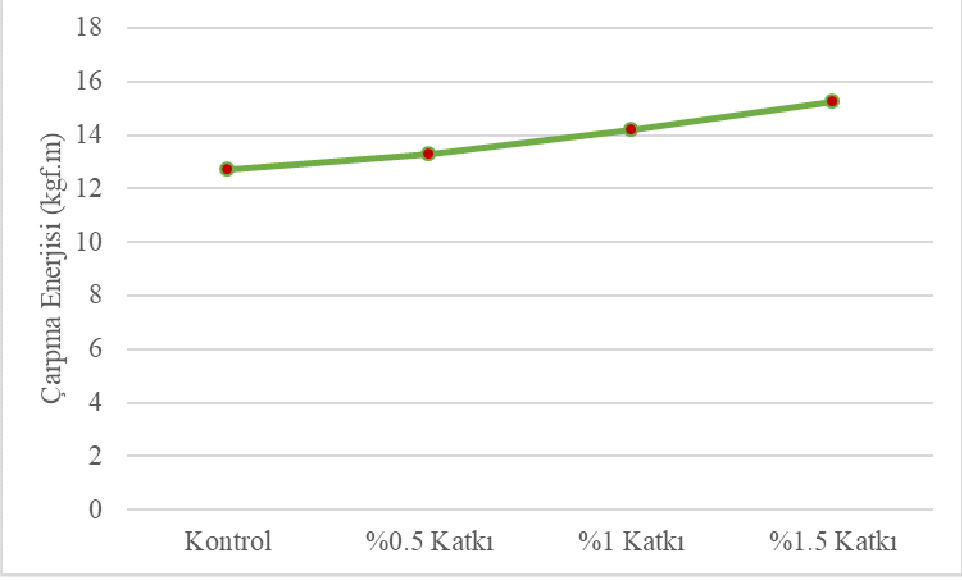
Yapılan analiz neticesinde içyapıya ait bazı görüntü örnekleri verilmiştir (Şekil 6). Yapılan analizler neticesinde titanyum dioksit nano parçacıkların mikro yapı içerisinde oldukça homojen bir şekilde dağıldığını ve bu da yoğun, boşluksuz ve dolayısıyla mikro-çatlaklara karşı daha dayanıklı ara yüzeylerin oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 6 – Numune iç yapı görselleri

3.2. Çarpma Dayanımı

Beton çarpma deneyi sonucunda elde edilen değerler Şekil 7'de verilmiştir. Sonuçlar incelediğinde, % 0.5, %1 ve % 1.5 nano parçacık katkısı kullanıldığı durumlarda betonun çarpma kırılma enerjisinde basınç dayanımlarında olduğu gibi bir iyileşme meydana gelmiştir. Aynı şekilde sonuçların analizi, basınç mukavemeti ile çarpma dayanımı arasında doğru orantılı bir ilişki var olduğunu göstermiştir. Bu da literatürdeki diğer çalışmalarla paralellik göstermektedir [6-7].



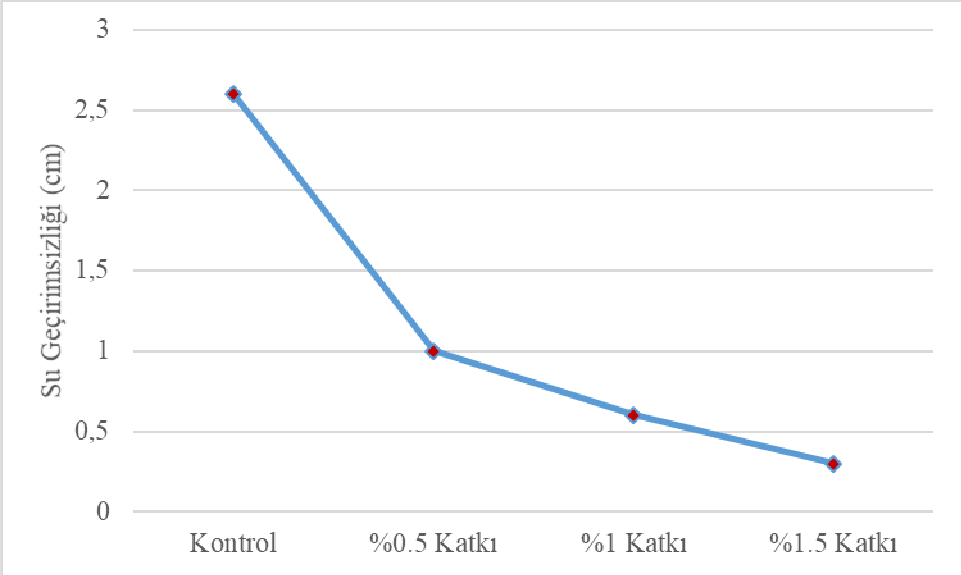
Şekil 7 – Çarpma dayanımı sonuçları

Çarpma deneyi sonucunda numunelerin kırılma yüzeyleri de digital görüntü işleme tekniği kullanılarak incelenmiştir. Çarpma kırılma enerjisi en yüksek olan %1.5 katkılı numune ve en düşük olan % 0.5 katkılı numunenin kırılma yüzeyleri karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler neticesinde % 1.5 titanyum dioksit nano parçacığı katkılı numunenin kırılma yüzeyi pürüzlü ve büyük bir alana sahip olduğu, ancak buna karşın % 0.5 nano parçacık katkılı beton numunenin kırılma yüzeyinin pürüzlülüğünün göreceli olarak daha az olduğu ve bunun da muhtemelen kırılma enerjisinin neden düşük olduğunu gösterdiği tespit edilmiştir.

Titanyum dioksit katkısı ile artan çarpma dayanımı bu tarz betonun, havaalanı pisti gibi beton yol kaplamalarında da kullanabilme potansiyeli olduğunu göstermektedir.

3.3. Su Geçirimsizliği

Su geçirimsizlik deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 8'te yer almaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında genel olarak nano parçacık katkısı oranı arttıkça betonun su geçirimsizlik durumunun azaldığı gözlenmiştir. Yani titanyum dioksit nano parçacık katkısı geçirimsizlik üzerinde de olumlu etkilere neden olmuş ve betonun aşınmasını zorlaştırmıştır. Elde edilen bu sonuçlar titanyum dioksit katkılı betonların çevre ve fiziksel koşulların agresif olacağı ortamlarda inşaa edilecek yapılarda kullanılabilme potansiyeli olduğunu ispatlamıştır.



Şekil 8 – Su geçirimsizliği sonuçları

4. Tartışma ve Sonuç

Bu deneysel çalışma, nanoteknolojinin inşaat mühendisliğinde kullanımına çok güzel bir örnek teşkil etmekle beraber nano parçacık kullanarak yüksek dayanımlı ve yüksek performanslı betonun elde edilebileceğini göstermiştir. Bunlara ek olarak, titanyum dioksit nano parçacığı katkısının betonun mekanik ve dinamik özelliklerinde çok önemli iyileştirmeler sağladığı görülmüştür.

Yüksek dayanımlı beton sadece betonun dayanımının artması demek değil, aynı zamanda yapının çevresel etkilere karşı dayanıklılığının da artması ve buna bağlı olarak da ömrünün

uzaması demektir. Benzer bir şekilde, ülkemiz 1. derece deprem bölgesinde olduğundan, yapıların güvenliği için beton performansının yüksek olması büyük önem taşımaktadır.

Bütün bu olumlu etkiler göz önüne alındığında bu atık malzemenin inşaat sektöründe kullanılarak ekonomiye kazandırılabileceği ortaya çıkmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmaya 32136 nolu münferit proje kapsamında maddi destek sağlayan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırmalar Proje Birimine teşekkür ederim.

Referanslar

1. Okur, İ., Şentürk, E., Akbulut, S. ve Duman, S. (2012), "Nanoteknolojiye Giriş'', Değişim Yayınları.
2. Akçaoğlu, T., Tokyay, M. ve Çelik, T. (2004), "Effect of Coarse Aggregate Size and Matrix Quality on ITZ and Failure Behavior of Concrete Under Uniaxial Compression'', Cement & Concrete Composites 26, 633–638.
3. Scrivener, K.L., Crumbie, A.K. ve Laugesen, P. (2004), "The Interfacial Transition Zone (ITZ) Between Cement Paste and Aggregate in Concrete'', Interface Science 12, 411–421.
4. Zhou, X.Q. ve Hao, H. (2008), "Mesoscale Modelling of Concrete Tensile Failure Mechanism at High Strain Rates'', Computers and Structures 86, 2013–2026.
5. Marar, K., Eren, Ö., Çelik, T. Relationship between Impact Energy and Compression Toughness Energy of High-strength Fiber-reinforced Concrete, Materials Letters, 47 (2001), 297-304.
6. Nili, M., Afroughsabet, V. Combined Effect of Silica Fume and Steel Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete, International Journal of Impact Engineering, 37 (2010), 879-886.

Farklı Mineral Katkı İçeren Harçların Yüksek Sıcaklığa Karşı Dirençleri

Sergen BEDİROĞLU[1] Murat ÖZTÜRK[2] Umur Korkut SEVİM[3]

[1,2,3]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Iskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye

Emails: bediroglu.sergen@gmail.com, murat.ozturk@iste.edu.tr, ukorkut.sevim@iste.edu.tr

Özet

Bu çalışmada yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) ve pirinç kabuğu külü (PK) harç içerisinde çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek ikame edilmişlerdir. Toplamda kontrol numune ile beraber 13 farklı karışım hazırlanmıştır. İçerisinde çeşitli mineral katkılar bulunduran harç numunelerinin 28 günlük basınç gerilmeleri tespit edilmiştir. Ardından 28 günlük numuneler 250 ^{o}C, 500 ^{o}C ve 750 ^{o}C'de ikişer saat bekletildikten sonra tekrar basınç testleri uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar kendi aralarında ve geleneksel (kontrol) harç numunesi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; sıcaklığın artması ile bütün numunelerde dayanım azalışı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık etkisi ile bütün harç numunelerinde dayanım kaybı olmasına rağmen, YFC ikameli numuneler kontrol numuneleri ile kıyaslandığında daha yüksek basınç değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle yüksek sıcaklığa maruz kalabilecek yerlerde YFC kullanılabilir. PK ikameli numuneler kontrol numuneleri ile kıyaslandığında, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış PK ikameli numunelerin dayanımlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle yüksek sıcaklığa maruz kalabilecek yerlerde PK kullanılmamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yüksek fırın cürufu, Uçucu kül, Silis dumanı, Pirinç kabuğu külü, Harç, Yüksek sıcaklık

High Temperature Resistance of Mortars with Different Mineral Additives

Abstract

In this study; ground granulated blast furnace slag (GGBFS), fly ash (FA), silica fume (SF) and rice husk ash (RHA) is replaced with cement (10%, 20% and 30% by mass) in the mortars. Totally with the control sample thirteen different mixture of mortars are prepared. 28-day compressive strength of the mortars containing different types of mineral additives are determined. Then, compressive strength tests are also applied to the same mortars subjected to 250 ^{o}C, 500 ^{o}C ve 750 ^{o}C heat for 2 hours. Test results of the samples are compared to each other and the traditional (control) mortar. As a result; with elevation of the exposed heat compressive strength of the all mortars were decreased. Although the strength decrease in the mortars with heat elevation, mortars including GGBFS performed better strength results compared to the control samples. Due to fact that it is suggested that mortars including GGBFS could be used in the places where may exposed to high temperatures. When RHA substituted samples were compared with control samples, it was found that the strengths of

the RHA substituted samples exposed to high temperature were lower. Therefore, RHA should not be used in places that may be exposed to high temperatures.

Keyword(s): Ground granulated blast furnace slag; Fly ash; Silica fume; Rice husk ash; Mortar; High temperature

1. Giriş

Beton, şekil verilebilir olması, basınç dayanımının yüksek olması, durabilite özellikleri ve ekonomik olması gibi nedenlerden dolayı en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Beton; çimento, su, agrega ve mineral katkıların bir araya getirilmesi ile elde edilir. Bu karışımda en pahalı malzeme çimentodur. Bu nedenle araştırmacılar, çimento yerine kullanılabilecek alternatif malzemeler aramışlardır. Bu alternatifler yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, pirinç kabuğu külü gibi çeşitli atıklar olabilmektedir.

Yüksek fırın cürufu (YFC), demir-çelik tesislerindeki yüksek fırınlarda demir üretimi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Yüksek fırın cürufu tek başına bağlayıcılık özelliği olmayan, ancak Portland çimentosu ile birlikte kullanıldığında bağlayıcılık özelliği kazanan bir malzemedir. Uçucu kül (UK), termik enerji santralleri içinde öğütülmüş kömürün yanmasıyla ortaya çıkan baca gazlarındaki taneciklerin filtrelerde tutulmasıyla elde edilir. Betonun maliyetini düşürmek ve bazı özelliklerini iyileştirmek için kullanılır. Silis dumanı (SD), silikon metal veya ferrosilikon alaşım endüstrisinin yan ürünü olarak ortaya çıkar. Pirinç kabuğu külü (PK) ise pirinç tanesini içine almakta olan dış kaplama ve kabuktan oluşan tabakadır. Yüksek sıcaklıklarda yakılarak kül oluşturur.

Literatür incelendiğinde YFC, UK, SD ve PK çimento bazlı kompozelerde mineral katkı malzemesi olarak kullanıldığı görülmektedir. YFC'nin çimento priz süresini arttırırken, su ihtiyacını ve hidratasyon süresince açığa çıkan Ca(OH)2 miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca YFC, PÇ'ye göre farklı elektrokinetik davranışlar ve yüzey özellikleri göstermiştir(DORUM vd., 2009). KOCABIYIK (2010) yaptığı çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde yüksek fırın cürufunun çimento ile eşit miktarda eklendiği numunlerde basınç, eğilme ve yarma çekme deneylerinden cürufun etkinliğinin 1 olduğu görülmüştür. Ayrıca yüksek fırın cürufunun erken yaş çatlak riskini düşürdüğü ve betonların enerji yutma kapasitelerini arttırdığı gözlemlenmiştir. UĞURLU (2015) yaptığı çalışmada YFC kullanımının betonun dayanımına olumlu yönde katkılarının olduğu, altyapı tesislerinde olumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Yüksek sülfat içeren altyapı tesislerinde atık niteliğindeki yüksek fırın cürufunun kullanımı betonun ileri yaşlardaki dayanımını artırmada ve daha ekonomik yapılar ortaya çıkarmada faydalı olacağı düşünülmüştür. (Çelik vd.. 2003) yapmış oldukları araştırmada, Seyitömer ve Çayırhan termik santralleri uçucu küllerinin, çimentoda (PÇ 42,5) priz başlama ve priz sonu sürelerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada uçucu küller, çimentonun ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20'si yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Çeşitli deneylerle uçucu küllerin çimentoların priz başlama ve sonuna olan etkisi tespit

edilmiştir. Sonuç olarak uçucu küller, çimentoda priz başlama ve priz sonu sürelerini uçucu kül ikame edilmeyen çimentoya göre artırmıştır.

TOPÇU ve CANBAZ (2001) uçucu külün betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanımının etkisini araştırmıştır. Bu amaçla Eskişehir bölgesi agregaları, Çayırhan Termik Santrali'nden elde edilen uçucu kül ve PKÇ/B 32.5R çimentosu kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Numuneler 300, 350, 400 kg/m3 dozaj ve bu dozajların her biri için çimento yerine % 20 ve % 40 oranında uçucu kül katılarak elde edilmiştir. Üretim sırasında taze betonlarda çökme, VeBe yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Laboratuvar ortamında bekletilen numuneler 7, 28 ve 60 günün sonunda yapılan deneylerle uçucu külün beton üzerindeki fiziksel ve mekanik etkileri belirlenmiştir. (Subaşı vd.. 2011) Yüksek sıcaklık kalıcılık esaslı beton üretiminde etkili bir çevresel faktördür. Betonarme yapılarda yangın durumu ve yüksek sıcaklığa maruziyet düşünüldüğünde betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinde ciddi kayıplar olmaktadır. Bu çalışmada, yüksek sıcaklığın uçucu kül eklenmiş çimentolar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada çimento belli oranlarda (%5-10-20) uçucu kül ile yer değiştirilmiş ve 40x40x160 mm boyutlarında harç numuneleri hazırlanmıştır. Sonuç olarak; %5 oranında uçucu kül varlığı ile çimentonun mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyileşmeler sağlanmıştır. %10'a kadar uçucu kül varlığında çimento harçları yüksek sıcaklık etkisinden daha az zarar görmüştür. Tüm uçucu kül ikame oranlarında sıcaklık artışına bağlı dayanım değerleri düşmüştür. (Yıldız vd.. 2006) yapmış oldukları çalışmada, yapı alçılarının belirli oranlarda silis dumanı ile yer değiştirilerek kullanılması durumunda basınç dayanımında meydana gelen değişim araştırılmıştır. Yapılan çalışma ile, basınç dayanımı değerleri göz önünde bulundurularak kartonpiyer alçısının silis dumanı ile %10 oranına kadar yer değiştirilerek kullanılabileceği sonucu elde edilmiştir. (Topçu vd..) yapmış oldukları çalışmada yüksek performanslı beton elde etmek için mineral katkı olarak silis dumanı kullanımı gerektiğini savunmuşlardır. Uygun oranda silis dumanı katılması ve süper akışkanlaştırıcı ile birlikte kullanılması sonucu yüksek kaliteli ve ekonomik beton elde edilebileceğini söylemişlerdir. Laboratuvar çalışmalarında, silis dumanı katkılı harçların karbonatlaşma ve rötre özelliklerini araştırmışlardır. Ancak su-bağlayıcı oranının artması ile silis dumanının rötreyi azaltıcı etkisi azalmıştır. (Erdoğdu vd.. 1996) yapmış oldukları çalışmada silis dumanı ikamesinin katkılı çimento ile üretilen betonun basınç dayanımına etkisi portland çimentosu ile üretilen betonun basınç dayanımı ile karşılaştırılmıştır.. Çalışmada elde edilen bulgulara göre silis dumanının katkılı çimento ile ikamesi ile üretilen betonlarda 7 gün veya 28 gün sonunda basınç dayanımına olumlu katkısı gözlenmiştir. Bu katkı %9 oranında silis dumanı ikamesi ile 7 gün sonunda %50 seviyesine ulaşırken %18 oranında silis dumanı ikamesi ile 28 gün sonunda %60 seviyesinde olmaktadır. (Demirel ve Gönen 2008) çalışmasında, yüksek sıcaklığın, silis dumanı katkılı karbon lif takviyeli hafif betonun mekanik özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, silis dumanı içeren harçlarda basınç dayanımı kayıpları silis dumansız harçlara göre daha yüksek çıkmıştır. Basınç dayanımı ve porozite arasındaki ilişki 500 ve 750 °C dışında yüksektir. (Yıldız vd.. 2007). yapmış oldukları çalışmada; 600 derecede yakılmış pirinç kabuğu külünü çimentonun ağırlığınca %0, 10, 15, 20, 25 ve 30 oranlarında beton içerisine katıp, elde edilen beton numunelerinin basınç ve eğilme çekme dayanımlarını

araştırmışlardır. Çalışma sonucunda %10 pirinç kabuğu külü içeren betonların hem basınç hem de eğilme çekme dayanımlarında artış gözlenmiştir. Ancak pirinç kabuğu külünün yüksek su emme kapasitesinden dolayı, %15, 20, 25 ve 30 oranlarında pirinç kabuğu külü katkılı betonların hem basınç hem de çekme eğilmede dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. Mazlum (1989) yaptığı çalışmada pirinç kabuğu külünün durabiliteye etkisini araştırmıştır. Küller çimentoya %10, 20, 30 oranlarında eklenerek küllü numuneler ve külsüz numuneler üretilmiştir. Hazırlanan numunelerin bazıları saf su içine koyularak bazıları ise sodyum sülfat çözeltisi içine koyularak kür işlemi yapılmıştır. Saf su içerisinde koyulan küllü numunelerin eğilme ve basınç dayanımı, külsüz numunelere ve zamana göre artmıştır. Sülfat çözeltisi içerisinde bekletilen küllü numunelerin 8'inci kür haftasından sonra eğilme ve basınç dayanımları azalmıştır. Sülfat çözeltisi içinde bekletilen küllü numunelerin eğilme dayanımı su içinde bekletilenlere göre yüksektir. Fakat aynı numunelerin basınç dayanımları eşittir. Sonuç olarak %10, 20 oranında kül katılması numunelerin dayanım ve dayanıklılığını arttırmıştır. Görhan ve Şimşek (2011) pirinç kabuğu külünün betonuna fiziksel ve mekanik etkilerini araştırmıştır. Pirinç kabuğu külünün yüksek dayanımlı ve hafif beton üretiminde kullanılabileceğini belirtmişler. Ayrıca pirinç kabuğu külü, betonların dayanımını arttırırken; slump değerini, klor difüzyonunu, su emme katsayısını azaltmıştır.

Bu çalışmada YFC, UK, SD ve PK harç içerisinde çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek ikame edilmişlerdir. Toplamda kontrol numune ile beraber 13 farklı karışım hazırlanmıştır. İçerisinde çeşitli mineral katkılar bulunduran harç numunelerinin 28 günlük basınç gerilmeleri tespit edilmiştir. Ardından 28 günlük numuneler 250 ^{o}C, 500 ^{o}C ve 750 ^{o}C'de ikişer saat bekletildikten sonra tekrar basınç testleri uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar kendi aralarında ve geleneksel (kontrol) harç numunesi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

2. Malzeme - Metot

Harç karışımlarında çimento, agrega ve su 1:2.75:0.485 oranlarında kullanılmıştır. Kullanılan çimento P.Ç 42,5 R'dir. Agreganın max dane çapı, incelik modülü ve yoğunluğu sırasıyla 4 mm, 2 ve 2.7 g/cm^3'tür. Kullanılan su şebeke suyudur.

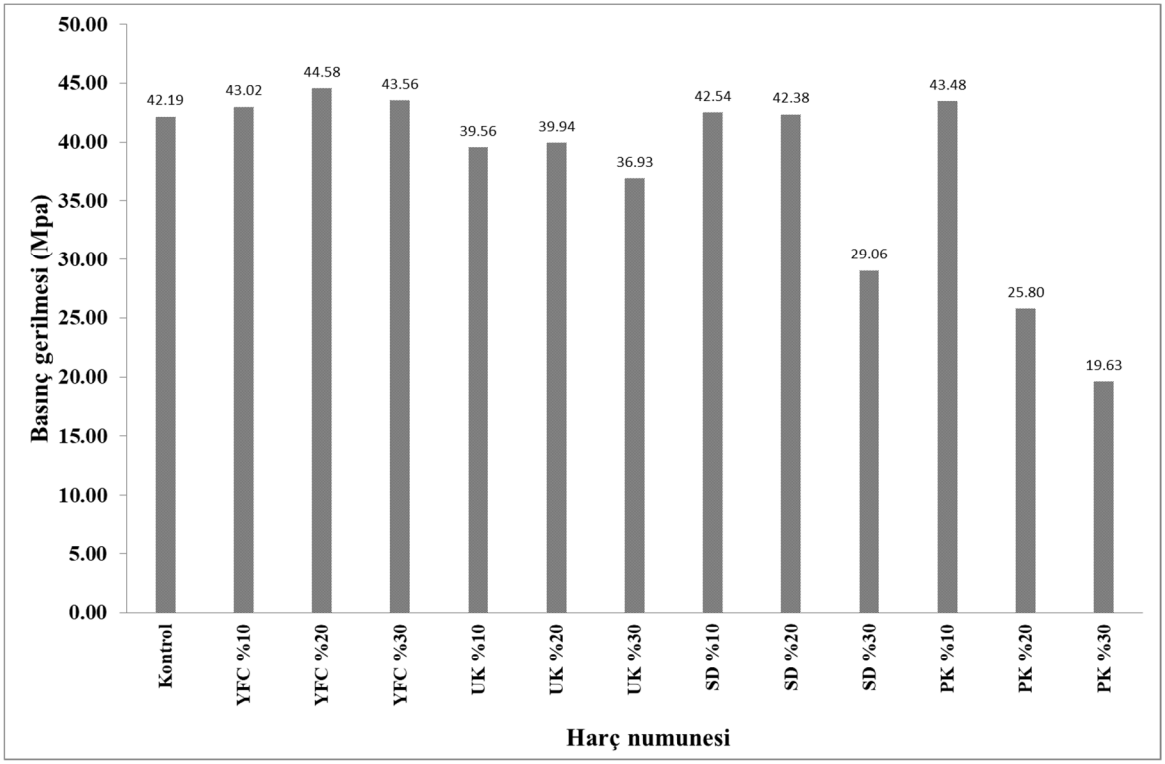
Yukarıda verilen oranlar ile geleneksel(kontrol) numune üretilmiştir. Ayrıca YFC, UK, SD ve PK çimento ile ağırlıkça %10, 20, 30 oranında yer değiştirilerek harç içerisinde ikame edilmişlerdir. Toplamda kontrol numunesi ile beraber 13 adet harç numune hazırlanmıştır. Harçları hazırlamak için kum, çimento ve mineral katkılar ilk aşmada kuru karıştırıldıktan sonra gereken su ilave edilmiştir. Hazırlanan harca yayılma tablası deneyi uygulanmıştır. Üretilen harç, boyutları 4x4x16 cm^3 olan yağlı priz kalıplara dökülmüştür. Her bir numune 15sn boyunca vibratör ile sıkıştırılmıştır. Kalıplara harç dökümünden 24 saat sonra numuneler kalıptan çıkarılarak kirece doygun suda 28 gün boyunca kür edilmiştir. 28 günlük numuneler üzerinde basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler ASTM 348 ve 349 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 28 günlük numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak dayanım testleri yapılmıştır. Numuneler fırın içinde iken, fırın 250, 500, 750 ℃' ye getirilerek etüvde bu sıcaklıklarda ayrı ayrı 2 saat bekletilmişlerdir. Daha sonra

numunelerin havada soğuması beklenmiş ve tekrar basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Basınç deneylerine maruz bırakılan numuneler kendi aralarında ve kontrol numunesi ile kıyaslanmıştır. Her test için en az 3 numune kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

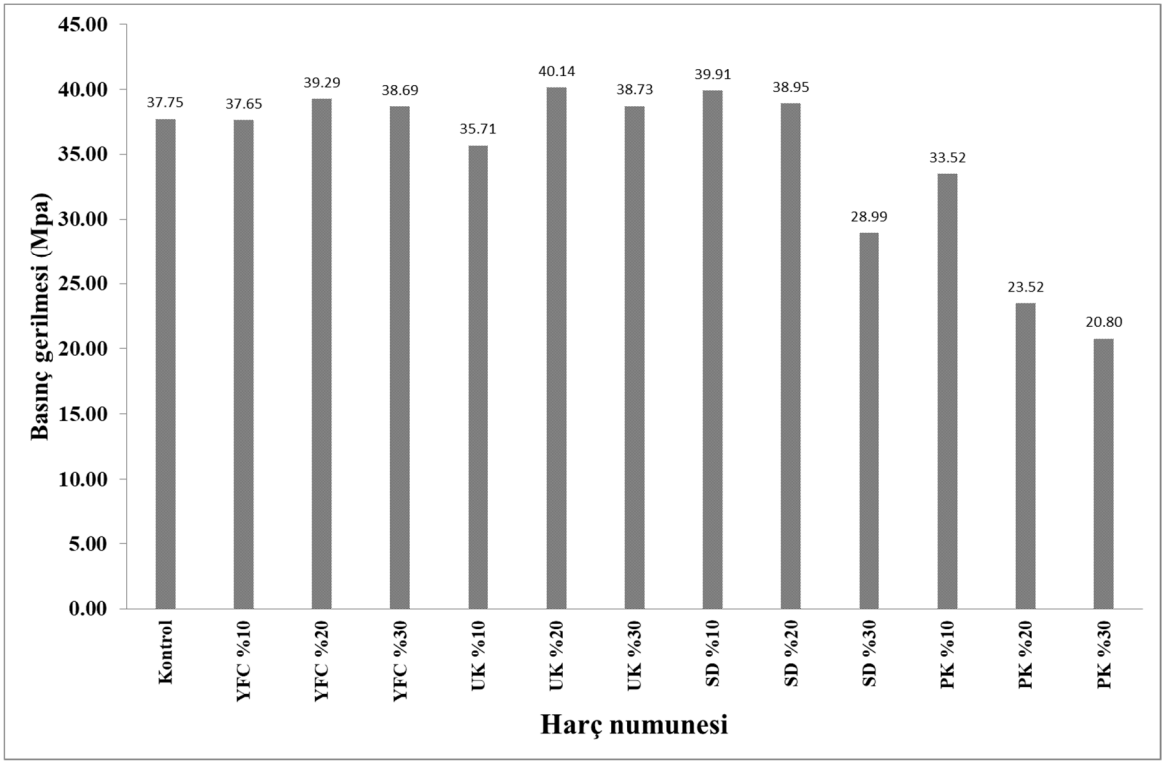
Şekil 1'de 28 günlük faklı içeriğe sahip harç numunelerinin basınç gerilmesi değerleri görülmektedir. Geleneksel (Kontrol) numuneye ait ortalama basınç gerilmesi 42,19 MPa'dır. Şekilden anlaşılacağı üzere; harç içerisindeki YFC ikame oranının %10'dan %20'ye çıkarılması basınç değerini arttırmıştır. İkame oranının %20'den %30'a çıkarılması ile birlikte dayanımda yaklaşık 1MPa'lık azalma gözlemlenmiştir. Harçlardaki UK ikamesinde, YFC ikamesinden kaynaklı dayanım davranışına benzer bir eğilim görülmüştür. UK ikamesinin %20 ye çıkarılması dayanımı arttırırken daha fazla ikame dayanımda azalmaya sebep olmuştur. Silis dumanının %10'dan %20 ve %30' a çıkarılması dayanımda azalmalara sebep olmuştur. PK ikamesinde SD ikamesinin sebep olduğu dayanım düşüşüne benzer eğilime rastlanılmıştır. İkame oranı arttırıldıkça basınç dayanımı düşmüştür.

YFC ve UK'nın çimento ile yer değiştirmesi sonucu harç dayanımındaki en yüksek değerler ikame oranının %20 olduğu karışımlarda tespit edilmiştir. SD ve PK içeren harç numunelerde ise en yüksek dayanımlar ikame oranın en az olduğu %10'da tespit edilmiştir. %20 oranında YFC ve UK içeren harçların daha sıkı düzende ve boşluklarının ince malzemeyle dolu olmasından dolayı dayanımı arttırdığı düşünülmektedir. SD ve PK'nın harç içerisindeki oranının artmasıyla işlenebilirlik azalmış ve dolayısıyla dayanımda düşüşler meydana gelmiştir. Kıvamdaki düşüş harcın kalıba yerleşmesini zor hale getirmiş ve harç içerisinde istenmeyen boşlukların oluşmasına sebep olmuştur. Dayanımdaki düşüşün bu boşluklu yapıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 1 – 28 günlük harçların basınç gerilmesi değerleri

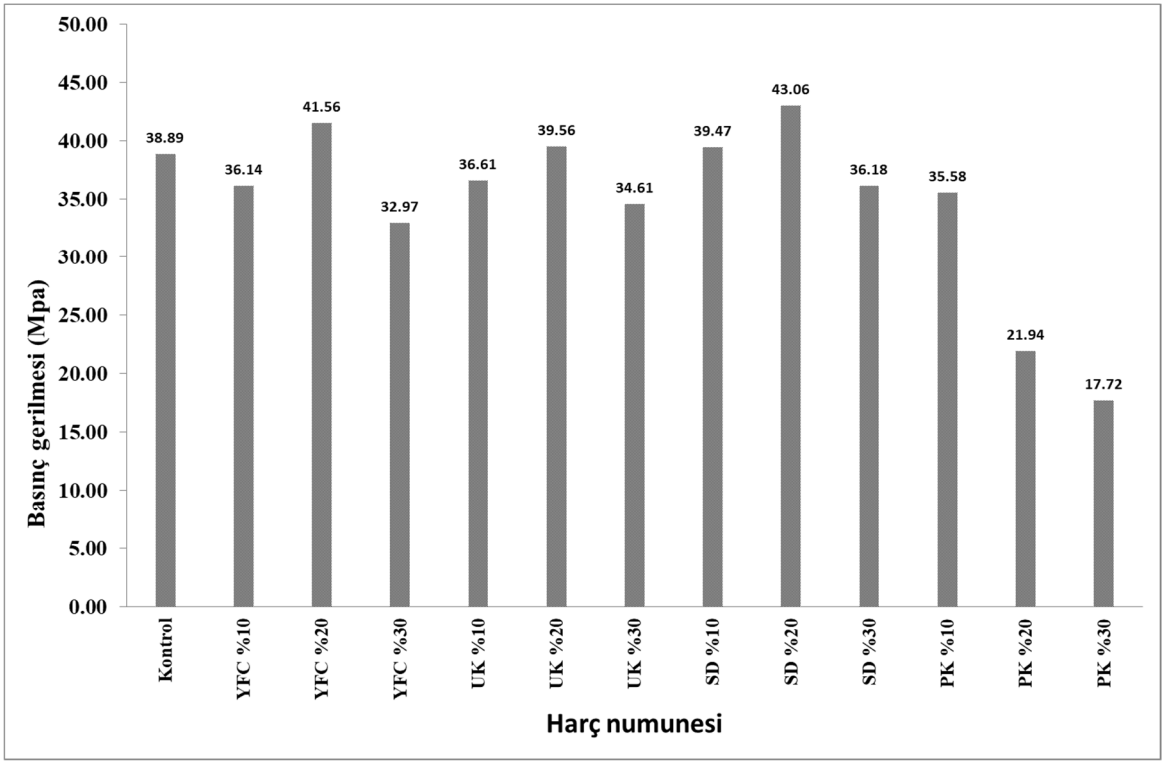
Şekil 2'de 250℃ sıcaklığa maruz bırakılan faklı içeriğe sahip harç numunelerinin basınç gerilmesi değerleri görülmektedir. Geleneksel (Kontrol) numuneye ait ortalama basınç gerilmesi 37,75 MPa'dır. Şekil incelendiğinde; harç içerisindeki YFC ikame oranının %10'dan %20'ye çıkarılması basınç değerini arttırmıştır. YFC ikameli harç numunelerinde en yüksek basınç gerilmesi %20 YFC ikameli numunelerde 39,29 MPa olarak çıkmıştır. İkame oranının %20'den %30' çıkarılması ile birlikte dayanımda azalma gözlemlenmiştir. Harçlardaki UK ikamesinde de YFC ikamesinde gözlenen dayanım değişimleri gözlemlenmiştir. UK ikamesi %10'dan %20 ye çıkarıldığında dayanımda artış meydana gelirken, UK ikamesi %30'lara çıkarılınca dayanımda azalma meydana gelmiştir. En yüksek basınç gerilmesi %20 UK ikamesinde 40,14 MPa olarak bulunmuştur. SD ikame oranı arttırıldıkça dayanımda azalmalara sebep olmuştur. Aynı şekilde harç numunelerindeki PK miktarı arttıkça dayanımda azalma meydana gelmiştir SD ve PK içeren harç numunelerde en yüksek basınç gerilmeleri %10 ikameli numunelerde ortaya çıkmıştır.



Şekil 2 – 28 günlük harçların 250 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki basınç gerilmesi değerleri

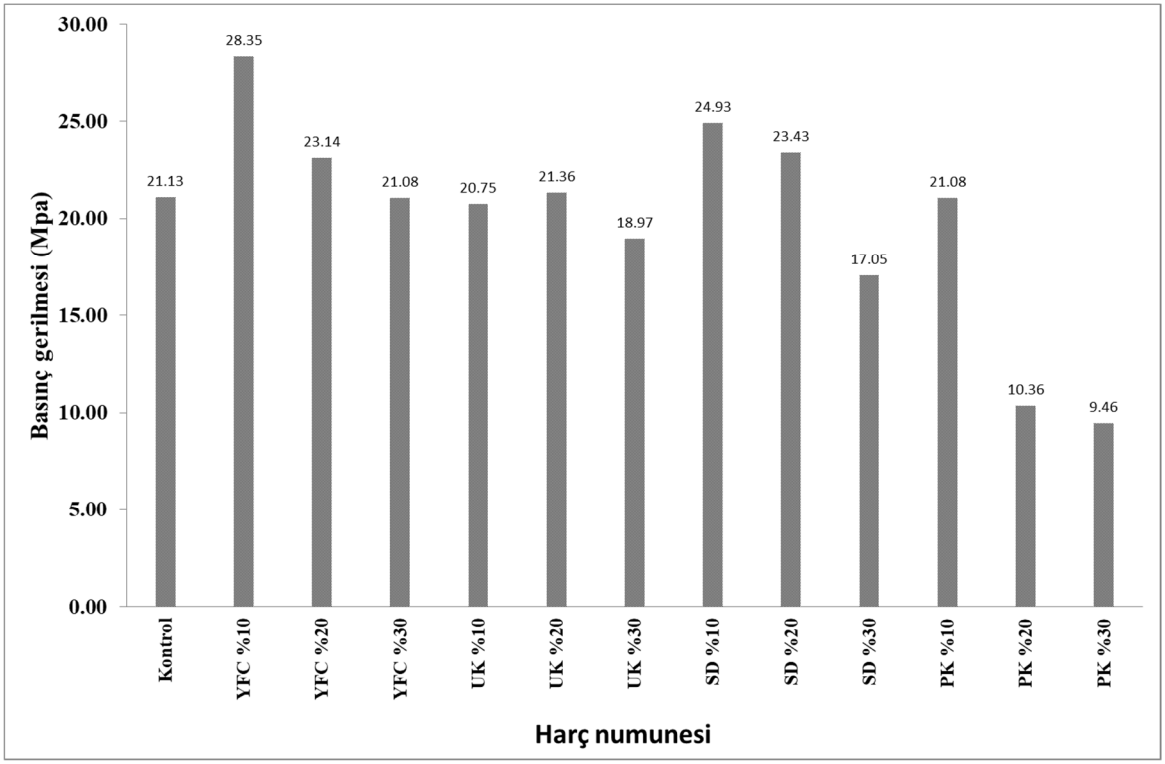
Şekil 3'te 500°C sıcaklığa maruz bırakılan faklı içeriğe sahip harç numunelerinin basınç gerilmesi değerleri görülmektedir. Geleneksel (Kontrol) numuneye ait ortalama basınç gerilmesi 38,89 MPa'dır. Diğer gözlemlerde olduğu gibi burada da 500 derece sıcaklığa maruz bırakılan YFC ikameli numunelerde en yüksek basınç gerilmesi %20 oranında ortaya çıkmıştır. %10 UK ikameli numunelerde ortalama 36,61 MPa, %20UK'da 39.56 MPa ve %30 UK ikameli numunelerde 34.61 MPa basınç gerilmeleri ortaya çıkmıştır. En yüksek basınç gerilmesi %20 UK ikamesinde oluşmuştur. SD ikameli numunelerde diğer gözlemlerden farklı olarak %20 SD ikamesinde en yüksek basınç dayanımı değeri ortaya çıkmıştır. PK ikameli numunelerde ise %10 dan %20'ye ve %30' a doğru basınç gerilmesinde azalma meydana gelmiştir.

%20 YFC ve UK ikameli numunelerde basınç gerilmesi değerleri kontrol numunesine göre yüksektir. Bunun nedeni yukarıda bahsedildiği gibi YFC ve UK'nın betondaki boşlukları doldurması ve daha homojen bir beton oluşturması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3 – 28 günlük harçların 500 ℃ sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki basınç gerilmesi değerleri

Şekil 4'te 750℃ sıcaklığa maruz bırakılan faklı içeriğe sahip harç numunelerinin basınç gerilmesi değerleri görülmektedir. Geleneksel (Kontrol) numuneye ait ortalama basınç gerilmesi 21,13 MPa'dır. YFC ikameli numunelerde 250, 500 ℃'ye maruz bırakılan numunelerden farklı olarak en yüksek basınç gerilmesi %10 YFC ikameli harçlarda görülmüştür. %10dan %20 ve %30 a doğru basınç gerilmesi giderek azalmıştır. UK ikameli numunelerde %10 UK ikamesinde 20,75 MPa, %20 UK ikamesinde 21.36 MPa ve %30 UK ikamesinde 18,97 MPa basınç gerilmeleri ortaya çıkmıştır. En yüksek değer 250 ve 500 ℃'de olduğu gibi %20 UK ikamesinde gözlenmiştir. Ayrıca SD ve PK ikameli harç numunelerinde 250 ve 500 ℃'ye maruz bırakılan numunelerde olduğu gibi, ikame miktarı arttıkça dayanımda azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4 – 28 günlük harçların 750 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki basınç gerilmesi değerleri

Deney sonuçları ayrı ayrı ve birbirleriyle kıyaslanarak incelendiğinde 28 günlük harç numunelerinin 2'şer saat 250 °C, 500 °C ve 750°C'lerde bekletildikten sonra basınç dayanımında sıcaklığın arttırılmasıyla düşüşler gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde bu çalışmada ortaya çıkan sonuçların diğer çalışmalar ile tutarlı olduğu görülmektedir. Sıcaklık artışının beton üzerinde oluşturduğu etkiler; kılcal ve jel boşluklarındaki suyun buharlaşması, büzülme, kılcal çatlak oluşumu, çekme dayanımında düşüşler, basınç dayanımında düşüşler, $Ca(OH)_2$'den CaO dönüşümü ile hacim azalması, CSH yapısının tahrip olması ve renk değişimlerinin gözlenmesi şeklindedir. Numunelerin arttırılan sıcaklıklara maruz bırakılması harçların kimyasal ve fiziksel özelliklerini bozarak daha boşluklu yapıların oluşmasına sebep olmuştur. Bu boşluklu yapıdan kaynaklanan zayıflığın dayanımdaki azalmalara sebep olduğu düşünülmektedir. Yapılan çalışmada sıcaklığın artmasıyla dayanımın düşmesi eğilimine en iyi karşı koyan numunenin %20 YFC içeren harçlar olduğu görülmektedir. En zayıf tepkiyi veren harç ise %30 PK içeren karışımdır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, YFC, UK, SD ve PK harç içerisinde çimento ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilerek ikame edilmişlerdir. Ardından 28 günlük numuneler 250 ^oC, 500 ^oC ve 750 ^oC'de ikişer saat bekletildikten sonra basınç testleri uygulanmıştır. Çıkan sonuçlar kendi aralarında ve geleneksel (kontrol) harç numunesi ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak; yüksek sıcaklık betonun fiziksel ve kimyasal yapısında

bozulmalara sebep olmuş ve basınç dayanımını düşürmüştür. Yüksek sıcaklık etkisi ile bütün harç numunelerinde dayanım kaybı olmasına rağmen, YFC ikameli numuneler kontrol numuneleri ile kıyaslandığında daha yüksek basınç değerleri elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle yüksek sıcaklığa maruz kalabilecek yerlerde YFC kullanılabilir. PK ikameli numuneler kontrol numuneleri ile kıyaslandığında, yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış PK ikameli numunelerin dayanımlarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle yüksek sıcaklığa maruz kalabilecek yerlerde PK kullanılmamalıdır.

Kaynakça

1. Dorum, A., Koçak, Y., Yılmaz, B., & Uçar, A. (2009). YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN ÇİMENTO YÜZEY ÖZELLİKLERİNE VE HİDRATASYONA ETKİLERİ. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, (019), 47-58.
2. Kocabıyık, L. (2010). *Yüksek Fırın Cürufu Mineral Katkısının Betondaki Etkinlik Katsayının Belirlenmesi Ve Betonun Kırılma Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
3. Uğurlu, S. (2015). YENİ NESİL YÜKSEK FIRIN CÜRUFLU CEM III B - C TİPLİ ÇİMENTOLARIN YÜKSEK SÜLFATLI ORTAMLARDA PERFORMANSI. UZMANLIK TEZİ

4. ÇELİK, M. H., ARUNTAŞ, H. Y., & BARAN, Y. (2003). SEYİTÖMER VE ÇAYIRHAN UÇUCU KÜLLERİNİN PORTLAND ÇİMENTOSU-UÇUCU KÜL (PÇ-UK) HAMURUNUN PRİZ BAŞLAMA VE SONU SÜRELERİNE ETKİSİ. *Politeknik Dergisi*, *6*(1), 397-409.

5. TOPÇU, B. & CANBAZ, M. (2001). UÇUCU KÜL KULLANIMININ BETONDAKİ ETKİLERİ. Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi.
6. SUBAŞI, S., İŞBİLİR, B., & ERCAN, İ. (2011). Uçucu kül ikameli çimento numunelerinin mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi. *Politeknik Dergisi*, *14*(2), 141-148.
7. Yıldız, S., Keleştemur, O., & Yalınbaş, M. (2006). Silis Dumanı Katkılı Yapı Alçılarında Basınç Dayanımının Araştırılması.
8. TOPÇU, İ. B., & KAVAL, M. Betonda Silis Dumanı Kullanımının Ekonomik Analizi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *14*(1), 18-31.
9. Erdoğdu, Ş., Kurbetçi, Ş., & Doğan, A. (1996). Silis Dumanının Katkılı Çimento İle Kullanımı, 4. *Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul*, 257-265.
10. Demirel, B., & Gönen, T. (2008). YÜKSEK SICAKLIGIN KARBON LiF TAKViYELi HAFiF BETONDA BASINÇ DAYANIMI VE POROZiTEYE ETKiSi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *14*(2), 223-228.

11. Yıldız, S., Balaydın, İ., & Ulucan, Z. Ç. (2007). Pirinç kabuğu külünün beton dayanımına etkisi.
12. Mazlum, F. (1989). *Pirinç kabuğu külünün puzzolanik özelikleri ve külün çimento harcının dayanıklılığına etkisi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
13. Görhan, G., & ŞİMŞEK, O. (2011). Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Pirinç Kabuğu Külünün Etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *7*(1), 107-117.

Perlitli Harçların Elektromanyetik Dalga Zayıflatmada Kullanımı

Umur Korkut SEVİM[1], Murat ÖZTÜRK[2]

[1,2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
Emails: ukorkut.sevim@iste.edu.tr, murat.ozturk@iste.edu.tr

Özet

Bu çalışmada perlitli ve geleneksel harçların mekanik ve elektromanyetik özellikleri incelenmiştir. Eğilme ve basınç dayanımı sonuçlarında perlit kullanımın harç eğilme ve basınç değerinde ciddi azalmalara sebep olduğu tespit edilmiştir. 8-12 GHz bant aralığında yapılan elektromanyetik ölçümlerde ise perlitli harçların geleneksel harçlara göre elektromanyetik dalgaların iletimini azaltmada daha etkili olduğu görülmüştür. Perlitli harçların dayanımdaki zayıf davranışına karşılık boşluklu yapısından kaynaklanan elektromanyetik dalga iletimini zayıflatma yeteneği bu malzemenin potansiyel bir elektromanyetik dalga zayıflatıcı olarak kullanılabilirliği göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Perlit; Harç; Mekanik; Elektromanyetik

Usege of Mortars Containing Perlite for Electromagnetic wave Attenuation

Umur Korkut SEVİM[1], Murat ÖZTÜRK[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
Emails: ukorkut.sevim@iste.edu.tr, murat.ozturk@iste.edu.tr

Abstract

In this study, mechanical and electromagnetic properties of a traditional mortar and martar containing perite was investigated. Perlite in the mortars resulted dramatic diminish in tensile and compressive strength test results. In the electromagnetic tests applied 8-12 GHz band gaps, it is observed that mortas containing perlite are more effective to attenuate elecromagnetic vawes than the traditional mortars. While mortars containing perlite has weak strength, because of the porous structure of the mortars containing perlite ıt has a potential to be used as an electromagnetic vawe atteuation material.

Keyword(s): Perlite; Mortar; Mechanic; Electromagnetic

1. Giriş

Teknolojinin ve sanayinin son yıllarda hızla gelişmesi elektromanyetik dalgaların sebep olduğu fiziksel, kimyasal ve çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir (Cui vd., 2019). Elektromanyetik dalgalar sağlık sektörü, güvenlik sektörü ve telekomünikasyon gibi alanlar ile birlikte hayatımızın içerisine girmiştir (Sutradhar, Saha, Chowdhury ve Das, 2019). Uzun süreli elektromanyetik dalgalara maruziyet yaşlı, hasta, çocuk ve gebeler üzerinde negatif

etkilere sebep olduğu bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır (Zhang vd., 2019). Elektromanyetik dalgaları ortadan kaldırmak imkânsız gibi görünse de bu dalgaların sebep olduğu zararları azaltmak mümkündür (Cao, Wang, Cao ve Yuan, 2015).

İnsan hayatının büyük çoğunluğunun geçtiği konut benzeri yaşanakların zararlı elektromanyetik dalgalardan izole edilmesi mümkündür. Özellikle çocuk ve hasta odalarının zararlı elektromanyetik dalgalardan korunması ileride meydana gelebilecek bazı hastalıkların önüne geçilmesinde yardımı olacaktır (Baan vd., 2011; Schüz ve Ahlbom, 2008). Hassas tıbbi cihazların bulunduğu ameliyathanelerde dışarıdan gelebilecek elektromanyetik dalgaların sebep olacağı parazitlenme de ameliyathanelerin elektromanyetik dalgalardan korunmasıyla sağlanabilir. Ayrıca radarda görünmeyecek yapıların inşası elektromanyetik dalgaların yansıtılmamasıyla askeri amaçla kullanılmasına olanak sunmaktadır. Elektromanyetik dalgaların istenilmeyen alana girmesi kaplama malzemelerin kullanılmasıyla günümüzde mümkün hale gelmiştir (Huang, Li, Li, He ve Yuan, 2019).

Çimento bazlı kompozit bir malzeme olan harç en yaygın kullanılan bir malzemedir. Bu malzeme yapılarda genellikle kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. İçerisinde kum, su çimento olan harç rahat işlenmesi ve kolay elde edilmesinden dolayı yapı sektörünün vazgeçilmezleri arasına girmiştir. Harca ek fonksiyonlar katarak yapı sektöründe sadece kaplama olarak kullanılan bu malzemenin aynı zamanda elektromanyetik dalga zayıflatıcı olarak kullanılması mümkündür (Dai vd., 2019; Fan vd., 2018; Nam, Choi, Kim ve Lee, 2018; Prasad, Mahmoud ve Parashar, 2019; Wang, Ding, Li ve Han, 2019).

Bu çalışmada geleneksel (standart) harç ile agrega yerine perlit içeren harçların mekanik ve elektromanyetik özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Harç numunelerin 28 günlük basınç ve eğilme gerilmeleri tespit edilmiştir. Ayrıca farklı kalınlıklara (1.5 mm, 3mm ve 4.5 mm) sahip geleneksel harç ve perlitli harçların elektromanyetik dalga iletim parametreleri de test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kendi aralarında kıyaslanıp yorumlanmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

Harç karışımlarında çimento: agrega: su oranı bütün karışımlarda 1: 2.5: 0.485 olarak sabit tutulmultur. Kullanılan çimento yoğunluğu 3.15 olan CEM I 42.5 R'dir. Kontrol harcında yoğunluğu 2.75, incelik modülü 2.1 olan kalkerli kırmataş agrega kullanılmıştır. Karışım suyunda şehrin şebeke suyu kullanılmıştır. Perlitli karışımda kontrol numuneden farklı olarak kırmataş yerine yoğunluğu 0.85, incelik modülü 2.81 olan genleştirilmiş perlit kullanılmıştır.

Harç karışımı hazırlanırken kuru malzemeler kademeli olarak hızlanan mikser yardımı ile ilk olarak kuru karıştırılmıştır ardından su eklenerek uygun kıvama gelen harçlar boyutları 4 mm x 4 mm x 16 mm olan yağlı harç kalıplarına dökülmüştür. Dökümden 24 saat sonra numuneler kalıptan alınıp kirece doygun suda labaratuvar koşullarında test gününe kadar bekletilmiştir. 28 günlük harç numuneler üzerinde ASTM 348 (ASTM C348, 1998)ve ASTM 349 (ASTM, 1957)'a uygun olarak eğilme ve basınç testleri yapılmıştır.

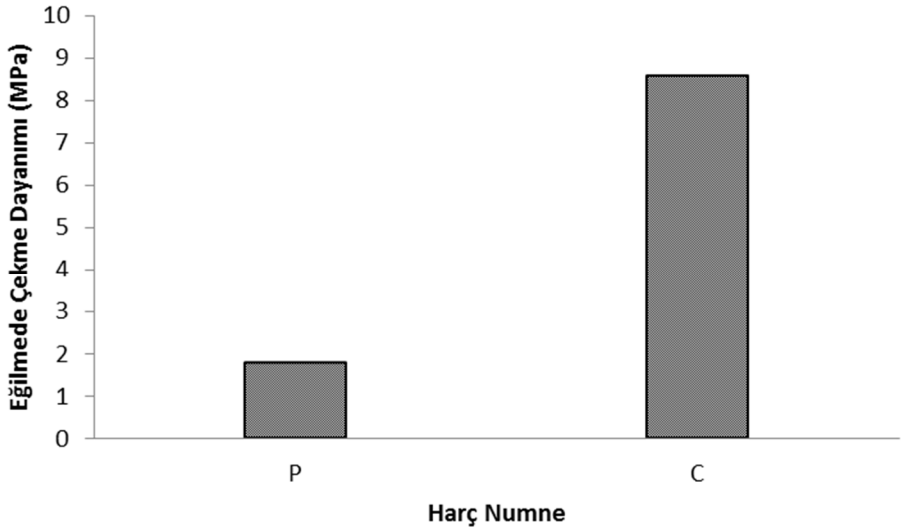
Elektromanyetik testler için ise taze harç kalınlıkları 1.5 (P, C) mm , 3 mm (2P, 2C) ve 4.5 mm (3P, 3C) ve tabanı 15mm x 15 mm olan plakalara dökülmüştür. Numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp 28 gün boyunca kür havuzunda tutulmuştur. 28 günlük numuneler etüvde 100 derecede ısıtılarak nemi alındıktan sonra elektromanyetik testler uygulanmıştır. Elektromanyetik testler test numenesinin yüksek verimli iki anten ortasına yerleştirilmesiyle yapılmıştır. Ölçümler 8 GHz - 12 GHz bant aralığında gerçekleştirilmiştir. Antennlerden yayılan EM dalganın iletim parametreleri (S12) network analizör kullanılarak elde edilmiştir. Ölçümler serbest alan tekniğiyle yapılmıştır. Ölçüm Şekil 1'de görülmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

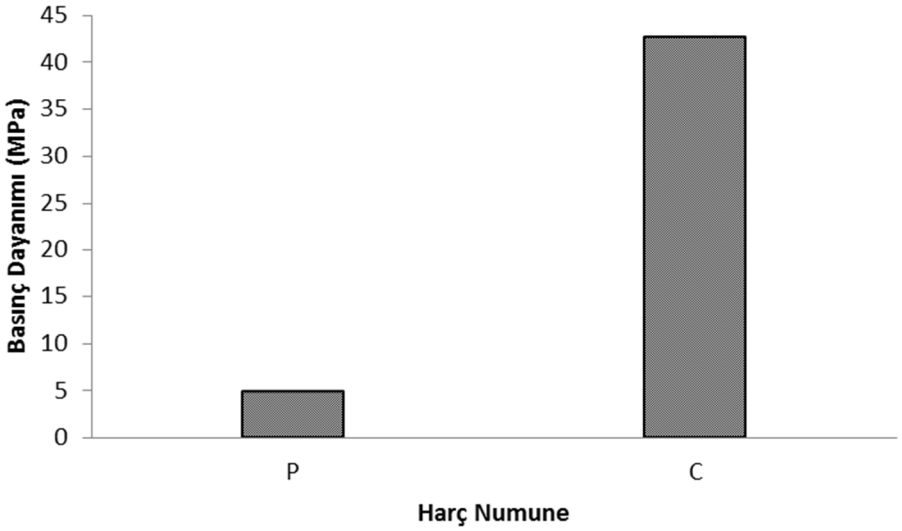
3.1. Eğilme ve Basınç Dayanımları

Şekil 2'de harç numuelere ait ortalama eğilmede çekme dayanımları görülmektedir. Perlitli harçlara (P) ait maksimum çekme gerilmesinin değeri 1.77 MPa iken kontrol (C) numneye ait çekme gerilmesi 8.59 MPa'dır. Genleştirilmiş perlit içeren harçların geleeksel harçlarla kıyaslandığında çok daha düşük çekme kuvvetlerine direnç göstermesi içi boş olan zayıf fiziksel özelliklere sahip perlit ile açıklanabilir. Düşük dayanıma sahip perlit içerisinde agrega olarak kullanıldığı harcın da çekme dayanımını düşürmüştür.

Şekil 3'te perlitli ve perlitsiz harçlara ait basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Perlitli harçlara ait ortalama basınç değeri 4.83 MPa iken perlit içermeyen kontrol numunenin basınç dayanımı 42.62 MPa'dır. Aynı trend eğilmede çekme dayanımında da görülmüştür. Bununun sebebi zayıf makanik ve fiziksel özlliklere sahip perlitin harç içerisinde kullanılmasından kaynaklı harçta oluşan zayıf yapıyla açıklanabilir (Polat, Demirboğa ve Karagöl, 2018).



Şekil 2. Harç numuneler ait eğilmede çekme dayanımları



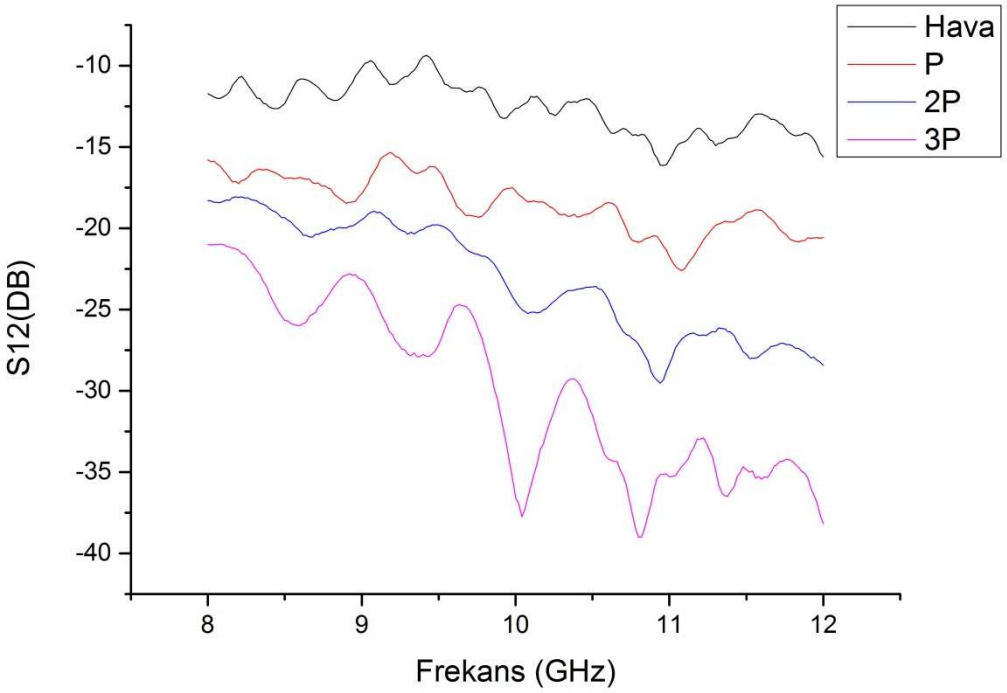
Şekil 3. Harç numuneler ait basınç dayanımları

3.2. Elektromanyetik Testler

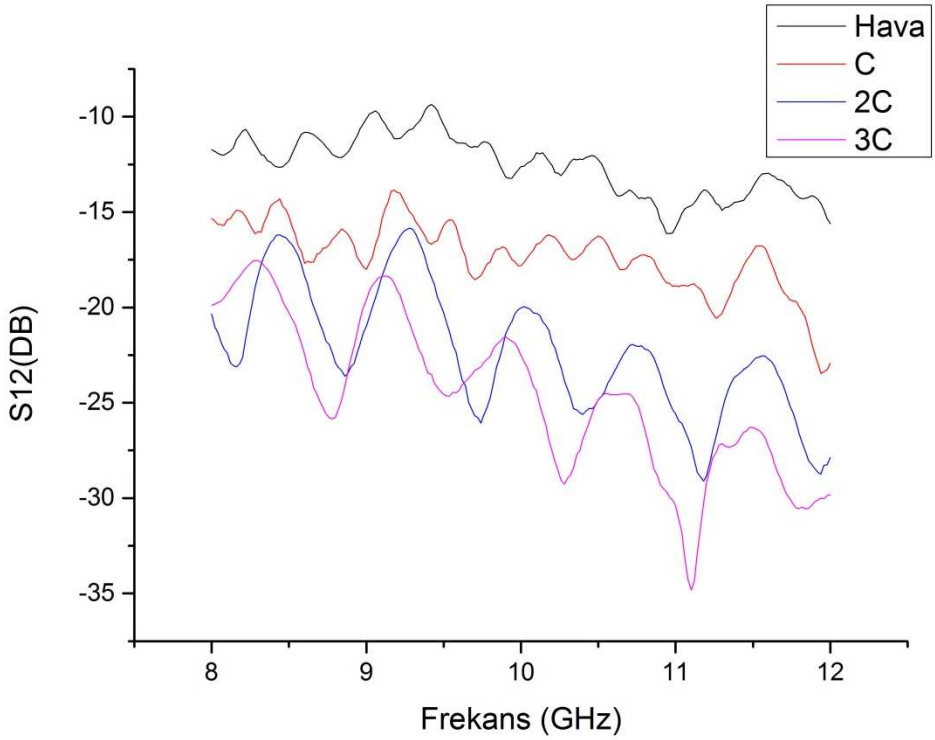
Şekil 4'te hava ve farklı kalınlıklara sahip perlitli harçların elektromanyetik dalgaları iletim parametreleri görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere perlitli harçların kalınlığının arttırılmasıyla elektromanyetik dalgaların iletimi de engellenmiştir. Bütün kalınlıklarda elektromanyetik dalganın iletiminin engellenmesi maksimum 10.8 GHz frekans civarında görülmüştür. Kalınlığın 1.5 mm, 3mm ve 4.5 mm'ye çıkarılmasıyla sırasıyla 7.5, 15 ve 25 dB'e kadar iletim engellenmiştir. Şekil 5'te ise kalınlığı 1.5mm, 3 mm ve 4.5 mm olan harçlara ait elektromanyetik dalgaları iletim katsayıları görülmektedir. Numune kalınlığının arttırılmasıyla elektromanyetik dalga iletiminin azaltıldığı görülmektedir. En yüksek dalga engellenmesi 11.1 GHz civarında olduğu görülmektedir. Harç kalınlığın 1.5 mm, 3 mm ve 4mm yapılmasıyla dalga iletiminin sırasıyla maksimum 5, 13 ve 20 dB'ye kadar iletim zayıflatılmıştır.

Kalınlığı kademeli olarak arttırılan perlitli ve geleneksel harçlar karşılaştırıldığında aynı kalınlıklara sahip perlitli ve perlitsiz harçlardan perlit içeren harçların elektromanyetik dalga iletimini daha fazla zayıflattığı açıkça görülmektedir. Perlitli harçlarda harç kalınlığının artmasıyla elektromanyetik dalga iletimin zayıflatılması bütün frekans aralığında (8-12 GHz) gözlemlenirken geleneksel harçlarda kalınlığın 3 mm'den 4.5 mm'ye çıkarılması elektromanyetik dalga zayıflatmada çok büyük farklılıklar yaratmadığı göze çarpmaktadır.

Perlitli harçların elektromanyetik dalga iletimini zayıflatmada geleneksel harca göre üstün davranışlar sergilemesinin sebebi boşluklu yapıya sahip genleşmiş perlitin kullanılmasıyla harçta oluşan boşluklu yapı ile açıklanabilir. Harçtaki boşluklu yapı dayanımda zayıflamaya sebep olsa da elektromanyetik dalga iletimini zayıflatmada etkili bir yol olduğu test sonuçlarından anlaşılmaktadır (Xie, Ji, Yang, Hou ve Wang, 2016).



Şekil 4. Hava ve farklı kalınlıklara sahip perlitli harçların elektromanyetik dalgaları iletim parametreleri



Şekil 5. Hava ve farklı kalınlıklara sahip geleneksel harçların elektromanyetik dalgaları iletim parametreleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada perlitli ve geleneksel harçların mekanik ve elektromanyetik özellikleri incelenmiştir. Perlitli harçların içerdikleri perlitin zayıf özelliklerinden (boşluklu yapı) dolayı düşük eğilme ve basınç gerilme değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Elektromanyetik test sonuçlarına göre ise perlitli harçların geleneksel harçlara göre elektromanyetik dalgaların iletilmesini zayıflatmada gene boşluklu yapısından dolayı üstün özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Sonuçlar incelendiğinde perlitli harçların dayanımlarının zayıf olmasından dolayı dezavantajlı gibi gözükseler de elektromanyetik dalga iletimini zayıflattığı görülmektedir. Yapıda kullanılan harçların taşıyıcı eleman olarak kullanılmadığı göz önünü alınırsa perlitli harçların kaplama olarak kullanılmasında bir sakınca görülmemektedir. Sonraki çalışmalarda perlitli harçların dayanımın arttırılması ve farklı geometrilerde kalıpların tasarlanması gibi modifikasyonlar ile birlikte elektromanyetik dalgaların iletiminin engellenmesi arttırılabilir.

Kaynakça

ASTM. (1957). Standard Test Method for Compressive Strength of Soil-Cement Using Portions of Beams Broken in Flexure (Modified Cube Method) 1. *Current*.

ASTM C348. (1998). *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars ASTM C348*. *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 04). https://doi.org/10.1520/C0348-14.2

Baan, R., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., … Straif, K. (2011). Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *The Lancet Oncology*. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(11)70147-4

Cao, M.-S., Wang, X.-X., Cao, W.-Q., & Yuan, J. (2015). Ultrathin graphene: electrical properties and highly efficient electromagnetic interference shielding. *Journal of Materials Chemistry C*, *3*(26), 6589–6599. https://doi.org/10.1039/C5TC01354B

Cui, C., Xiang, C., Geng, L., Lai, X., Guo, R., Zhang, Y., … Jiang, S. (2019). Flexible and ultrathin electrospun regenerate cellulose nanofibers and d-Ti3C2Tx (MXene) composite film for electromagnetic interference shielding. *Journal of Alloys and Compounds*, *788*, 1246–1255. https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2019.02.294

Dai, Y., Wu, J., Wang, D., Li, R., Lu, C., & Xu, Z. (2019). Electromagnetic Wave-Absorbing Properties of Steel Slag. *Journal of Materials Engineering and Performance*, *28*(1), 535–542. https://doi.org/10.1007/s11665-018-3831-7

Fan, Y., Zhang, B., Song, J., Volski, V., Vandenbosch, G. A. E., & Guo, M. (2018). An Innovated Application of Reutilize Copper Smelter Slag for Cement-based Electromagnetic Interference Composites. *Scientific Reports*, *8*(1), 16155. https://doi.org/10.1038/s41598-018-34680-5

Huang, L., Li, J., Li, Y., He, X., & Yuan, Y. (2019). Lightweight and flexible hybrid film based on delicate design of electrospun nanofibers for high-performance electromagnetic interference shielding. *Nanoscale*, *11*(17), 8616–8625. https://doi.org/10.1039/C9NR02102G

Nam, I. W., Choi, J. H., Kim, C. G., & Lee, H. K. (2018). Fabrication and design of electromagnetic wave absorber composed of carbon nanotube-incorporated cement composites. *Composite Structures*, *206*, 439–447. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.07.058

Polat, R., Demirboğa, R., & Karagöl, F. (2018). The influence of expanded perlite aggregate on compressive strength, linear autogenous shrinkage, restrained shrinkage, heat of hydration of cement-based materials. *Structural Concrete*, *19*(6), 1771–1781. https://doi.org/10.1002/suco.201700259

Prasad, R., Mahmoud, A. E., & Parashar, S. K. . (2019). Enhancement of electromagnetic shielding and piezoelectric properties of White Portland cement by hydration time. *Construction and Building Materials*, *204*, 20–27. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.140

Schüz, J., & Ahlbom, A. (2008). Exposure to electromagnetic fields and the risk of childhood leukaemia: A review. *Radiation Protection Dosimetry*. https://doi.org/10.1093/rpd/ncn270

Sutradhar, S., Saha, P., Chowdhury, A., & Das, S. (2019). Reduction of electromagnetic pollution by the enhancement of microwave absorption of strontium hexaferrite functionalized poly(vinylidene fluoride) composite film. *Materials Research Express*, *6*(8), 086424. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab1ab2

Wang, D., Ding, S., Li, L., & Han, B. (2019). Electromagnetic properties of multi-layer graphenes filled cementitious composites. *Materials Research Express*, *6*(4), 045046. https://doi.org/10.1088/2053-1591/aafc3d

Xie, S., Ji, Z., Yang, Y., Hou, G., & Wang, J. (2016). Electromagnetic wave absorption enhancement of carbon black/gypsum based composites filled with expanded perlite. *Composites Part B: Engineering*, *106*, 10–19. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.014

Zhang, N., Zhao, R., He, D., Ma, Y., Qiu, J., Jin, C., & Wang, C. (2019). Lightweight and flexible Ni-Co alloy nanoparticle-coated electrospun polymer nanofiber hybrid membranes for high-performance electromagnetic interference shielding. *Journal of Alloys and Compounds*, *784*, 244–255. https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2018.12.341

BİTÜM MODİFİKASYONUNDA NANOMALZEMELERİN KULLANIMI VE KARAKTERİZASYONU (Sözlü sunum)

Hatice Merve ÇETİN[1], Volkan Emre UZ[2]

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Toros Üniversitesi, Türkiye
[2]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Türkiye
Email adresleri: merve.cetin@toros.edu.tr, vemreuz@adanabtu.edu.tr

Özet

Ulaşıma olan talebin her geçen gün artması yeni ulaştırma yapılarının yapılmasını ve mevcut yapıların iyileştirilmesini de beraberinde getirmektedir. Kara ulaşımı, özellikle de karayolu ulaşımı, ülkemizde yük ve yolcu taşımacılığında en yaygın kullanılan ulaşım modudur. Karayollarının kalitesi ve servis sürelerini uzatmak, ülke ekonomisi için de büyük önem taşımaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte her alanda olduğu gibi ulaştırma alanında da birçok yenilikler geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. En çok araştırılan konulardan birisi ise özellikle yapılacak olan yol kaplamalarının dayanımını arttırmak için kullanılabilecek farklı katkı malzemelerinin tespit edilmesidir. Son zamanlarda farklı sektörlerde kullanılan nanomalzemeler, ulaşım sektöründe de yerini almıştır. Özellikle nanokillerin yol üstyapılarında kullanımı ile ilgili birçok çalışma yapılmış olup yol üstyapılarında görülen; tekerlek izi, yorulma çatlağı ve soyulma gibi problemlere etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda bitüm, nanokil çeşitlerinden montmorillonit, illit, bentonit, klosoit ve diğer nanomateryallerden olan nanosilika, nano $CaCO_3$ gibi malzemelerle modifiye edilerek, çeşitli testler uygulanmış ve bitümün reolojik ve fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Çalışmalarda nanokillerin ve nanomalzemelerin kullanılması ile bitümün dayanımı, durabilite, suya karşı hassasiyete ve depolama stabilitesi ve deformasyona karşı direnç gibi birçok özelliğinde önemli iyileşmeler ve değişimler kaydedilmiştir. Bu çalışmamızda yapılan araştırmalar ve bu araştırmalar neticesinde elde edilen bulgular sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Üstyapı, Modifikasyon, Bitüm, Nanomalzeme, Nanokil

1. Giriş

Yol üstyapı çalışmalarında en çok tercih edilen kaplama türü esnek kaplamalardır. Bunun sebebi kolay uygulanabilir olması ve ilk yatırım maliyetinin düşük olması şeklinde sıralanabilir. Esnek kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılan bitümün miktarı az olsa da kalitesinin önemi büyüktür. Bağlayıcı kullanılacak üstyapının dayanımının yüksek olması, geçirimsiz olması, agrega ile adezyonu iyi sağlayabilmesi gibi temel özellikler aranır. Ancak saf bitüm ile yapılan yol kaplamalarının dayanıksız olmasından dolayı uzun servis süreleri sağlayamadığı durumlar oluşabilmektedir. Özellikle ağır trafik ve tekrarlı yüklerden kaynaklı üstyapıda; tekerlek izi, düşük sıcaklık çatlakları ve soyulma gibi bozulmalar meydana gelmektedir. Yol üstyapısında

bu tür bozulmaların en az seviyede olması ve yolların servis ömrünün mümkün olduğunca uzun olması istenir. Bu sebepten dolayı bitümün özelliklerini iyileştirme yollarına başvurulmuştur. En çok kullanılan iyileştirme yöntemleri arasında bitümün çeşitli katkılarla modifiye edilerek özelliklerinin iyileştirilmesidir. Eklenen katkıların yardımıyla bitümün reolojik ve fiziksel özellikleri değiştirilmekte, dayanım ve servis ömrü uzatılabilmektedir.

Bitüm, doğal asflattan ya da petrolün damıtılmasından elde edilen geçirimsiz, yapışkan, uçucu olmayan kolloidal bir malzemedir. Bitüm yüksek viskoziteli ancak ısıya duyarlı yapısından dolayı sıcaklık arttıkça viskoz sıvı, sıcaklık azaldığında ise elastik bir katı gibi davranmakta ve bu sebepten dolayı termoplastik malzeme grubuna da girmektedir. Farklı kaynaklardan alınan bitümlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri de farklılıklar göstermektedir. Ancak bitümü oluşturan temel bileşenler dört ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; doygunlar (S), asfaltenler (A), reçineler (R) ve aromatiklerdir (A) ve kısaca S-A-R-A olarak geçmektedirler. SARA oranları bitümlerin reolojik ve fiziksel farklılıklarını ortaya koymakta etkin bir parametredir.

2. Bitüm Modifikasyonu ve Amaçları

Saf bitüm yapısı gereği, artan trafik yükleri, tekrarlı yükler ve olumsuz iklim koşulları altında sürdürülebilirliğini her zaman koruyamamaktadır. Yapılan yolların servis ömrü boyunca tekerlek izi, düşük sıcaklık çatlakları, deformasyon, yaşlanmaya karşı dayanıklı olması beklenir. Ancak saf bitüm bu dayanımı uzun süre için karşılayamamaktadırlar. Bu sebepten dolayı bitüm çeşitli katkılarla modifiye edilmektedir. Bu gibi olumsuz durumlara karşı araştırmacılar bitümün özelliklerini iyileştirme yoluna gitmekte ve bitümü; polimerler, değerli atıklar ve nanomalzemeler gibi çeşitli katkılarla modifikasyon çalışmalarına ağırlık vermişlerdir. Bu çalışmada literatürde katkı olarak kullanılan nanomalzemeler ve nanokiller üzerinde durulmuştur. Bitümün modifiye edilmesindeki genel amaçları Lewandowski (1994) şu şekilde sıralamıştır:

1. Düşük hizmet sıcaklıkları için daha yumuşak karışımlar elde etmek ve çatlakları azaltmak;
2. Yüksek sıcaklıklarda daha katı veya sert karışımlar elde etmek ve tekerlek izi gibi kalıcı deformasyonları azaltmak;
3. Yapım, bakım ve onarım zamanında viskoziteyi düşürmek, karışımların işlenebilirliğini ve sıkışmasını iyileştirmek,
4. Karışımların dayanımını ve stabilitesini artırmak;
5. Karışımların aşınma direncini artırmak, kaplamalarda bitüm ile agrega arasında daha iyi adezyon/kohezyon sağlayarak agrega kayıplarını azaltmak;
6. Kaplamalarda düşük sıcaklık çatlaklarını azaltmak;
7. Karışımın yorulma direncini artırmak;
8. Yüksek işlenebilirliğe sahip karışımların sertleşmesini hızlandırmak;
9. Düşük performansa sahip bitümlü bağlayıcının kalitesini iyileştirmek, bu şekilde düşük performanslı bitümlü bağlayıcıların da kullanılmalarına imkan sağlamak;
10. Yaşlanma ve oksitlenmeye karşı direnci artırmak, yaşlanmış bitümlü bağlayıcıların yenilenmesini/gençleşmesini sağlamak;

11. Agregalar üzerinde daha kalın bir film tabakası oluşturmak, bu şekilde aralarındaki soyulmayı azaltmak;
12. Bitümlü bağlayıcının içinde bir katkı olarak kullanılabilirliği ortaya koymak;
13. Terleme ve kusma olaylarını azaltmak;
14. Kaplamaların tabaka kalınlığını azaltmak;
15. Geliştirilmiş çatlak dolgusu sağlamak;
16. Yakıt döküntülerine karşı dayanım artışı sağlamak;
17. Kaplamaların ömür döngü maliyetini azaltmaktır, şeklinde sıralamıştır.

4. Bitüm Modifikasyonunda Kullanılan Nanomalzemeler ve Bitüm Üzerindeki Etkileri

Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneğinin (ASMÜD) yayınladığı raporda Türkiye'de 2015 yılı yol yapım çalışmalarında 2,7 milyon ton asfalt kullanıldığı ve bunun % 3,9'unun modifiye edilmiş asfalt olduğu belirtilmiştir (ASMÜD, 2017). Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği'nin (EAPA) Avrupa Birliği ülkelerine ait 2009 yılı verilerine bakıldığında bitüm tüketiminin yaklaşık 16,5 milyon ton olduğu ve bu miktarın yaklaşık 1,5 milyon tonluk kısmının ise polimer modifiye bitüm olduğu görülmektedir (Zhu vd., 2014; EAPA, 2017). Polimer modifiye bitümler her ne kadar tekerlek izi, düşük sıcaklık çatlakları ve termal duyarlılığa karşı bitüme dayanım sağlasa da araştırmacılar %0,3-1 oranında katılan polimerlerin, %90 oranında emilimi azalttığını ortaya koymuşlardır (Fu vd., 2007; Farias, 2016). Bunun sebebi modifikasyon sonucu oluşan polimerik fazın koruyucu bir katman görevi görmesidir. Ayrıca modifikasyonda en çok kullanılan polimer olan Strien-butadien-strien (SBS) triblok kopolimerinin yüksek sıcaklığa olan duyarlılığından kaynaklı bitümün depolanması sırasında ayrışma meydana getirmesidir. Meydana gelen ayrışma SBS polimeri ile bitüm arasındaki yoğunluk farkından kaynaklanmaktadır (Fang vd., 2013). Polimerlerin bu tür dezavantajlarından dolayı araştırmacılar farklı katkı arayışına girmiş ve nanomalzemeler üzerinde çalışmalar yapmışlardır.

Nanomalzemeler; boyutları 1 ve 100 nanometre arasında değişen materyallerdir. Bir nanometre, metrenin milyarda biridir. Bitümün modifikasyon çalışmalarında çeşitli nanomalzemeler ve genel olarak nanokil kullanılmış ve bitümün özelliklerinin iyileştirilmesi açısından olumlu sonuçlar vermiştir.

4.1. Nanokil ve Çeşitleri

Nanokil, kilin organik monomerler ve polimerler ile uyumlu hale getirilmesi için modifıye edilebilen kildir. Normal killerle nanokilleri birbirinden ayıran temel kavram boyut farklılığıdır. Killerde yüzey genişliğinin yanı sıra yüksekliği de fazladır. Ancak nanokillerin yüzey genişliği 100 ile 500 nm arasında değişir ve boyut yüksekliği 1 nm dir. Genel anlamda killer, doğada bulunabilen minerallerdir. Kil katmanlarının birbirinden ayrılmasıyla, geniş bir aktif yüzey (700-800 m^2 / g'ye kadar) alanına sahip nanokiller meydana gelir. Nanokilin aktif yüzeyin geniş olması ve katmanlı yapısından dolayı bitümle arasında yoğun bir etkileşime neden olur (Yanga ve Tigheb, 2013; Li vd., 2017).

Bitümün modifikasyonda en çok kullanılan montmorillonit, diğer nanokil çeşitlerinden olan klosoit ve bentoniti de oluşturan temel kil mineralidir. Nanokil grupları içerisinde şişme, yani bünyesindeki suyu tutma özeliği en çok montmorillonitte görülmektedir. Kütlesinin bir kaç katı kadar suyu kendi içerisinde tutarak hacmini genişletebilmektedir. Kilin içerisindeki su miktarı diğer özelikleri de önemli derecede etkilediği için şişme özelliği büyük önem taşımaktadır. Tabakalı yapıya sahip montmorillonitin tabakalarının arasında sodyum (Na) ve kalsiyum (Ca) katyonları bulunmaktadır. Bu katyonlar yer değiştirme özelliğine sahiptir ve yer değiştirme tepkimesi sonucu nanokil, farklı özelliklerde başka maddelere dönüşebilmektedir. Bu değişim miktarı ise 100 gramlık örnekte yer değiştirebilen katyonların mili eşdeğer miktarı olarak tanımlanır. Birimi meq/100 g'dır.

Diğer bir nanokil çeşidi olan bentonit ise yapısında % 50 den fazla montmorillonit içerip, doğada bulunabilen bir mineraldir. Aliminyum ve magnezyum açısından zengin volkanik kayaçların yıllar süren kimyasal ayrışması sonucu meydana gelmektedirler. Diğer nanokiller gibi geniş bir aktif yüzeye sahiptir. Bentonitler; Ca, Na ve Na-Ca montmorillonitlerden oluşmasına göre kimyasal özellikleri ve kullanım yerleri değişmektedir. Yüksek şişme kapasitesine sahip Na bentonit su ile temasta kendi hacminin 8-10 katı şişerken, Ca-bentonitlerde şişme oranı 2-3 katı kadar olmaktadır. Bu tür killer sodyum karbonat (Na_2CO_3) ile muamele edilerek, Na/Ca iyon yer değiştirmesi sonucunda şişme kapasitesi arttırılabilir (http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bentonit).

Killer doğada tabakalarının arasında sodyum ve kalsiyum değişebilir katyonlarıyla bulunur ve hidrofilik yani suyu seven bir yapıdadırlar. Su fazında oldukça iyi dağılım gösterirler; ancak endüstride kullanılmaları için organik fazlarda dağılan yani organofilik yapıya sahip olmaları gerekmektedir. Killerin organokillere dönüşmeleri, basit bir yer değiştirme tepkimesi sonrasında gerçekleşir. Tepkime sonrasında kilin yüzeyi organofilik özelik kazanır ve organik fazlarda dağılması sağlanmış olur (Köroğlu, 2004). Nanokil çeşidi olan klosoit ise montmorillonitin içerisindeki iyonların yer değiştirmesiyle elde edilen organik modifiye kildir. Birçok araştırmacı nanokillerin bu tür özelliklerinden faydalanalarak bitümün özelliklerini iyileştirme yoluna gitmiştir.

Erol (2016) yaptığı çalışmada nano boyutuna getirilen bentonit ile farklı organik modifiye edici katkılarla elde edilen 3 türde nanokil kullanmıştır. Bunlar nanokil-A, nanokil-B ve nanokil-C olarak adlandırılmış ve bu yeni nanomalzemelerden %2, %3.5 ve %5 oranlarında bitümle modifiye edilerek bitümdeki reolojik ve kimyasal değişimler incelenmiştir. Yapılan analizlerin sonucunda nanokille optimum %2 oranında modifiye edilen bitüm, saf bitüme göre oksidasyon ile yaşlanma, tekerlek izi, yorulma çatlağı, deformasyon ve çekmeye karşı dayanımı arttırmıştır.

2011 yılında Zhanping ve arkadaşları yaptıkları çalışmada katkı olarak nanokil çeşidi olan montmorillonite farklı iki kimyasal ekleyerek; nanokil A ve nanokil B adında yeni iki farklı katkı elde etmiş ve %2 ile %4 oranlarında bitümle modifiye etmişlerdir. Farklı oranlarda katılması sonucu bitümde meydana gelen farklılıkları gözlemlemişlerdir. Montmorillonite, %35-45 Dimetil Diyakilamine eklenerek nanokil A, %35-45 Octadesylamine ile % 0,5-5 Aminopopyl-Triethoxylane eklenerek nanokil B elde edilmiştir. Yapılan Dinamik Kesme Reometresi (DSR) testi sonucunda %2 nanokil A konulduğunda kompleks kesme modülü (G*)

%66 artmış, %4 konulduğunda ise %125 artış göstermiştir. %2 ve %4 nanokil B eklenmesiyle G* sırasıyla, %184 ve %196 artmıştır. Kompleks kesme modülündeki bu artış bize nanokil A ve B eklenmesiyle kopma uzaması azalmış ve kesme dayanımı iyileştiğini göstermektedir.

Hui ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada bitüme nanoboyutta olan dört farklı; nanomer 1,44p, karbon mikrofiber, modifiye edilememiş nanokil, polimer modifiye nanokil nanomalzemelerini eklemiş ve bitümde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Dinamik Kesme Reometresi (DSR) deneyinden elde edilen kompleks kesme modülü (G*) bulunmuş ve Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) testi ile modifiye asfalt içerisindeki nanomalzemelerin dağılımı incelenmiştir. DSR ve FTIR test sonuçlarında nanomateryaller modifiye asfaltta G* modülünü arttırmış ve dayanım performansının geliştiği gözlemlenmiştir. Polimer modifiye nanokilin eklenmesi ile yorulma çatlamasına karşı dayanım artmıştır. Ayrıca eklenen bu dört nanomalzeme ile bitümde yaşlanma ve oksidasyon etkisi geciktirilmiştir.

Luisa Gardenia ve arkadaşları 2016 yılında yaptığı çalışmasında ise bitümü, organokil (OMMT), farklı bir nanokil çeşidi olan Cloisite® 20 A (CLO) ve Strien-butadien-strien (SBS) ile modifiye etmiş ve karşılaştırmalar yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda bütün modifiye edilen bitümler, yüksek G* modülü ve düşük faz açısı elde edilmiştir. G* dmodülünün yüksek çıkması, elastisite ve tekerlek izi dayanımında gelişme olduğunu göstermektedir. SBS/nanokil ve sadece SBS modifiyeli bitümler yakın sonuçlar vermiştir. Ancak ekonomik açıdan nanokiller daha uygun olduğu için SBS'e göre tercih edilebilir sonucunu çıkarmışlardır. Ayrıca CLO yüksek sıcaklık için depolama stabilitesini iyileştirmiştir.

4.2. Nanosilika (Nano-SiO_2)

Nanosilika, esas olarak silis kaynaklarından elde edilen inorganik bir malzemedir. Genelde silikalar Sol-gel tekniği ile elde edilirler. Sol-gel metodu, düşük sıcaklıklarda çözeltideki kimyasal reaksiyonlar yoluyla inorganik bir polimer ağının sentezini içerir. Belirli koşullar altında örneğin büyüme kısıtlaması gibi sol-gel yöntemiyle silika sentezi sırasında silika çökelir (Hassan vd., 2013). Nanosilika eklenmesi; ilaç, ilaç dağıtımı ve tarım gibi alanlarda yaygın olarak uygulanmaktadır. Ulaştırma mühendisliği alanında ise bitümün özelliklerini iyileştirmek için kullanılan bir nanomalzemedir. Nano-SiO_2'nin geniş bir aktif yüzey alanı, iyi dağılma kabiliyeti ve stabilitesinin çok iyi olmasının yanı sıra, orijinal asfaltın performansını arttırdığı yapılan bazı çalışmalarla ortaya konulmuştur.

Helal vd. (2016), katkı malzemesi olarak silika tozu ve pirinç çentiğinden elde edilen iki çeşit nanosilika ve nanokili farklı oranlarda bitüm ile modifiye etmiş ve çeşitli testlerle bitüm üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre nanokil, penetrasyonu arttırmış ve yumuşama noktasını düşürmüştür. Ancak silis tozundan elde edilen nanosilika ise tam tersi etkiyi göstermiştir. 135°C'den 150°C'ye sıcaklık artışı olduğunda ise her iki nanosilika için katkı oranı arttıkça kıvam artmış, nanokil de aynı şekilde viskoziteyi arttırmıştır ancak belirli bir orandan sonra viskozitede azalma meydana gelmiştir. Son olarak, DSR sonuçlarına göre her üç katkı bitümde kalıcı deformasyona karşı daha yüksek direnç sağlayan belirgin bir iyileşme göstermiştir.

Nura vd. (2018), tarafından yapılan çalışma ise nanosilika katkı malzemesinin, polipropilen polimer modifiyeli asfalt bağlayıcıların performans özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için yapılmıştır. Bitüm içerisine %0-4 arasındaki oranlarla nanosilika eklenerek asfalt performans testleri; eğilme dört nokta kiriş yorulma testi, indirekt çekme dayanımı ve indirekt çekme rijitlik modülü testleri nanosilika parçacıklarının etkisini değerlendirmek için yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda, nanosilika malzemesinin, polipropilen polimer modifiyeli bağlayıcının yorulma dayanımını geliştirdiğini ve bu nanosilika partiküllerinin, polimer modifiyeli bağlayıcıların performans özelliklerini iyileştirmede önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca nanosilika partiküllü, bitüm modifiye edici olarak kullanıldığında termoplastik polimer polipropilenin, asfalt karışımlarının performansını ve dayanıklılığını arttırdığını da ortaya koymuştur (Balaa vd., 2018).

Nur Izzi ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada polimer modifiye bitümü (PMB), %2, %4 ve %6 oranlarda nanosilika ile modifiye etmiş ve bitümün özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Analizler, yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış nanosilika modifiyeli PMB'ler üzerinde yapılmıştır. Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), X ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu ve dinamik kayma reometresi (DSR); sırasıyla bağlayıcıların kimyasal ve mikro yapısını incelemek ve reolojik özelliklerini belirlemek için kullanmışlardır. Ayrıca modifiyeli bitümler üzerinde çok katmanlı algılayıcı sinir ağı modeli denilen farklı bir yöntemle de reolojik özelliklerini belirlemek için çalışmalar yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda yüksek oranda (%6) nanosilika ile modifiye edilen PMB'lerin viskoelastik özelliklerinin geliştiği ve yaşlanmayı geciktirdiği ortaya çıkmıştır. Yüksek sıcaklıklarda, numunenin kompleks kesme modülünde belirgin bir artışa neden olurken, düşük sıcaklıklar da ise kompleks kesme modülünü azaltmıştır. Bu durum, yorulma çatlağı ve tekerlek izi parametrelerine karşı daha yüksek direnç sağladığını göstermiştir (Yusoff vd., 2019).

4.3. Nano-Kalsiyum Karbonat (Nano-$CaCO_3$)

Kalsiyum Karbonat ($CaCO_3$); kağıt, mürekkep, plastik, elektronik, optik, seramik, metalurji, eczacılık gibi çeşitli endüstrilerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Günümüzde, termoplastiklerde kullanılan dolgu malzemelerinin %80'inden fazlası $CaCO_3$'dır. Kalsiyum Karbonatın dolgu malzemesi olarak kullanılması maliyeti önemli ölçüde azaltmakta ve çoğu durumlarda kompozit malzemenin fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Kalsiyum karbonat; kalsit, aragonit, ve vaterit gibi üç farklı susuz formda bulunmaktadır. Standard koşullarda kalsit $CaCO_3$'ün en kararlı formudur.

Nano $CaCO_3$'ın ise temel maddesi nano kalsittir. Nano kalsit yeniden kristallenme yöntemleriyle üretilmektedir. Öyle ki, doğadan çıkarılan $CaCO_3$ minerali yaklaşık 900 C° sıcaklıklarda kalsiyum oksit'e (CaO) dönüştürülür; kalsiyum oksit su ile hidratosyonu sonucu kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$) elde edilir. $Ca(OH)_2$ içerisinden karbon dioksit (CO_2) geçirilerek yeniden kristallendirme yöntemiyle $CaCO_3$ elde edilmiş olur. Hammaddeler ucuz ve kolaylıkla doğada bulunabildiği için, endüstriyel ölçekte yeniden kristallenme ile istenen özelliklerde $CaCO_3$ elde edilebilir (http://www.sanayisurasi.gov.tr/pdfs/delikli-nano-caco3-uretimi.pdf).

Daliang ve Xiaohua (2016) yaptıkları çalışmada saf bitümü önce %6 oranında polietilen (PE) ekleyerek modifiye etmiş ve üzerinde fiziksel ve reolojik özelliklerini belirlemek için çeşitli

deneyler yapmışlardır. Sonrasında ise polietilen ile modifiye ettikleri bitüm içerisine yine aynı oranda (%6) nano $CaCO_3$ ekleyerek bitümün özelliklerini tekrardan incelemişlerdir. Nano $CaCO_3$'ın eklenmesinden sonra bitümün yumuşama noktası değerinde artış meydana gelirken penetrasyonunda azalma olmuştur. Meydana gelen bu değişimlerle, PE modifiyeli bitüme ilave edilen nano $CaCO_3$ sayesinde bitümün yüksek sıcaklık stabilitesinin, düşük sıcaklıkta çatlama direncinin ve sıcaklığa karşı hassasiyetinin iyileştiği sonucuna varmışlardır (Liu ve Zhang, 2016).

Daliang ve arkadaşları (2007) bitümü, Strien-butadien-strien (SBS) ve nano $CaCO_3$ ile ayrı ayrı modifiye etmiş ve elde edilen karışım üzerinde analizler yaparak bitüm üzerindeki etkilerini karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre nano $CaCO_3$, SBS'e göre bitümün yumuşama noktası ve penetrasyon indeksini arttırmıştır. SBS eklenmesiyle bitümün depolama stabilitesinde azalma meydana gelmiş ancak eklenen nano CaCO3 ile karışımın depolama stabilitesi artmıştır (Liu ve vd, 2007).

5. Sonuçlar ve Öneriler

Literatürde, farklı oranlarda nanomalzemeler kullanılarak modifiye edilen bitümlerin reolojik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Özellikle bitümün özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanan bu çalışmalarda optimum katkı oranı genel olarak %2-%3 olarak belirlenmiştir. Ayrıca polimer katkılarıyla yapılan modifikasyon ile karşılaştırılma yapılmış ve nanomalzemelerin özelllikle nanokillerin daha üstün iyileştirme kabiliyeti olduğu ve polimerden daha ekonomik olduğu vurgulanmıştır. Yol üstyapısında kullanılan bitüm için önemli olan tekerlek izi, termal çatlama, yorulma çatlaması dayanımları ve viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası noktası gibi özelliklerin iyileştirilmesinde nanomalzemeler üstün performans göstermişlerdir.

Ülkemizde karayolu yapımında, modifiye bitümün kullanılma oranı giderek artmaktadır. Ancak katkı olarak nanomalzemelerin kullanımının yaygınlaştırılması ve özellikle kil rezervuarı yüksek olan ülkemizde nanokil elde edilerek yol üstyapı kaplamalarında katkı olarak kullanılması ile üstyapıların ilk servis süresini uzatılması özellikle ülke ekonomisi için çok büyük katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

http://www.sanayisurasi.gov.tr/pdfs/delikli-nano-caco3-uretimi.pdf . Erişim tarihi: 25.03.2019

ASMÜD, 2017. Türkiye'de son 5 yılda yapılan asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimi, http://www.asmud.org.tr/asfalt.php?sayfa=26 Son erişim tarihi: 21.08.2017.

Balaa, N., Napiaha, M., Kamaruddina, I., 2018. Effect of nanosilika particles on polypropylene polymer modified asphalt mixture performance. Case Studies in Construction Materials 8 447–454.

Lıu D.,Yao H., Bao S., 2007. Performance of nano-calcium carbonate and SBS compound modified asphalt. *Journal of Central South University(Science and Technology*) 2007-03.

EAPA, Asphalt Institute 2015. The Bitumen Industry - A Global Perspective Production, chemistry, use, specification and occupational exposure. 3 Basım. USA. ARRB Group Limited.

Ezzat, H., El-Badawy, S., Gabr, A., Zaki, E.-S.I., Breakah, T., 2016. Evaluation of asphalt binders modified with nanoclay and nanosilica, *Proc. Eng. 143 1260– 1267.*

Fang, C., Yu, R., Liu, S., Li, Y ., 2013. Nanomaterials applied in asphalt modification: a review, *J. Mater. Sci. Technol. 29, 589–594.*

Fu, H., Xie, L., Dou, D., Li, L., Yu, M., Yao, S., 2007. Storage stability and compatibility of asphalt binder modified by SBS graft copolymer, *Construction and Building Materials. 21, 1528–1533.*

Hassan, A.F., Abdelghny, A.M., Elhadidy, H., Youssef, A.M., 2013. Synthesis and characterization of high surface area nanosilika from rice husk ash by surfactant-free sol–gel method, *J. Sol-Gel. Sci. Technol. 69 (3) 465–472.*

Iskender, E., 2016. Evaluation of mechanical properties of nano-clay modified asphalt mixtures, *Measurement. 93, 359–371.*

Köroğlu, F.N. 2004. Nitrofenollerin İyonik ve İyonik Olmayan Organobentonitlerle Adsorpsiyon ve Desorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara.

Lewandowski, L., 1994. Polymer modification of paving asphalt binders, *Rubber Chemistry and Technology, 673, 447-480.*

Liu, D., Zhang, X., 2016. Study on Properties of Nano Calcium Carbonate and Polyethylene Complex Modified Asphalt. *1st International Conference on Transportation Infrastructure and Materials (ICTIM 2016)* Erişim adresi: http://dpi-proceedings.com/index.php/dtetr/article/download/5492/5112

Luísa Gardênia A.T. Farias, Janaina L. Leitinho, Bruno de C. Amoni, Juceline B.S. Bastos, Jorge B. Soares,Sandra de A. Soares, Hosiberto B. de Sant'Ana, 2016. Effects of nanoclay and nanocomposites on bitumen rheological properties, *Construction and Building Materials 125, 873-883.*

MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, Bentonit, http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bentonit. Son erişim tarihi: 14.03.2019.

R. Li, F. Xiao, S. Amirkhanian, Z. You, J. Huang, 2017. Developments of nano materials and technologies on asphalt materials – A review. *Construction and Building Materials 143 633–648.* Yusoff, N. I. Md. , Alhamali, D. I., Ibrahim, A. N. H., Rosyidi, S. A. P., Hassan, N. A., 2019. Engineering characteristics of nanosilika/polymer-modified bitumen and predicting their rheological properties using multilayer perceptron neural network model. *Construction and Building Materials 204 781–799.*

Yanga J., Tigheb S., 2013. A review of advances of Nanotechnology in asphalt mixtures. *Procedia - Social and Behavioral Sciences 96 1269 – 1276.*

Yao, H., You, Z., Liang, L., Goh, S. W., Lee, C. H., Yap Y. K., Shi, X., 2013. Rheological properties and chemical analysis of nanoclay and carbon microfiber modified asphalt with Fourier transform infrared spectroscopy, *Construction and Building Materials. 38, 327–337.*

Z. You, J. Mills-Beale, J.M. Foley, S. Roy, G.M. Odegard, Q. Dai, et al., 2011. Nanoclaymodified asphalt materials: preparation and characterization. *Constr. Build. Mater. 25 (2) 1072–1078.*

Zhu, J., Birgisson, B., Kringos N., 2014. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European Polymer Journal, 54, 18-38.*

Hız Tümseklerin Araç ve Yolcu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması

Mohammad Mahdi HOSSAINY[1], Turan ARSLAN[2]
İnşaat Mühendisliği, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye

Özet

Trafik sakinleştirme için en fazla tercih edilen yöntemlerin başında hız tümsekleri uygulaması gelmektedir. Dolayısıyla hız tümseği uygulamalarının mevcut standartlara uyumluluğu, belirlenen hız azaltma hedefine ulaştırıp ulaştırmadığı ve araç/yolcu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gibi hususların araştırılması önem taşımaktadır. Bu çalışmada uygulanan hız tümseklerinin standartlara uygunluğu ve araç/yolcu üzerinde yarattığı etkilerin konfor açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında Bursa Nilüfer bölgesinde bulunan Uludağ Üniversitesinde özellikle son yıllarda yaygın olarak kullanılan hız tümsekleri örnek alınarak, bunların Türkiye standardına (TS 6283*) uygunluğu kontrol edilecek bu tümseklerin sürücü/yolcu üzerindeki etkileri konfor açısından değerlendirilecektir. Bu çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Benzetim tekniği yoluyla tümsek ve araçların modellenerek değişik hız ve tipteki araç tiplerinde meydana gelen titreşimlerin yatay/düşey ivmeler cinsinden belirlenerek sürücü/yolcu açısından konfor seviyelerinin teorik olarak belirlenmesi (ISO 2631 standardına göre) çalışmanın ilk aşamasını oluşturmaktadır (bu ilk aşama konferansta sunulacaktır). İkinci aşaması ise arazide gözlemlenen araçların tespit edilen geçiş hızlarına göre sürücü/yolcuların hissettikleri sübjektif konfor seviyelerinin belirlenmesini içermektedir. İlk aşamada ivmelere göre belirlenecek teorik konfor değerleriyle ikinci aşamada gözleme dayalı olarak tespit edilecek sübjektif konfor değerleri arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi çalışmanın son aşamasını oluşturmaktadır. Bulunan bulgular doğrultusunda trafik sakinleştirme hedefine ulaşmada uygulanan hız tümseklerinin ne kadar etkin oldukları değerlendirilecek ve öneriler geliştirilecektir.*

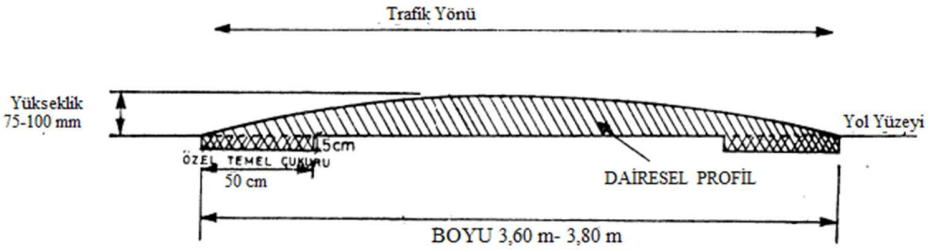
Anahtar Kelimeler**:** *Hız Tümsekleri, Trafik Sakinleştirme, Trafik Güvenliği*

[1] Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, Bursa; mahdi.hussainy@yahoo.com
[2] Doç. Dr. Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nilüfer, Bursa; arsltur@gmail.com

1. Giriş

Şehirlerin ve sivil yaşam standartlarının gelişmesi ile taşıtların yoğun biçimde kullanımı trafik yoğunluğu problemini getirmiştir. Araç kullanımı arttıkça yayalara ve motorsuz taşıtlara hizmet eden sokaklar ve yollarda trafik problemleri ortaya çıkmıştır. Özellikle kamusal sosyalleşme mekânları olarak görülen sokaklar ve yollar gün geçtikçe işlevini kaybederek yerini motorlu araç trafiğine bırakılmıştır. Dolayısıyla şehirler bu kesimlerde yayaların hem sosyal aktivitelere erişimi açısından hem de trafik güvenliği açısından büyük sorunlar ile karşı karşıya kalmıştır. Bu nedenle, gelişmiş ülkeler Türkiye dâhil olmak üzere bu sorunları önüne geçebilmek için birçok önlemler almaktadır. Bu önlemler yollarda çeşitli fiziksel değişiklikler yaparak, araçların akışını denetleyerek ve hızlarını azaltarak diğer yol kullanıcıları için daha güvenli ve kullanışlı bir ortam yaratmaktadır. Bu yöntemlerden dünyada en çok tercih edilen yöntemlerden biri hız tümsekleridir.

Hız tümsekleri, yolun platform genişliği boyunca belirli bir uzunluk, genişlik ve yükseklik fiziksel bir engel olarak yapılmaktadır. Doğal olarak sürücüler tümseklerin üzerinden geçerken maruz kaldıkları titreşim etkilerini en aza indirgemek için araçlarının hızlarını düşürürler. Böylece, taşıtların hızları düşünce hem yolun güvenliği sağlanmış olur hem de araç ve yolcuları rahatsız edici sarsılmalar ve titreşimlerden kurtulmuş olunur. Ülkemizde hız tümsekleri TS 6283 "Yol sathı hız kontrol elemanları-Tümsekler (kasisler)" şartnamesine göre tasarlanmaktadır (tipik bir hız tümseği **Şekil 1**'de gösterilmiştir).



Şekil 1:TS 6283 standardına göre hız tümsek

Watts (1973) tümseklerden farklı geçiş hızları ile ilgili bir dizi testler yapmıştır. Testler sonucunda, yerleşim bölgelerinde hız tümseğinin 10 cm yüksekliğinde ve 3,7 m genişliğinde tasarlanmasının en uygun sonuçlar vereceği ortaya çıkmıştır. Watts'ın bu araştırmasının sonucunda 1970'ten itibaren dünya çapında hız tümseğin kullanılması yaygın bir biçimde önemsenmeye başlamıştır (Antic´, Pešic, Vujanic, & Lipovac, 2013). Bununla birlikle hız tümseklerinin kullanımlarıyla ilgili değişik endişeler de ortaya çıkmıştır. Özellikle acil durum araçlarına etkileri, tümseklerin yol bakım işlemleri üzerindeki negatif etkileri ve uygun şekilde tasarlanmadıkça yarattığı gürültü kirliliği ve araç/sürücü/yolcu üzerinde titreşimlerin oluşturduğu istenmeyen sorunlar dile getirilmeye başlanmıştır. Bu nedenle araçların hızları hedeflenen değerlere düştüğünde, sürücülerin/yolcuların hissettiği rahatsızlığın kabul edilebilir seviyede olması önemlidir. Böylelikle, araçların hasar görmemesi ve yol güvenliğinin de en üst seviyede olması gibi hedefler dikkate alınmaya başlanmıştır (Adnan, Hoon, & Mohamed, 2004).

Hız tümseklerine yönelik; geometrik özellikleri, etkinliği, hızın etkisi, optimum tasarım boyutları vb. çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Özellikle bu araştırmalar 1980'li yılların ortasından başlayıp bugüne kadar devam etmektedir. Bu araştırmaların çoğu ABD, Kanada, Avrupa ülkeleri ve Avustralya gibi ülkelerde yapılmıştır (Weber & Braaksma, 2000).

Bu çalışmada TS 6283 standardında tanımlanan hız tümseklerinin profilleri farklı araç tiplerine göre farklı hızlara göre benzetim yöntemiyle analiz edilerek, tümseklerin sürücü/yolcu üzerindeki etkileri konfor açısından irdelenmiştir. İlk olarak Adams/Car benzetim yazılımında tümseklerin geometrik özelileri ilgili standarttaki gibi tanımlanmıştır. Ardından yazılımda bulunan hazır araç modellerinin özellikleri (taşıt ağırlığı, amortisör sönüm oranı ve yay katsayısı) gerçek araç özellikleri değerlerine göre değiştirilerek farklı hızlarda tümsekten geçişleri sağlanmıştır. Böylelikle geçiş sırasında yaratılan titreşimler ivme cinsinden kaydedilmiştir. Bu ivmelerin sürücü/yolcu üzerinde etkileri ISO 2631 standardında verilen RMS metoduna göre dönüştürülerek konfor seviyeleri belirlenmiştir.

2. Yöntem ve Teknik

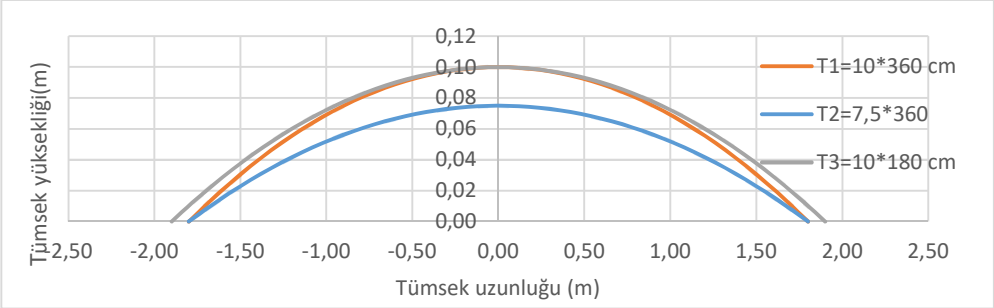
Çalışma esas olarak iki aşamalardan oluşmaktadır:

- Bilgisayar ortamında benzetim yoluyla hız tümseklerin ve gerçek taşıt modellenerek maruz kalınan titreşimlerin ivme-zamana bağlı olarak elde edilmesi (Adams/Car)
- Elde edilen titreşimlerini konfor açısından değerlendirmesi (ISO 2631)

2.1. Benzetim Tekniği

Diğer yöntemlere kıyasla benzetim tekniği kullanılarak geliştirilen modellerin daha hızlı olması, daha fazla değişken ile çalışabilme imkânı vermesi, maliyet açısından daha avantajlı olması ve yapılan hataları geriye dönüp kolaylıkla düzeltme imkânı vermesi gibi birçok avantajları vardır. Bu çalışmada da hız tümseği uygulamalarının araç/sürücü/yolcu üzerindeki etkilerini tespit etmek ve incelemek için MSC Adams/Car benzetim tekniğiyle geçekleşmiştir.

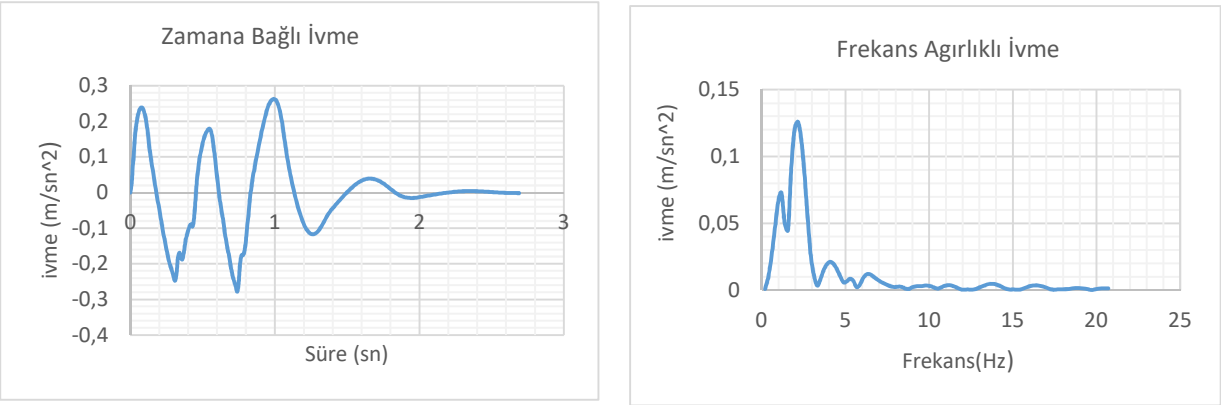
Şekil 2'de görüldüğü gibi TS 8362 standardında verilen 3 farklı parabolik profildeki hız tümsekleri ve farklı iki tip taşıt türü (otomobil ve otobüs) MSC Adams/Car programında modellenmiştir. Araçların değişik hızlarda maruz kaldıkları ivmeler elde edilerek kaydedilmiştir.



Şekil 2: TS 8362'e göre üç farklı tümseklerin boy kesitleri

2.2. Titreşimleri Konfor Açısından Değerlendirmesi

ISO 2631-1 standardına göre insan vücudunda oluşan titreşimlerin etkileri konfor seviyesi olarak değerlendirilmiştir. Standartta konfor, sayısal olarak ölçülen titreşim değerinin ağırlıklandırılmış frekans analizi ile bulunan karesel ortalama kökü (a_w) olarak ifade edilmektedir. Genel olarak düşey doğrultudaki titreşimler (a_{wz}) dikkate alınır ve hesaplanırken titreşimlerin zamana bağlı ivmeden frekans ağırlıklandırılmış ivmeye dönüştürülmesi gerekmektedir (bkz. **Şekil 3**)



Şekil 3: İvme Fourier Dönüşüm Hali

ISO 2631 standardına göre bu ivmelerin karelerinin ortalamasının karekökü (RMS) kullanılarak maruz kalınan etki konfor parametresine dönüştürülür. Araçlarda oluşan titreşimler farklı yönlerde salınım yapacağından pozitif ve negatif ivmeler oluşacaktır ve eksiler artıları götürecektir. Bu nedenle standartlarda kullanılan RMS yönteminde her bir ivme değerinin karesi alınarak toplanır ve daha sonra ortalamaların karekökü alınır:

$$a_{w.rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t)\, dt \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (1)$$

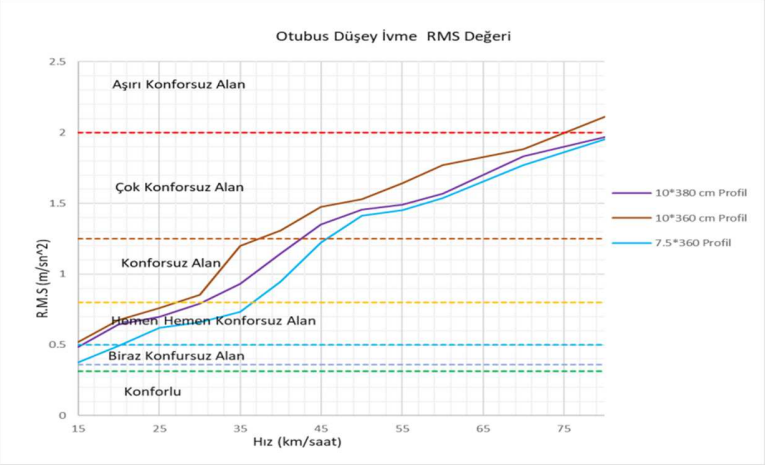
Formülde a_w zamanın (t) bir fonksiyonu olarak frekans ağırlıklı ivme değeri (m/s^2) T saniye cinsinden süreyi gösterir.

ISO 2631-1(1997) standardında. a_w bileşenin insan vücuduna iletilen titreşimin ortalamasını sayısal bir değerle ifade edilmesinde en uygun parametreleri olduğu kabul edilmektedir. Standartta, insan titreşime maruz kaldığı durumda, hissettiği titreşim miktarının oluşturduğu etkiler için **Tablo 1**'de verilen konfor seviyelerini önermiştir.

Tablo 1. ISO 2631'e göre a_{wz} değerlendirmesi için sınır değerleri

a_{wz}	Konfor seviyeleri
<0,315 m/s^2	Konforlu
0,315 - 0,36 m/s^2	Az konforlu
0,5 -1 m/s^2	Biraz konforsuz
0,8 – 1,6 m/s^2	Konforsuz
1,25 – 2,5 m/s^2	Çok konforsuz
>2 m/s^2	Aşırı konforsuz

Programda iki farklı araç tipi (otomobil ve otobüs) farklı hızlarda tümsekten geçirilerek araçların maruz kaldıkları titreşimler ivme cinsinden elde edilmiştir. Daha sonra bu ivmeler Seismo Signal yazılımı ile frekans ağırlıklı iveme değerlerine dönüştürülerek, her bir ivme için RMS'leri hesaplanmıştır (farklı profil değerleri için elde edilen RMS değerleri ve karşılık gelen konfor seviyeleri **Şekil 4**'te gösterilmiştir).



(a)

(b)

Şekil 4: Benzetim yoluyla elde edilen konfor değerleri: (a) otobüs (b) otomobil

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda Tablo 1'deki ISO 2631 verilen konfor seviyeleri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar gözlemlenebilir:

- Hız tümseğin yüksekliği taşıt konforunu çok ciddi bir şekilde etkilemektedir. Yani tümsek yüksekliği ne kadar artarsa o oranda konforsuzluğa neden olur.
- Diğer yandan tümseğin genişliği ile konfor arasında doğru ilişki görülmektedir. Yani tümsek genişliği ne kadar artarsa o ölçüde konfor artar (konforsuzluk azalır).
- TS 8362 göre yapılacak hız tümsekleri üzerinden taşıtların daha konforlu veya az konforlu seviyelerinde geçebilmesi için genelde 30 km/saat uygun görülmektedir.
- Tüm taşıtlar için konforsuzluk yaklaşık 40 km/saat hız üzerinde başlar.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada benzetim tekniği kullanılarak TS 6283 standardına göre tanımlanan hız tümseklerinin araçlar üzerindeki etkileri değişik hızlar dikkate alınarak incelenmiştir. Tümseklerden geçiş sırasında meydana gelen titreşimler ivme cinsinden belirlenerek sürücü/ yolcu üzerindeki etkileri ISO 231 standardına göre teorik konfor seviyeleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde tümseklerin sürücü/yolcu üzerindeki etkilerinin tümseğin boyutu ve araç hızına bağlı olarak değiştiği açıkca görülmektedir. Tümseğin genişliği arttığında o oranda konfor düzeyi artmakta fakat yükseklik ne kadar artarsa konfor düzeyi de o kadar azalmaktadır. Hız ise konforsuzluğu doğrudan etkilemektedir. TS 6283 standardına göre yapılan tümsekler araçların düşük hızları için (25 km/saat civarında) çok ciddi titreşimler üretmemektedir. Tüm bu etkilerin daha detaylı incelenerek faydalı sonuçların çıkarılması için çalışmanın ileriki aşamalarında yapılacaklar şu şekilde sıralanabilir:

- Uygulanmış tümseklerin gerçek boyutlarının belirlenerek standartlara uygunluklarının belirlenmesi
- Araçların gerçekte tümseklerden geçiş hızlarının tespit edilerek, bu hızlarda sürücü/yolcuların tecrübe ettikleri öznel konfor seviyelerinin tespit edilmesi
- Tespit edilen öznel konfor ile programdan elde edilen teorik konfor arasındaki istatistiksel ilişkinin (bağlılık ölçümünün) belirlenmesi

KAYNAKLAR

Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Psychol Meas*, 20(1): 37-46.

Molan, A., & Kordani, A. (2014). *Optimization of Speed Hump Profiles Based on Vehicle Dynamic Performance Modeling.* Tehran, Iran : Journal of Transportation Engineering.

Weber, P. (1998). Towards a Canadian standard for the geometric design of speed humps. *Master of Engineering Thesis, Carleton University, Department of Civil and Environmental Engineering Ottawa, Ontario, Canada*.

Ali Hassaan, G., & Abdul-Azim Mohammed, N. (2015). Vehicle Dynamics Response to Road Hump using a 10 Degrees of Freedom Full-Car Model. *International Journal of Computer Techniques - Volume 2 Issue*, 56-62.

Antic, B., Pešic, D., Vujanic, M., & Lipovac, K. (2012). The influence of speed bumps heights to the decrease of the vehicle speed – Belgrade experience. *University of Belgrade, The Faculty of Transport and TrafficEngineering,Vojvode Stepe 305,Belgrade,Serbia*.

Bilgin, E. (2018). Kent İçi Yollarda Hız Kesici Platform ve Tümsek Profillerinin Sürüş Konforu Üzerindeki Etkilerinin Arazi Testleri, Nümerik ve Analitik Modeller Vasıtasıyla Belirlenmesi. *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Gürer, M. (2006). *Hiz Tümseklerinin Taşit Titreşim Tekniği Açisindan İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

ISO 2631. (1997). Mechanical vibration and shock- Evaluation of human exposure to whole-body vibration. I. O. Standardization içinde, *ISO2631.*

Khorshid, E., & Alfares, M. (2003). A Numerical Study On The Optimal Geometric Design Of Speed Control Humps. *Taylor & Francis,*, 77-100.

Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, Vol. 22, 5-55.

Nahvi, H., Mohd Nor, M. J., Fouladi, M. H., & Abdullah, S. (July 2006). Evaluating Automobile Road Vibrations Using BS 6841 and ISO 2631 Comfort Criteria. *1st Regional Conference on Vehicle Engineering & Technology*, (s. 3-5). Kuala Lumpur, Malaysia.

Sahoo P . K. (2009). Geometric Design of Speed Control Humps in Bhubaneswar City. *International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering*.

Sözen, A. (2006). Hız Kesicilerin Trafik Yüklemesi Altındaki Dinamik Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

TS 6883-T3. (2000). *Yol sathı hız kontrol elemanları – tümsekler (kasisler), Türk Standardları.* Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.

Watts, G. R. (1973). Road humps for the control of vehicle speeds. *Transport and Road Research Laboratory Rep. no. 597, Dept. of Environment*.

Weber, P. A., & Braaksma, J. P. (2000). Towards a North American Geometric Design Standard for Speed Humps. *Institute of Transportation Engineers, ITE Journal, 30-34*.

Zaiuddin, N., Adnan, M., Md Daih, J., & Sulaiman, N. (December 3-4, 2012). The Optimization of Speed Hump Design: A Case Study in Malaysia Residential Streets. *2012 IEEE Colloquium on Humanities, Science & Engineering Research*, 368-372.

Demiryolu Sektöründe Ödenek Miktarının İstatistiksel Yöntemler Ve Yapay Zeka Teknikleri İle Tahmin Edilmesi (Oral)

Ömer Faruk CANSIZ[1], İbrahim ERGİNER[2], Aykan AYDIN[3]

[1,2,3] İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Turkiye
Emails: ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, ibrahim.erginer.mfbe18@iste.edu.tr, aykanaydin@msn.com

Özet

Ülkemiz ulaştırma politikalarında demiryolları istenilen düzeyde payını alamamaktadır. Demiryollarına ayrılan ödenekler yıldan yıla dalgalanmalar göstermektedir. Demiryollarında ödenek miktarlarının tahmin edilmesi ulaştırma politikalarının geliştirilmesi açısından önemli olmaktadır. Bu amaçla 2003-2018 yılları arasında ülkemiz demiryollarına ayrılan ödenek miktarları dikkate alınarak tahmin modelleri geliştirilmektedir. Yapılan çalışmada demiryolu hat uzunluğu, bakım ve yenileme yapılan hat uzunluğu, toplam vagon sayısı, onarılan vagon sayısı, demiryollarında toplam ihracat miktarı, demiryollarında toplam ithalat miktarı ve enflasyon oranı verileri bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır. Modelin bağımlı değişkeni olarak demiryolları yıllık ödenek miktarı verileri kullanılmaktadır. Tahmin modelleri oluşturulurken yapay zeka tekniklerinden yapay sinir ağları (YSA) ve istatistiksel metotlardan çok değişkenli lineer regresyon yöntemleri kullanılmaktadır. Oluşturulan tahmin modelleri Matlab programında analiz edilmektedir. Analiz sonucunda modeller, hataların kareleri ortalaması, yüzde hataların ortalaması ve korelasyon katsayısı kriterleri baz alınarak kıyaslanmaktadır. Yapılan kıyaslamalar sonucunda YSA modelinin regresyon modeline göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolları Ödenek Miktarı, Yapay Sinir Ağları, Çok Değişkenli Lineer Regresyon

1.Giriş

Ülkemiz ulaştırma politikalarında demiryolları istenilen düzeyde payını alamamaktadır. Demiryollarına ayrılan ödenekler yıldan yıla dalgalanmalar göstermektedir. Demiryollarında ödenek miktarlarının tahmin edilmesi ulaştırma politikalarının geliştirilmesi açısından önemli olmaktadır.

Bouabaz and Hamami (2008) gelişmekte olan ülkelerde köprülerin onarımı ve bakımı için daha doğru bir tahmin modelinin geliştirilmesine odaklanarak bir YSA modeli oluşturmaktadırlar. 40 farklı projenin verilerinden yola çıkarak oluşturdukları ve gerçek değerler ile tahmin değerleri arasında % 96 gibi bir yüksek doğruluk değerine ulaşan bu yapay sinir ağ modeli elemental ve parametrik modellere kıyasla erken aşamada maliyet tahmini gibi birtakım belirsizliklerden kaynaklanan problemleri çözmek için uygun bir model olabilmektedir.

Cansız ve Ark., (2009) bu çalışmalarında sosyal ve trafik ile ilgili değişkenler, nüfus ve motorlu taşıtlar kullanılarak motorlu taşıt kazalarında ölümcül yaralananların sayısını tahmin etmek için kazayı tahmin eden bir Yapay Sinir Ağı modeli geliştirmektedirler. Kazayı tahmin eden bir Yapay Sinir Ağı modelini oluşturmak için YSA modelinin farklı transfer fonksiyonları, farklı nöron sayısı ve farklı eğitim algoritmaları ile ayrı ayrı tasarlanması

sonucunda on dört nöronlu, Tansig transfer fonksiyonlu ve Levenberg-Marquardt Eğitim algoritmalı modelin test verilerinin en iyi uyumluluğu sağladığı görüldü. Çalışma içinde oluşturulan YSA modelinin tahminlerinin Revize Smeed Denklem (RSE) sonuçları ile karşılaştırılmasının sonuçları YSA modelinin motorlu araç kazalarında ölümleri tahmin etmede uygun bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Xin-Zheng, W., Xiao-chen, D., & Jing-yan, L. (2010) otoyol projelerinin özellikleri ile çok sayıda geçmiş tahmin malzemesinden otoyol yapım maliyetinin tahmini arasındaki ilişkiyi çıkarmak için yapay sinir ağını kullanmakta ve nöral ağ tahmin modelini oluşturmaktadır. Bu çalışma ile oluşturulan YSA modelinin sonuçları ile gerçek otoyol maliyetleri arasındaki genel hatalar %5'ten az olmaktadır. Buda modelin iyi bir genelleme yeteneğine sahip olduğunu ve otoyol projelerinin fizibilite çalışmalarında otoyol maliyetlerini tahmin edebilmede başarılı olacağını göstermektedir.

Bu çalışmada demiryolu sektöründe ödenek miktarının tahmini için yapay zeka tekniklerinden YSA ve istatistiksel metotlardan çok değişkenli lineer regresyon yöntemleri kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmektedir. Oluşturulan tahmin modelleri birbiriyle kıyaslanmakta ve modeller kendi içerisinde yorumlanmaktadır.

2.Materyal Ve Yöntem

2.1.Materyal

Yapılan çalışmada demiryolu hat uzunluğu, bakım ve yenileme yapılan hat uzunluğu, toplam vagon sayısı, onarılan vagon sayısı, demiryollarında toplam ihracat miktarı, demiryollarında toplam ithalat miktarı ve enflasyon oranı verileri bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır. Modelin bağımlı değişkeni olarak demiryolları yıllık ödenek miktarı verileri kullanılmaktadır. Modelin değişkenlerini içeren veri seti tablosu Tablo 1.'de sunulmaktadır.

Yıl	Demiryolu Hat Uzunluğu (km)	Bakım ve Yenilemesi Yapılan Hat Uzunluğu(km)	Toplam Vagon Sayısı	Vagon Onarımı (Adet)	Toplam İhracat (Demiryolu) (Bin ABD $)	Toplam İthalat (Demiryolu)(Bin ABD $)	Enflasyon Oranı	Demiryolu Sektörü Ödenek (Milyon TL)
2003	10959,00	317,00	17035,00	2649,00	394459,00	645051,00	18,36	1555,00
2004	10968,00	672,00	16997,00	2270,00	577822,00	1254518,00	9,32	2587,00
2005	10973,00	652,00	17098,00	1748,00	756935,00	1816522,00	7,72	3930,00
2006	10984,00	834,00	17313,00	2157,00	911760,00	2196112,00	9,65	3506,00
2007	10991,00	364,00	18051,00	1760,00	1081911,00	2540385,00	8,39	3061,00
2008	11005,00	482,00	18074,00	2282,00	1260202,00	2573376,00	10,06	3228,00
2009	11405,00	695,00	18597,00	2385,00	906923,00	1723345,00	6,53	4114,00
2010	11940,00	760,00	18738,00	2668,00	990802,00	2454604,00	6,40	8082,00
2011	12000,00	930,00	19162,00	2520,00	1242610,00	3185525,00	10,45	7967,00
2012	12008,00	827,00	19111,00	2505,00	1017753,00	2346113,00	6,16	12349,00
2013	12097,00	1015,00	19540,00	2200,00	956521,00	1773400,00	7,40	12886,00
2014	12485,00	1276,00	19883,00	2653,00	922776,00	1206626,00	8,17	11304,00
2015	12532,00	728,00	19754,00	1998,00	806721,00	1169581,00	8,81	12227,00
2016	12532,00	406,00	20442,00	2414,00	641121,00	1428154,00	8,53	12048,00
2017	12608,00	519,00	16838,00	1768,00	684183,00	1178057,00	11,92	12196,00
2018	12710,00	274,00	17216,00	678,00	726896,00	1237165,00	20,30	14097,00

Tablo 1. Veri Seti Tablosu

2.2.Yöntem

Yapılan bu çalışmada; oluşturulan veri seti ile demiryollarında yolcu kilometre değeri için tahmin modelleri oluşturulmaktadır. Tahmin modelleri oluşturulurken YSA ve çok değişkenli lineer regresyon tekniklerinden faydalanılmaktadır.

2.2.1.Çok Değişkenli Lineer Regresyon

Regresyon, değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden istatistiksel bir metottur. Bu metot ile bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasında ilişkiler kurulmaktadır. Çok değişkenli lineer regresyonun genel formülü Denklem 1'de verilmektedir.

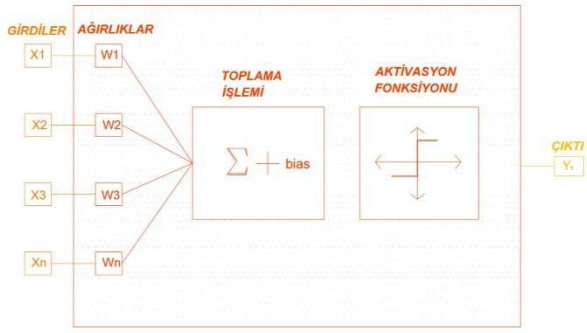
$$Y_i = (B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \cdots + B_nX_n) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Denklem 1'de 'Y' bağımlı değişkeni, 'B' regresyon katsayılarını ve 'ε' hata bileşenini ifade etmektedir.

2.2.2. YSA

YSA, matematiksel olarak çözümü zor olan problemlerin çözümü için kullanılan bir yapay zeka tekniğidir. YSA, girdilerle çıktılar arasında lineer olmayan ilişkiler kurabilme yeteneğine sahip matematiksel araçlara sahiptir. Her bir girdi değerinin farklı ağırlıklar ile bir sonraki katmandaki bütün nöronlara dağıtılması, nöronlara dağıtılan bu değerlerin toplandıktan sonra transfer fonksiyonundan geçirilerek sonra tekrar ağırlıklarla bir sonraki katmana dağıtılması verilerin çok sayıda matematiksel araçlarla ağda değerlendirildiğini göstermektedir (Erginer İ.,2018).

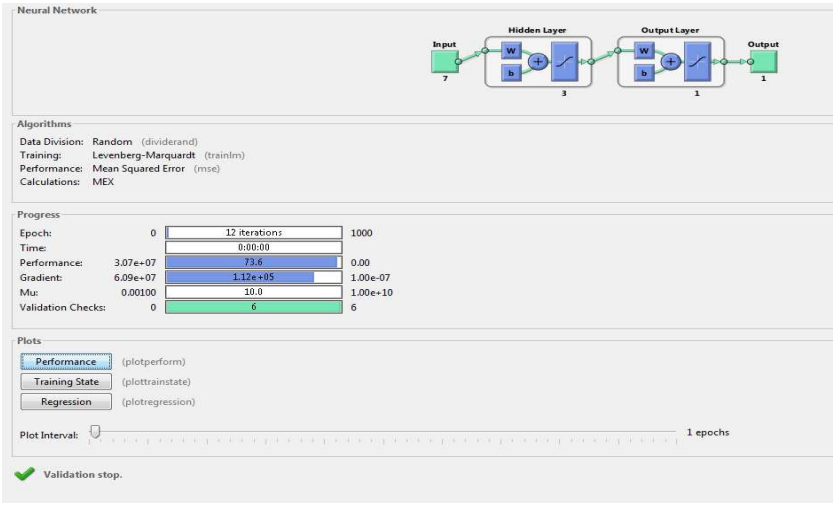
YSA yapı olarak katmanlardan oluşmaktadır ve bu katmanların her biri ise yapay nöronlardan meydana gelmektedir. Şekil 1'de YSA'nın bir nöronunun işleyiş mekanizması temsili olarak çizilmektedir.



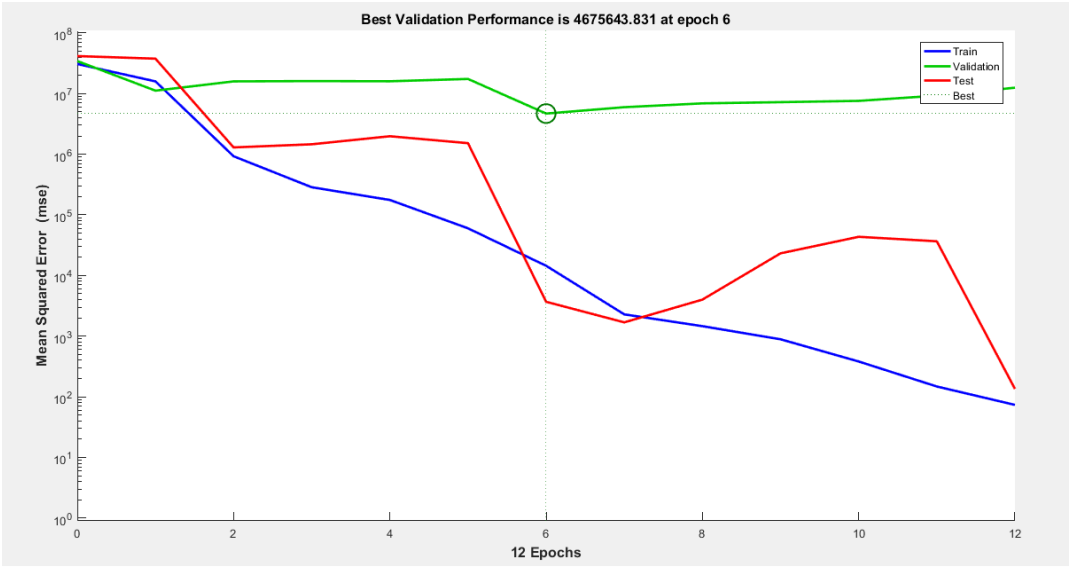
Şekil 1. YSA Nöron Yapısı

3.Bulgular

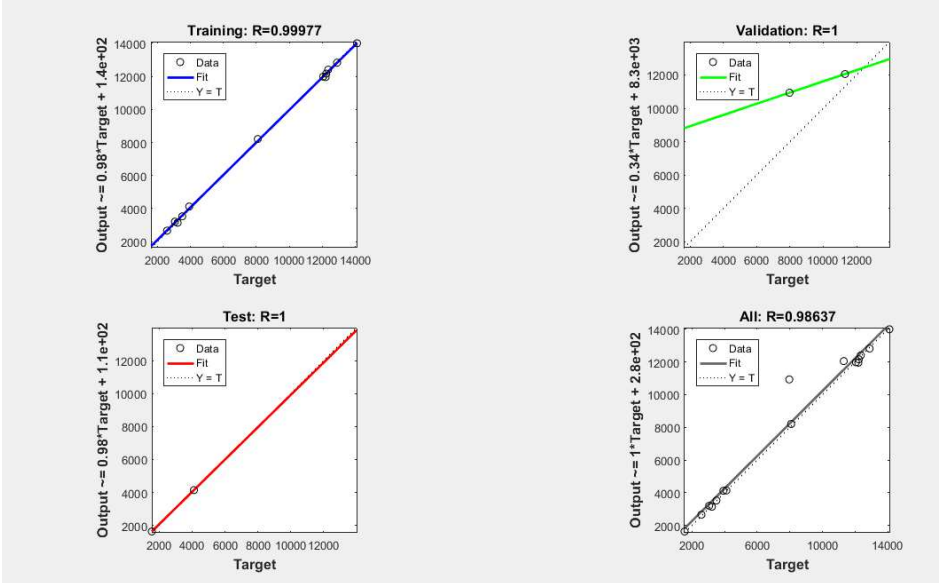
Oluşturulan veri seti kullanılarak 3000 adet YSA analizi yapılmış ve bu YSA analizleri sonucunda en iyi sonuçları veren modelin; model görünümü, eğitim grafiği ve korelasyon grafiği sırasıyla **Şekil 2**, **Şekil 3** ve **Şekil 4**'te sunulmaktadır.



Şekil 2. YSA Model Görünümü



Şekil 3. Eğitim Durumu



Şekil 4. Korelasyon Grafiği

YSA analizlerine ek olarak regresyon analizi yapılmakta ve modeller HKO, HYO ve R kriterlerine göre kıyaslanmaktadır. Regresyon ve YSA modelinin karşılaştırılması Tablo 2'de sunulmaktadır.

Model	HKO	HYO	R
YSA	595760,866	4,50	0,986
Regresyon	1293855,614	13,52	0,966

Tablo 2. Model Karşılaştırmaları

4.Sonuçlar

Demiryollarında kullanılan ödenek miktarı için oluşturulan tahmin modellerinden YSA modelinin HKO, HYO ve R değeri sırasıyla 595760,866, %4,50 ve 0,986 olarak hesaplanmaktadır.

Demiryollarında kullanılan ödenek miktarı için oluşturulan tahmin modellerinden regresyon modelinin HKO, HYO ve R değeri sırasıyla 1293855,614, %13,52 ve 0,966 olarak hesaplanmaktadır.

3000 model içerisinden en iyi sonuçları veren YSA modelinin öğrenim algoritması Levenberg-Marquardt algoritmasıdır. Ayrıca bu modelin transfer fonksiyonu Tansig fonksiyonudur.

Yapılan bu çalışmada görüldü ki; Demiryollarında ödenek miktarı tahmininde yapay zeka tekniklerinden olan YSA modeli, istatistiksel metotlardan çok değişkenli lineer regresyon modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

5.KAYNAKLAR

Bouabaz, M., & Hamami, M. (2008). A cost estimation model for repair bridges based on artificial neural network. American Journal of Applied Sciences, 5(4), 334-339.

Cansiz, O. F., Calisici, M., & Miroglu, M. M. (2009, December). Use of artificial neural network to estimate number of persons fatally injured in motor vehicle accidents. In Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Mathematics, Simulation, Modeling, Circuits, Systems and Signals (pp. 136-142). World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).

Xin-Zheng, W., Xiao-chen, D., & Jing-yan, L. (2010). Application of neural network in the cost estimation of highway engineering. J. Comput, 5(11), 1763.

ERGİNER İ., 2018 'Modifiye Bitümlü Karışımların Marshall Stabilite Değerlerinin Yapay Sinir Ağı İle Tahmini' Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye.

Demiryollarında Yolcu Kilometre Değerinin Yapay Sinir Ağları Ve Çok Değişkenli Lineer Regresyon Yöntemleri İle Tahmini (Oral)

Ömer Faruk CANSIZ[1], İbrahim ERGİNER[2], Aykan AYDIN[3]

[1,2,3] İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Turkiye
Emails: ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, ibrahim.erginer.mfbe18@iste.edu.tr, aykanaydin@msn.com

Özet

Ülkemizde her yıl demiryolu ağı artış göstermektedir. Bu artışın ulaştırma politikalarına yön vermesi açısından iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Artan demiryolu ağı mesafesine paralel olarak yolcu kilometre değeri de artmaktadır. Bu çalışmada tren cinslerine göre yolcu kilometre tahmini yapılmaktadır. Bu amaçla yapay sinir ağları (YSA) ve regresyon teknikleri kullanılarak tahmin modelleri geliştirilmektedir. Tahmin modelleri oluşturulurken, Sirkeci treni, Haydarpaşa treni, Ankara treni, Mavi tren, expres tren, normal yolcu treni, yataklı tren, uluslararası tren ve nüfus verileri bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır. Modelin bağımlı değişkeni olarak yolcu kilometre değeri kullanılmaktadır. Oluşturulan modeller Matlab programında analizlere tabi tutulmaktadır. Yapılan analizler sonucunda modeller birbirleriyle kıyaslanmaktadır. Kıyaslamalar yapılırken hataların kareleri ortalaması (HKO), yüzde hataların ortalaması (YHO) ve korelasyon katsayısı (R) kriterleri kullanılmaktadır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda YSA modelinin regresyon modeline göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir. YSA modelinin, demiryollarında yolcu kilometre değerini tahmin etmedeki başarısının kabul edilebilir düzeyde olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolları, Yolcu Kilometre, Yapay Sinir Ağları, Çok Değişkenli Lineer Regresyon

1.Giriş

Ülkemizde her yıl demiryolu ağı gelişmektedir. Bu gelişime bağlı olarak demiryollarında yolcu kilometre değeri de artış göstermektedir. Yolcu kilometre değeri ulaştırma politikalarına yön vermesi açısından önemli bir parametredir. Bu parametre karayollarında geliştirilen ulaştırma politikalarında sıkça kullanılmaktadır.

Literatürde ulaştırma politikalarıyla ilgili birçok çalışma yer almaktadır. Cansız (2007) tarafından yapılan çalışmada 1988-2005 yılları arasında enerji analizi yapılarak ulaşımda türlere göre enerji yoğunluğu değerleri belirlenmektedir. Bu değerlere göre 1970-1987 ve 2006-2020 arasındaki dönemlerdeki enerji tüketim tahminleri yapılmaktadır.

Cansız ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada kaza sayısı YSA ve regresyon modelleri ile tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Nüfus, sürücü sayısı, taşıt-km ve taşıt sayısı bağımsız değişkenleri kullanılarak oluşturulan modellerde; en iyi YSA modeli ile en iyi regresyon modeli karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma sonucunda YSA modelinin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir.

Cansız ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de karayollarında meydana gelen kazalarda oluşan yaralı sayısı için tahmin modelleri oluşturulmaktadır. Çalışmada Emniyet Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınan veriler

kullanılarak regresyon ve YSA yöntemleri ile tahmin modelleri oluşturulmaktadır. Yaralı sayısı tahmin modellerinde YSA modelleri regresyon modellerine kıyasla gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir.

Cansız ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada YSA metodu kullanarak motorlu araç kazalarında ölümcül yaralanan kişilerin sayısı tahmin edilmektedir. Yapay Sinir Ağı Tahmini Ölümcül Kaza (ANNEFA) modeli için, sosyal ve trafik ile ilgili değişkenler, nüfus ve motorlu araç kayıtları veri seti olarak kullanılmaktadır. Bu tahmin sonuçlarına göre 14 nörona, tansig transfer fonksiyonuna ve Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasına sahip olan ANNEFA modeli, en iyi sonucu vermektedir.

Demiryolları politikaları ülkemizde gelişememektedir. Karayolları politikalarında kullanılan yolcu kilometre parametresinin, demiryolu politikalarına da entegre edilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmada; demiryollarında yolcu kilometre değeri için tahmin modelleri geliştirilmektedir. Tahmin modelleri geliştirilirken yapay zeka tekniklerinden YSA ve istatistiki yöntemlerden çok değişkenli lineer regresyon teknikleri kullanılmaktadır. Oluşturulan tahmin modelleri ile gerçek değerlerin tahmini yapılmakta ve çalışmada kullanılan teknikler birbirleriyle kıyaslanmaktadır.

2.Materyal ve Yöntem

2.1.Materyal

Yapılan bu çalışmada tren cinslerine göre yolcu sayısı ve nüfus verileri kullanılarak yolcu kilometre değeri tahmini yapılmaktadır. 2000-2011 arası döneme ait veriler Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) ve Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) alınarak çalışmada kullanılmaktadır. Bu verilerle bir veri seti oluşturulmaktadır. Oluşturulan veri setinden bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlenmektedir. Sirkeci treni, Haydarpaşa treni, Ankara treni, Mavi tren, expres tren, normal yolcu treni, yataklı tren, uluslararası tren ve nüfus verileri bağımsız değişken olarak kullanılmaktadır. Yolcu kilometre değerleri ise bağımlı değişken olarak kullanılmaktadır. Oluşturulan veri seti Tablo 1'de gösterilmektedir.

Yıllar	Sirkeci Treni	Haydarpaşa Treni	Ankara Treni	Mavi Tren	Expres Tren	Normal Yolcu Treni	Yataklı Tren	Uluslararası Tren	Nüfus	Yolcu Kilometre (milyon)
2000	25193	19931	14660	1157	19928	2909	137	84	64730000	85343
2001	20345	17056	14158	1044	20338	2777	125	139	65603000	76322
2002	18825	14946	14407	906	20926	2526	142	135	66402000	5204
2003	19652	14555	15088	1158	23485	2539	160	129	67187000	5878
2004	21495	13792	15116	1221	22241	2464	124	116	68010000	5163
2005	21442	16722	14118	1255	20175	2124	114	143	68861000	5036
2006	21015	19196	13173	1516	20442	1670	122	182	69730000	5277
2007	21943	22200	12162	1489	21387	1713	158	208	70586000	5553
2008	22236	23829	9152	1377	20502	1692	144	255	71517000	5097
2009	21105	25324	10824	1389	18224	1910	133	241	72561000	5374
2010	22268	26409	11224	1024	19240	1719	139	260	73723000	5491
2011	23736	28987	6703	1102	21127	1232	127	181	74724000	5882

Tablo 1. Veri Seti Tablosu

2.2.Yöntem

Yapılan bu çalışmada; oluşturulan veri seti ile demiryollarında yolcu kilometre değeri için tahmin modelleri oluşturulmaktadır. Tahmin modelleri oluşturulurken YSA ve çok değişkenli lineer regresyon tekniklerinden faydalanılmaktadır.

2.2.1.Çok Değişkenli Lineer Regresyon

Regresyon, değişkenler arasındaki ilişkiyi ifade eden istatistiksel bir metottur. Bu metot ile bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasında ilişkiler kurulmaktadır. Çok değişkenli lineer regresyonun genel formülü Denklem 1'de verilmektedir.

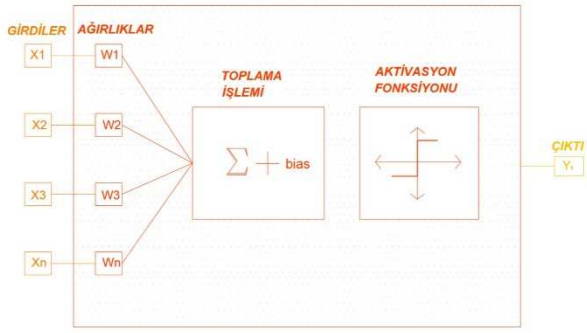
$$Y_i = (B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \cdots + B_nX_n) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Denklem 1'de 'Y' bağımlı değişkeni, 'B' regresyon katsayılarını ve 'ε' hata bileşenini ifade etmektedir.

2.2.2. YSA

YSA, matematiksel olarak çözümü zor olan problemlerin çözümü için kullanılan bir yapay zeka tekniğidir. YSA, girdilerle çıktılar arasında lineer olmayan ilişkiler kurabilme yeteneğine sahip matematiksel araçlara sahiptir. Her bir girdi değerinin farklı ağırlıklar ile bir sonraki katmandaki bütün nöronlara dağıtılması, nöronlara dağıtılan bu değerlerin toplandıktan sonra transfer fonksiyonundan geçirilerek sonra tekrar ağırlıklarla bir sonraki katmana dağıtılması verilerin çok sayıda matematiksel araçlarla ağda değerlendirildiğini göstermektedir (Erginer İ.,2018).

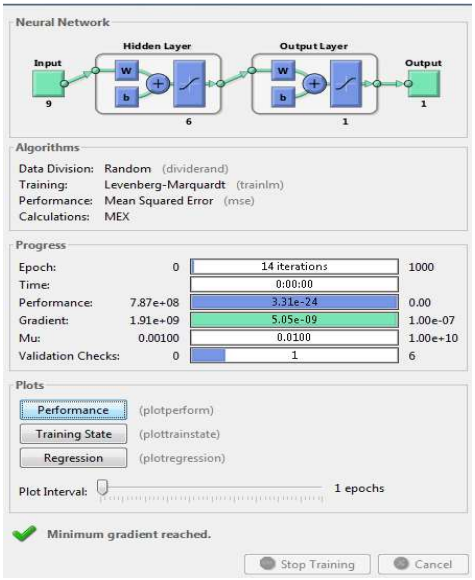
YSA yapı olarak katmanlardan oluşmaktadır ve bu katmanların her biri ise yapay nöronlardan meydana gelmektedir. Şekil 1'de YSA'nın bir nöronunun işleyiş mekanizması temsili olarak çizilmektedir.



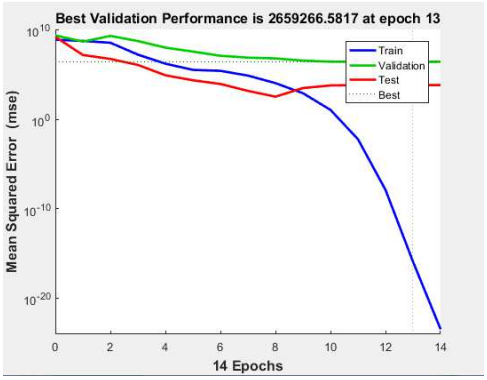
Şekil 1. YSA Nöron Yapısı

3.Bulgular

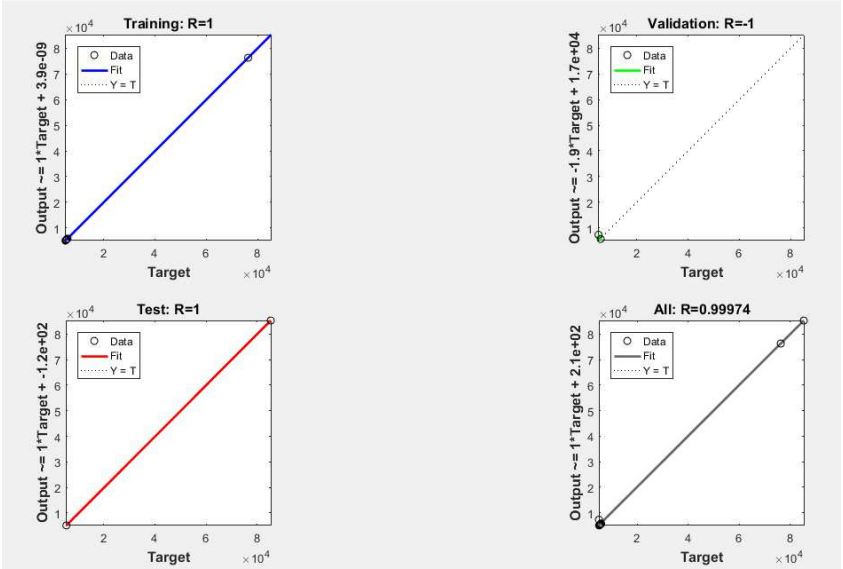
Oluşturulan veri seti kullanılarak 3000 adet YSA analizi yapılmış ve bu YSA analizleri sonucunda en iyi sonuçları veren modelin; model görünümü, eğitim grafiği ve korelasyon grafiği sırasıyla **Şekil 2**, **Şekil 3** ve **Şekil 4**'te sunulmaktadır.



Şekil 2. YSA Model Görünümü



Şekil 3. Eğitim Durumu



Şekil 4. Korelasyon Grafiği

YSA analizlerine ek olarak regresyon analizi yapılmakta ve modeller HKO, HYO ve R kriterlerine göre kıyaslanmaktadır. Regresyon ve YSA modelinin karşılaştırılması Tablo 2'de sunulmaktadır.

Model	HKO	HYO	R
YSA	444322,8	4,26	0,9997
Regresyon	4968366	26,29	0,9969

Tablo 2. Model Karşılaştırmaları

4.Sonuçlar

Demiryollarında kullanılan yolcu kilometre değeri için oluşturulan tahmin modellerinden YSA modelinin HKO, HYO ve R değeri sırasıyla 444322,8, %4,26 ve 0,9997 olarak hesaplanmaktadır.

Demiryollarında kullanılan yolcu kilometre değeri için oluşturulan tahmin modellerinden regresyon modelinin HKO, HYO ve R değeri sırasıyla 4968366, %26,29 ve 0,9969 olarak hesaplanmaktadır.

3000 model içerisinden en iyi sonuçları veren YSA modelinin öğrenim algoritması Levenberg-Marquardt algoritmasıdır. Ayrıca bu modelin transfer fonksiyonu Tansig fonksiyonudur.

Yapılan bu çalışmada görüldü ki; Demiryollarında yolcu kilometre değerinin tahmininde yapay zeka tekniklerinden olan YSA modeli, istatistiksel metotlardan çok değişkenli lineer regresyon modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

5.KAYNAKLAR

CANSIZ, Ö. F. 2007 'Enerji Politikalarının Ulaştırma Sistemlerinin Optimizasyonu İle Geliştirilmesi ve Uygulamadan Elde Edilen Getirilerin Ortaya Konması' Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

CANSIZ, Ö.F., ÇALIŞICI, M., ÜNSALAN, K., ERGİNER, İ., 2017 'Türkiye İçin Trafik Kaza Sayısı Tahmin Modellerinin Oluşturulması', 2. Uluslararası Mühendislik ve Tasarım Kongresi, sayfa:615-616.

CANSIZ, Ö.F., ÇALIŞICI, M., ÜNSALAN, K., 2017 'Türkiye Karayollarında Meydana Gelen Kazalarda Oluşan Yaralı Sayısı için Tahmin Modellerinin Oluşturulması', 2. Uluslararası Mühendislik ve Tasarım Kongresi, sayfa:498-499.

CANSIZ, Ö.F., ÇALIŞICI, M., MİROĞLU, M.M., 2009 'Use of artificial neural network to estimate number of persons fatally injured in motor vehicle accidents', World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Mathematics, Simulation, Modelling, Circuits, Systems and Signals, sayfa:136-142.

ERGİNER İ., 2018 'Modifiye Bitümlü Karışımların Marshall Stabilite Değerlerinin Yapay Sinir Ağı İle Tahmini' Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye.

Bitümün Modifiyesinde Kullanılan Katkıların İncelenmesi (Oral)

Ömer Faruk CANSIZ[1], İbrahim ERGİNER[2], Aykan AYDIN[3]

[1,2,3] İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Turkiye
Emails: ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, ibrahim.erginer.mfbe18@iste.edu.tr, aykanaydin@msn.com

Özet

Bitüm, hava şartları ve kullanıma bağlı olarak yaşlanmaya maruz kalmaktadır. Bitümde meydana gelen yaşlanma, bitümün özelliklerini kaybetmesine ve bitümle meydana getirilen esnek kaplamaların bozulmasına sebep olmaktadır. Bu bozulmanın azaltılması amacıyla bitüm modifiye edilmektedir. Bu sayede bitümün reolojik ve performans özellikleri geliştirilmeye çalışılmaktadır. Literatürde bitümün modifiyesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmada, literatürde kullanılan katkılar ve bu katkıların bitümün reolojik ve performans özelliklerine etkisi araştırılmaktadır. Bu amaçla bitüm üzerinde kullanılan katkılar zamana bağlı bir olay döngüsü şeklinde incelenmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda katkı çeşitlerine bağlı olarak çıkarımlar yapılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Modifiye Bitüm, Esnek Kaplama

1.Giriş

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de yollar esnek kaplamalardan projelendirilmektedir. Esnek kaplamaların yapımı sırasında ve sonrasında, gerek fiziksel gerek de kimyasal bazı reaksiyonlar sonucunda bitüm yaşlanmaktadır. Bitümdeki bu yaşlanma esnek kaplamanın performans özelliklerini yavaş yavaş kaybetmesine yol açmaktadır. Olumsuz hava koşulları ve kullanım şartları esnek kaplamalarda deformasyonlar meydana getirmektedir. Günümüzde esnek kaplamaların performans özelliklerini geliştirmek ve hizmet ömrü boyunca maksimum verimi almak amacıyla bitüm modifiye edilmektedir.

Kalantar ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışmada asfaltın sıcak hava şartlarında performans özelliklerini arttırmak amacıyla polimerleştirici kullanılmaktadır. Kullanılan polimerleştirici katkı asfaltı önemli ölçüde etkilememektedir. Yapılan çalışma ile katkısız asfalt ile polimerleştirici kullanılan asfaltın hemen hemen aynı özellikleri gösterdiği sonucuna varılmaktadır.

Vargas ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışmada asfaltın özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla polimerleştirici kullanılmaktadır. Yapılan çalışma ile modifiye edilmiş bitümün penetrasyon ve yumuşama noktası değerleri değerlendirilmektedir. Polimerleştirici katkının asfaltın penetrasyon derecesini düşürdüğü v yumuşama noktasını arttırdığı tespit edilmektedir.

Guarin ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmada balık yağı, bio yağ ve kolza yağı katkıları kullanılarak bitüm modifiye edilmektedir. Yapılan çalışmada katkıların bitüm

üzerindeki etkisi araştırılmakta ve balık yağının kolza yağına göre daha iyi olduğu savunulmaktadır.

Mansourkhaki ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada polimerleştirici kullanılarak bitüm modifiye edilmektedir. Polimerleştirici katkısı ile geri dönüştürülmüş binderin özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmektedir.

Anaclet ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada bitümün performans özelliklerini iyileştirmek amacıyla SiO_2 katkısı kullanılarak bitüm modifiye edilmektedir. SiO_2 katkısı ile modifiye edilmiş bitümün stabilite değerinde artış olduğu gözlemlenmektedir.

Dong ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada ulaştırma mühendisliğinde yol yapımında bio-asfalt gibi alternatif materyaller geliştirilmeye çalışılmaktadır. Kastor marketten elde edilen bio-asfaltın kimyasal karışımı element analizleri ile değerlendirilmektedir. Asfalt içerisine styrene-butadiene-styrene ve kauçuk katkısı kullanılmaktadır. Modifiye asfaltın yüksek ve düşük sıcaklıklarda performans özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmektedir.

Dong ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada styrene-butadiene-styren ve kauçuk kullanılarak asfalt modifiye edilmektedir. Çalışmada modifiye asfaltın yüksek ve düşük sıcaklıklarda performansı arttırdığı tespit edilmektedir. Ayrıca kauçuk katkısı ile atık lastiklerin kullanımının da mümkün olduğu vurgulanmaktadır.

Cao ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan çalışmada vakum yağı, kaju kabuğu yağı, mısır yağı ve atık motor yağı ile styrene-butadiene-styrene kullanılarak bitüm modifiye edilmektedir. Yapılan analizler sonucunda kaju kabuğu yağının binder tabakasında yaşlanmayı iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca vakum yağı ve atık motor yağı ile güçlü polarizasyon elde edildiği ancak bu katkıların kötü yumuşatma etkisinden endişe edildiği vurgulanmaktadır.

Yapılan bu çalışmada bitümün özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan katkılar incelenmektedir. Kullanılan katkıların bitüm özelliklerini iyileştirmedeki etkisi araştırılmaktadır.

2.Bulgular

Bitümün modifiyesi ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında bir çok farklı katkı malzemesi kullanılmaktadır. Faklı penetrasyon derecesine ve farklı kaliteye sahip bitümler üzerinde literatürde birçok modifiye bitüm meydana getirilmektedir. Kullanılan katkıların bitümü etkilemediği ve ya az etkilediği durumlar olduğu gibi, bitümün yaşlanma ve performans özelliklerini geliştiren katkıların da olduğu tespit edilmektedir.

Bitümün modifiyesinde polimerleştiriciler sıkça kullanılmaktadır. Ancak polimerleştirici katkılar dışında bazı yağlar da kullanılmaktadır. Modifiye işleminde

- Polyethylene
- Polypropylene
- Polyvinly chloride
- Styrene-butadiene-styrene (SBS)
- Styrene-isoprene block copolymer (SIS)
- Yüksek yoğunluklu polyethylene (HDPE)

- Düşük yoğunluklu polyethylene (LDPE)
- Çift modlu (bimodal) polyethylene (BMDPE)
- Balık yağı
- Kolza yağı
- SiO_2
- Etilen-vinil-asetat
- Cao
- ZnO
- MgO

katkılarının sıkça kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu katkılar bazı çalışmalarda bitüm özelliklerini geliştirirken bazı çalışmalarda ise bitüme olumlu katkısı olduğu tespit edilmemiştir.

3.Çıkarımlar Ve Öneri

Bu çalışmada bitümün modifiyesi için kullanılan katkılar incelenmektedir. Modifiyede kullanılan katkılar göz önüne alındığında aynı katkının bazı çalışmalarda bitümü iyileştirdiği görülürken, bazı çalışmalarda aynı etkiyi göstermediği sonucuna varılmıştır.

Kullanılan polimerleştirici katkıların, genel olarak bitümün özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmektedir.

Aynı katkının tüm çalışmalarda aynı sonuçları vermemesi, yapılan çalışmalarda gerekli labaratuvar şartlarının sağlanmadığı ya da yapılan deneysel çalışmalar sırasında yeterli hassasiyetle çalışılmadığına bağlı olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca katkıların kimyasal yapısının dikkate alınması bundan sonra yapılacak çalışmalara yön vermesi açısından önemli olabilecektir.

4.Kaynaklar

Kalantar, Z.N., Karim, M. R., Mahrez, A., (2012) "A Review of Using Waste and Virgin polymer in Pavement" Construction and Building Materials, 33(2012) Sayfa 55-62

Vargas, M.A., Vargas, M.A., Sanchez-Solis, A., Manero, O., "Asphalt/Polyethylene blends: Rheological Properties, Microstructure and Viscosity Modeling" Construction and Building Materials, 45(2013) Sayfa 243-250

Guarin, A., Khan, A., Butt, A.A., Birgisson, B., kringos, N., "An Extensive Laboratory Investigation of The Use of Bio-Oil Modified Bitumen in Road Construction" Construction and Building Materials, 106(2016) Sayfa 133-139

Mansourkhaki, A., Ameri, M., Daryaee, D., "Application of Different Modifiers for Improvement of Chemical Characterization and Physical-Rheological Parameters of Reclaimed Asphalt Binder" Construction and Building Materials, 203(2019) Sayfa 83-94

Anaclet, P., Depardieu, M., Laurichesse, E., Julien, V., Hung, Y., Schmitt, V., Backov, R., "Bitumen@SiO_2 Core-Shell Particles green Synthesis Towards Flowable Powdered Bitumen and Their Binder Applications" Colloids and Surfaces A 570(2019) Sayfa 531-543

Dong, Z., Yang, C., Luan, H., Zhou, T., Wang, P., "Chemical Characteristics of Bio-Asphalt and Its Rheological Properties After CR/SBS Composite Modification" Construction and Building Materials, 200(2019) Sayfa 46-54

Dong, Z., Zhou, T., Luan, H., Williams, R.C., wang, P., Leng, Z., "Composite Modification Mechanism of Blended Bio-Asphalt Combining Styrene-Butadiene-Styrene With Crumb Rubber: A Sustainable and Environmental-Friendly Solution for Wastes" Journal of Cleaner for Production, 214(2019) Sayfa 593-605

Cao, Z., Chen, M., Liu, Z., He, B., Yu, J., Xue, L., "Effect of Different Rejuvenaters on The Rheological Properties of Aged SBS Modified Bitumen in Long Term Aging" Construction and Building Materials, 215(2019) Sayfa 709-717

Yapay Sinir Ağları ile Marshall Testi Akma Değeri Tahmini

Elif KARAKAYA[1], Mustafa ÇALIŞICI[2]

[1,2]İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
Email adresleri: elifkarakaya.5@icloud.com, mustafa.calisici@iste.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada yapay sinir ağı (YSA) kapsamında Matlab programlama dilinde bitümlü sıcak karışımlarda optimum bitüm içeriğinin belirlenebilmesi için yapılan Marshall testi akma değerinin tahmin edilmesi amacıyla bir algoritma yazılması, problemin çözümünde oluşan hatanın minimuma indirilmesi için neural network toolbox (NNT) ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Hazırlanan yapay sinir ağı (YSA), programın içine gömülen viskozite, yumuşama noktası, penetrasyon ve düktilite değerlerine göre eğitilmiş ve matlaba girilen giriş sinyallerinden alınan giriş verilerini kullanarak çıkış sinyali üretilmiştir. Çalışmada geri yayılım metodu ile birlikte, aktivasyon fonksiyonu için sigmoid, ağırlık güncellemeleri için delta kuralı kullanılmıştır. Uygulama, öğrenme adımlarını başarı ile gerçekleştirerek, denenen tüm giriş verileri için başarılı sonuçlar üretmiştir. NNT ile ise geçek değere oldukça yakın tahminler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Marshall stabilite ve akma deneyi, Geri yayılımlı yapay sinir ağı, Marshall akma tahmini.

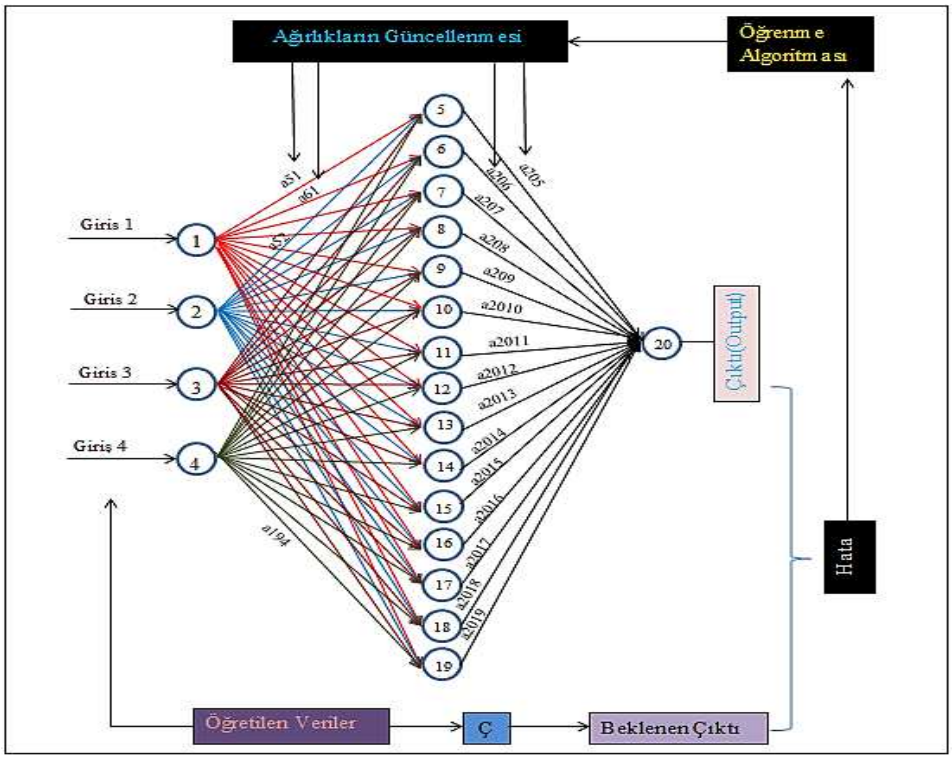
1.GİRİŞ

Marshall stabilite ve akma testi, bitümlü sıcak karışımlarda kullanılacak en uygun bitüm oranının belirlenmesi için yapılan bir deneydir (Çalışıcı M., 2009). Bu test, gradasyonu önceden belirlenmiş bir agrega karışımına farklı oranlarda bağlayıcı ilave ederek en yüksek stabiliteyi veren en uygun bağlayıcı miktarının saptanması ayrıca bitümlü karışımdaki boşluk oranlarının tespiti ve asfaltla dolu boşluk oranlarının hesaplanması için yapılan bir tür serbest basınç deneyidir. Marshall stabilite ve akma deneyi için numuneler granülometrik şartlara uygun olarak etüvde 185°C kadar ısıtılmış yaklaşık 1200 gr. agrega karışımına %4,5-5-5,5-6 oranlarında bitüm ilavesiyle hazırlanır. Hazırlanan farklı bağlayıcı yüzdesine sahip karışımlardan ısıtılmış kalıplara doldurulur. Sıkıştırma aletinde 4.5 kg. ağırlığındaki tokmak 45 cm. yükseklikten numunenin her iki yüzüne 50 veya 75'er defa (karışımın maruz kalacağı trafiğe göre) düşürülerek numuneler sıkıştırılır. Ağırlığı ve yüksekliği ölçülerek kaydedilen numuneler bir günlük bekleme sonrası 60°C'deki su banyosunda 1 saat süre ile ısıtılır ve deney cihazına yerleştirilir. Sonuçta numunelerin kırılmaya başladığı andaki yük ve deformasyon değerleri tespit edilir. Marshall stabilitesi numunenin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Kırılma sırasında numunenin çökme ya da sıkışma miktarı da ölçülür bu değer akmadır. Akma değeri asfalt betonu ile yapılmış kaplamalarda kaplamanın trafik yükleri altındaki davranışı ile ilgilidir.

Vasseghian ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan çalışmada Flotasyon Yöntemi ile elde edilen kül ve kükürt giderme verilerini modellemek için YSA kullanılmıştır. Bu sırada öğrenme algoritması Levenberg-Marquardt (LM) seçilmiştir. Yapay sinir ağı modellerinde "Tansig" ve "Purelin" de sırasıyla gizli ve çıktı katmanları için transfer fonksiyonları olarak uygulanmıştır. Ağ tahminindeki çok düşük hata, daha fazla analiz ve optimizasyon için elde edilen ağların geçerliliğini doğrulamıştır (Vasseghian, Heidari, Ahmadi , Zahedi, & Mohsenipour , 2014). ''Shafabakhsh ve arkadaşları (2015) tarafından yapılan çalışmada YSA'nın nano katkılarla modifiye edilmiş asfalt beton karışımlarının kalıcı deformasyonunu öngörmedeki uygulamasını tartışmaktadır. YSA, asfalt karışımlarının son türünü tahmin etmek için uygun mimari olarak kabul edilmiş ve öngörülen ile test verileri arasında mükemmel bir uyumluluk olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar önerilen modelin asfalt karışımlarının son türünün tahmininde uygulanabileceğini göstermiştir'' (Shafabakhsh, Ani, & Talebsafa, 2015). Mirabdolazimi ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada yapay sinir ağları ve genetik programlama tekniği kullanılarak forta lifi ile modifiye edilmiş sıcak karışım asfaltlarının derinlik tahmini yapılmıştır. Bu amaç için önerilen yapay sinir ağları modeli deneysel sonuçlarla iyi bir uyum göstermiştir. Ayrıca, bu çalışmada asfalt karışımının teker izi oluğu derinliğini tahmin etmede Burgers modeli ile genetik programlama (GP) modeli arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Genetik programlama modelinin performansı oldukça tatmin edicidir. Elde edilen sonuçlar, asfalt kaplamaların dinamik yükler altında performansını artırmak için uygun bir yaklaşım sağlamak için kullanılabilir (Mirabdolazimi & Shafabakhsh , 2017). Bu çalışmada çeşitli katkılı asfalt numunelerinin deneysel çalışma sonucu elde edilmiş viskozite, yumuşama noktası, penetrasyon ve düktilite özelliklerini dikkate alarak numuneler üzerinde normalize işlemi sonrası yapay sinir ağları ile Marshall Akma değeri tahmini yapılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Geri yayılımlı yapay sinir ağları, 2 temel aşamadan oluşur; ileri besleme ve geri yayılım. İleri besleme, ağa giriş verilerinin verildiği aşamadır. Bu aşamanın sonunda elde edilen çıkışlar hata fonksiyonuna girilir ve hatalar geriye yayılarak ağırlıklar güncellenir. Hata fonksiyonunu ve dolayısıyla toplam hatayı minimuma yaklaştırmak için gradyan iniş metodu kullanılır. Bu metot, geri yayılımlı yapay sinir ağlarında eğitim aşamasının temelini oluşturur. Türevlenebilir tek değişkenli bir fonksiyon üzerindeki bir P noktası bu fonksiyonun türevinde yerine yazıldığında elde edilecek değer, fonksiyonun eğrisine P noktasında teğet geçen doğrunun eğimidir. Bu doğrunun eğimi, fonksiyondaki artışın hızını ve yönünü belli eder. Eğime bakılarak yerel minimum noktasının ne yönde olduğu tespit edilebilir. Eğer eğim sıfırdan büyükse minimum değerin negatif yönde, sıfırdan küçükse pozitif yönde kaldığı anlaşılır. Fonksiyonun minimum değerine yaklaşıldıkça, teğetlerin eğimi azalır. Bu durumdan yararlanılarak, eğimin adım adım azaltılması suretiyle minimum değerlere yaklaşılması amaçlanır (Atasoy H., 2011).



Şekil 1. Delta Kuralı

Tablo 1. Ağırlık Değerleri

a51	**a52**	**a53**	**a54**	**a61**	**a62**	**a63**	**a64**
0.8129	0.9705	0.7260	0.3255	0.8229	0.9806	0.7279	0.3415
a71	**a72**	**a73**	**a74**	**a81**	**a82**	**a83**	**a84**
0.0963	0.8899	0.8617	0.7991	0.4469	-0,1879	0.1941	0.0725
a91	**a92**	**a93**	**a94**	**a101**	**a102**	**a103**	**a104**
-0.1572	-0.0566	-0.4325	0.0511	0.1219	-0.1192	-0.2613	-0.9015
a111	**a112**	**a113**	**a114**	**a121**	**a122**	**a123**	**a124**
-0.5426	-0.6994	-0.6971	-0.9969	-0.1662	-0.2935	-0.8552	-1.1158
a131	**a132**	**a133**	**a134**	**a141**	**a142**	**a143**	**a144**
-0.3653	-0.6142	-1.1069	-1.4995	0.1219	-0.1192	-0.2613	-0.9015
a151	**a152**	**a153**	**a154**	**a161**	**a162**	**a163**	**a164**
-0.5426	-0.6994	-0.6971	-0.9969	-0.1662	-0.2935	-0.8552	-1.1158
a171	**a172**	**a173**	**a174**	**a181**	**a182**	**a183**	**a184**
-0.3653	-0.6142	-1.1069	-1.4995	0.1219	-0.1192	-0.2613	-0.9015
a191	**a192**	**a193**	**a194**	**a205**	**a206**	**a207**	**a208**
-0.5426	-0.6994	-0.6971	-0.9969	0.1537	0.1537	0.2810	0.4401
a209	**a2010**	**a2011**	**a2012**	**a2013**	**a2014**	**a2015**	**a2016**
0.5271	0.4574	0.8754	0.5181	0.9436	0.4574	0.8754	0.5181
a2017	**a2018**	**a2019**					
0.9436	0.4574	0.8754					

2.1. Ağırlıkların Belirlenmesi ve Öğrenme Katsayısının Belirlenmesi

Öğrenme Katsayısı (η: eta) ise 0,1 olarak belirlendi.

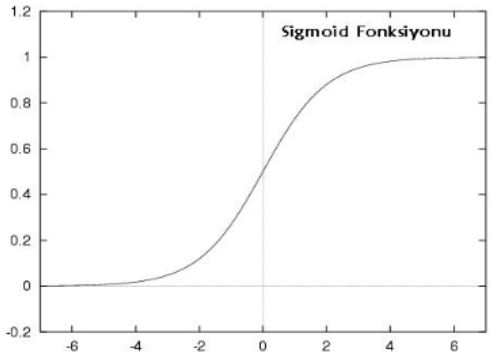
2.2.Giriş Değerlerinin ve Beklenen Çıkış Değerlerinin Girilmesi

Tablo 2. Giriş Değerleri ve Çıkış Değerleri (ÇALIŞICI, 2009)

Vizkozite(g1)	Yumuşama Noktası(g2)	Penetrasyon(g3)	Düktilite(g4)	Akma(Çıkış)
0.59256	0.86481	1	1	0.93846
0.60847	0.87407	0.96226	1	0.96410
0.61385	0.87593	0.96226	1	1
0.61619	0.87963	0.96226	1	0.97436
0.64755	0.90370	0.79245	1	0.84615
0.77229	0.93148	0.71698	0.405	0.89744
0.79569	0.93519	0.69811	0.353	0.88718
0.81137	0.94074	0.69811	0.32	0.89744
0.88158	0.96296	0.54717	0.19	0.81026
0.88603	0.96852	0.54717	0.19	0.79487

2.3. İleri Besleme

Bu aşama, sinir ağının verilerle beslenerek ağdan çıkış alındığı aşamadır. Hata tespiti ağdan çıkış alınmadan yapılamayacağından ileri besleme, sonraki adımların da bir parçasıdır. Her nöronun birden fazla girişi ve sadece bir çıkışı vardır. Giriş nöronları hariç tüm nöronların her bir girişi, önceki katmanda bulunun bir başka nöronun çıkışı ile ilişkilidir. Çıkış sinyalleri, sonraki katmanda bulunan nöronlara iletilirken arada bulunan dendtrit ağırlıkları ile çarpılır. Çarpım, sonraki nöron için bir giriş sinyali niteliğindedir. Bir nöron çıkış üretirken kendisine iletilen tüm giriş sinyallerini toplar ve bu toplamı aktivasyon fonksiyonundan geçirir (Atasoy H., 2011).



Şekil 2. Sigmoid Fonksiyonu (ŞEKER, 2008)

Aktivasyon Fonksiyonu : $\boldsymbol{f(x) = \frac{1}{1+e^{(-x)}}}$ } Sigmoid fonksiyonu (ŞEKER, 2008)

2.4. Hata Fonksiyonu

Ağdan alınan çıkışın, beklenen değere ne kadar uzak olduğunu, gradyan iniş metodu ile minimize edilebilecek bir fonksiyon yardımıyla ölçülmesi gerekir. Geri yayılım algoritmasında, beklenen değer ile çıkan değerin farkının karelerinin ortalaması, hata fonksiyonu olarak kullanılır. Hata fonksiyonunun sonucu, gradyan iniş metodu ile minimum değeri olan sıfıra yaklaştırılır. Sonuç sıfıra yaklaştıkça, çıkış değerleri de beklenen değerlere yaklaşır. Hata fonksiyonu 'E' ile tanımlanır (Atasoy H., 2011).

2.5. Ağırlıkların Güncellenmesi ve Delta Kuralı

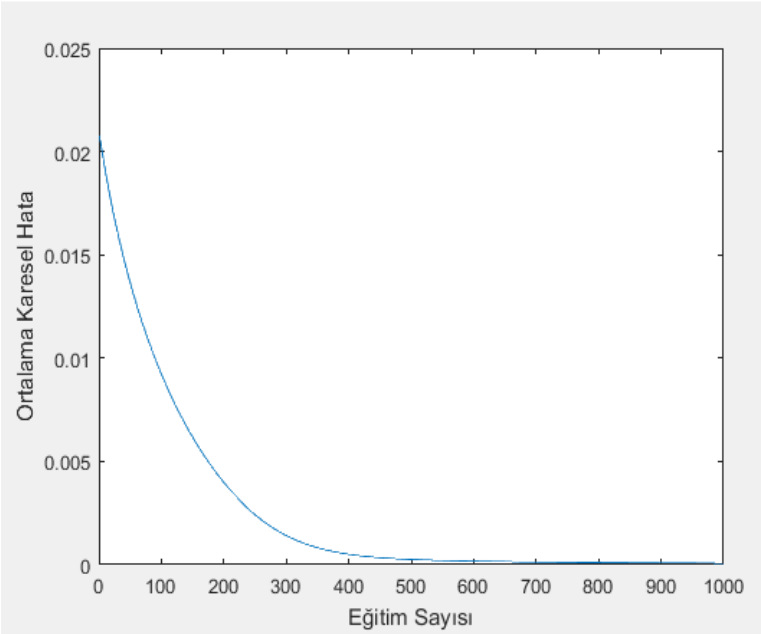
İfadede beklenen değer ile çıkış arasındaki fark δ (delta) ile gösterilir. Ara katmanlardaki nöronların deltası hesaplanırken bir sonraki katmanda bulunan her bir nöronun deltası, aradaki dendrit ağırlığı ile çarpılır ve bu çarpımlar toplanır (Atasoy h., 2011).
Momentum: Gradyan iniş metodu, yerel minimumlara rastladığında adım büyüklüğü büyük oranda azalır ve öğrenmenin yavaşlayıp durma ihtimali doğar. Buna engel olmak amacıyla ağırlıklar güncellenirken, meydana gelen değişimlere, önceki değişimlerin belli bir oranda eklenmesi sağlanarak öğrenme sürecinde momentum etkisi yaratılır ($\propto$(alfa): momentum katsayısı) (Atasoy H., 2011). $\propto$=0.2 alındı. Bütün ağırlıklar güncellendiğinde, ağ verilen giriş-çıkış için bir defa eğitilmiş olur ve çıkışlar beklenen değerlere bir miktar yaklaşır. Ancak hataların yeterince küçülmesinin sağlanması amacıyla eğitim binlerce, on binlerce defa tekrarlanır. Ara katman ve nöron sayılarına bağlı olarak ağın daha az veya daha fazla eğitilmesi gerekebilir (Atasoy H., 2011).

2.6.Eğitim Süreci

Çıkan hatayı minimize etmek için ağı bazen binlerce veya on binlerce defa daha eğitmek gerekebilir.

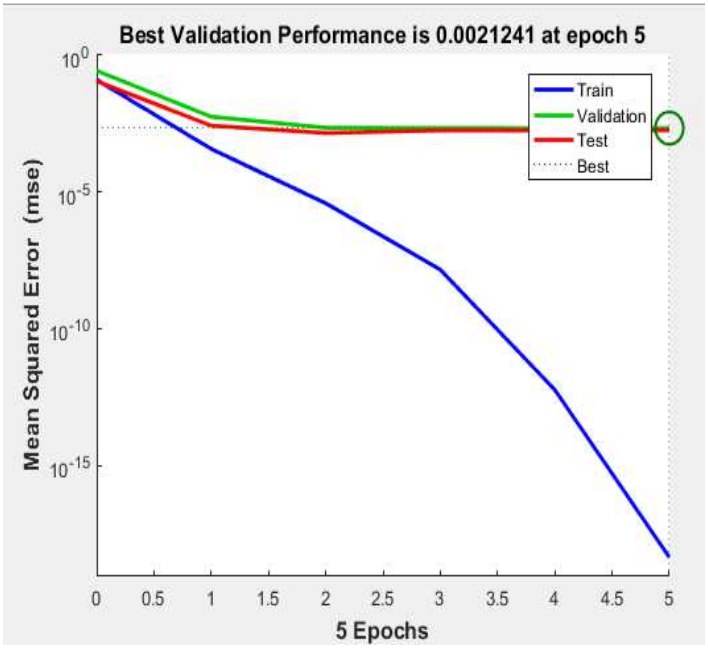
3. PERFORMANS ANALİZİ

Performansta temel hedef hatayı minimuma indirmek yani sıfıra yaklaştırmaktır. Şekil 3.'te görüldüğü gibi temel hedeflere yaklaşıldığı ve yazılan algoritmanın başarılı olduğu söylenebilir.



Şekil 3. Matlab Algoritma Sonucu Oluşan Grafik

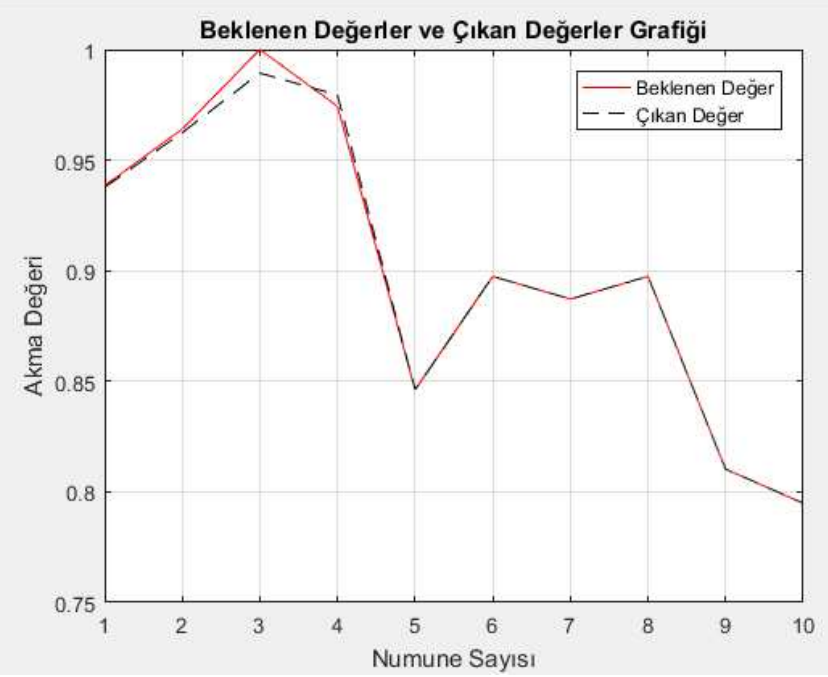
Şekil 4.'te görüldüğü gibi NNT daha az iterasyonla hatayı minimize ederek başarılı sonuç verebilmiştir.



Şekil 4. NNT-MATLAB sonucu oluşan grafik

Şekil 5. Programdan beklenilen yani önceden eğitimi yapılan çıkış verileri ve programdan alınan çıkış değerlerini göstermektedir. Grafikte de görüldüğü gibi değerler birbirine oldukça yakındır.

Şekil 5. Beklenen Değerler ve Çıkan Değerler Grafiği



Tablo 3. Normalize Edilmiş Viskozite, Yumuşama Noktası, Penetrasyon, Düktilite ve Akma Değerleri (ÇALIŞICI, 2009)

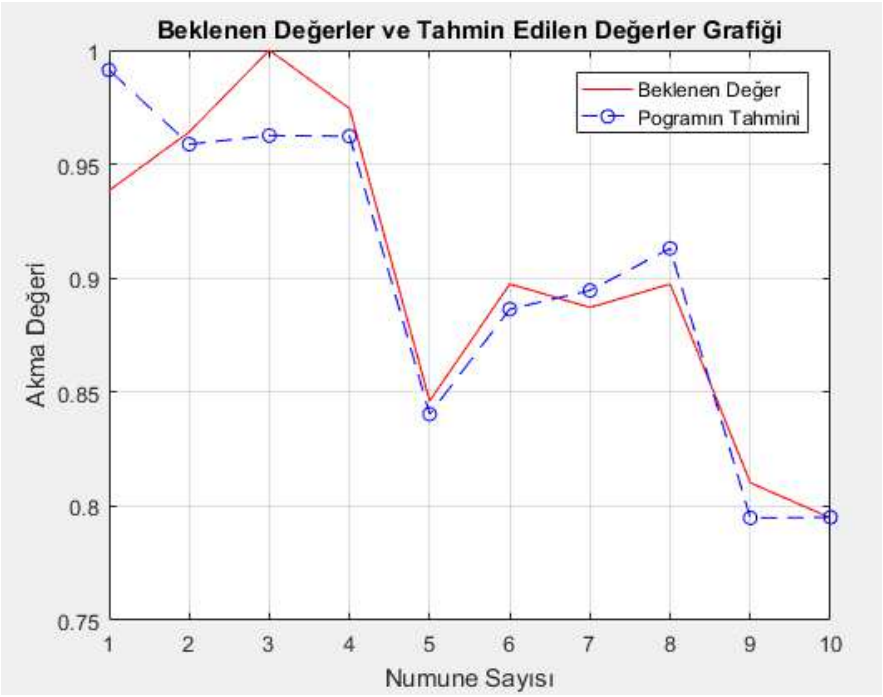
Numune	Viskozite(g1)	Yumuşama noktası(g2)	Penetrasyon(g3)	Düktilite(g4)	Akma(çıkış)
1	0,592557922	0,864814815	1	1	0,93846154
2	0,592791949	0,868518519	1	1	0,98974359
3	0,6084718	0,874074074	0,962264151	1	0,96410256
4	0,6084718	0,888888889	0,962264151	1	0,94871795
5	0,613854435	0,875925926	0,962264151	1	1
6	0,615492628	0,875925926	0,962264151	1	0,96410256
7	0,616194711	0,87962963	0,962264151	1	0,97435897
8	0,62415165	0,888888889	0,830188679	1	0,84615385
9	0,647554411	0,903703704	0,79245283	1	0,84615385
10	0,694359934	0,925925926	0,754716981	1	0,82051282
11	0,77229113	0,931481481	0,716981132	0,405	0,8974359
12	0,786332787	0,935185185	0,698113208	0,36	0,88717949
13	0,795693892	0,935185185	0,698113208	0,353	0,88717949
14	0,795693892	0,944444444	0,679245283	0,352	0,88717949
15	0,811373742	0,940740741	0,698113208	0,32	0,8974359

16	0,858179265	0,95	0,603773585	0,21	0,86153846
17	0,881582027	0,962962963	0,547169811	0,19	0,81025641
18	0,881582027	0,962962963	0,547169811	0,19	0,79487179
19	0,886028551	0,968518519	0,547169811	0,19	0,79487179
20	1	1	0,490566038	0,15	0,82051282

Şekil 6.'da görülen grafik; neural network toolbox aracılığıyla Tablo 3.'te verilen 20 değerden, 10 değerin girilip, diğer 10 değerin tahmin sonuçlarını, gerçek değerleriyle karşılaştıran grafiktir. Bu işlem yapılırken; 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20. numune değerleri ile programı eğitip, diğer değerleri yani 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19. numune değerlerini tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Gerçek değer ve tahmin sonucu oluşan değerlerin karşılaştırmasını yani değerlerin birbirine yakınlığını ve uzaklığını göstermektedir. Grafikte de görüldüğü gibi program öğrenmeyi tamamlamış ve tahminleri gerçek değere çok yakın bulmuştur.

1: beklenen: 0.938462 tahmin: 0.989950
2: beklenen: 0.964103 tahmin: 0.963065
3: beklenen: 1.000000 tahmin: 0.963673
4: beklenen: 0.974359 tahmin: 0.962350
5: beklenen: 0.846154 tahmin: 0.821872
6: beklenen: 0.897436 tahmin: 0.875224
7: beklenen: 0.887179 tahmin: 0.887487
8: beklenen: 0.897436 tahmin: 0.897066
9: beklenen: 0.810256 tahmin: 0.794872
10: beklenen: 0.794872 tahmin: 0.790162

Şekil 6. Beklenen Değerler ve Programın Tahmin Ettiği Değerler Grafiği



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapay sinir ağı kapsamında; Marshall testindeki akma değerini tahmin etmeye yönelik olan bu çalışmada ulaşılan bulgular aşağıda özetlenmiştir;

- Matlab geri yayılım metoduyla en iyi performans için eğitim sayısı 1000 olarak belirlenmiş ve yazılan algoritma sonucu başarıya ulaşmıştır.

- NNT ile karşılaştırıldığında matlab geri yayılım metoduyla 1000 deneme de bulunan sonuç NNT ile 5 denemede elde edilmiştir.

- Matlab geri yayılım metodunda programa girilen verilerle ağ eğitilip hata minimize edilmiş ve sonuçta Şekil 5 de görüldüğü gibi 10 numuneden 8'inde neredeyse aynı değeri vermiştir.

- NNT aracılığıyla Tablo 3.'te verilen 20 değerden, 10 ara değerin girilip, diğer ara 10 değerin tahmin sonuçları ise Şekil 6. da görüldüğü gibi birbirinden çok uzak değildir. En fazla açıklığın 1. numune ile 0.05 olduğunu, 3. numune ile 0.036 görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

ATASOY, H. (2011, 4 18). *Hüseyin Atasoy*. Hüseyin Atasoy web sitesi: http://huseyinatasoy.com/Geri-Yayilimli-Yapay-Sinir-Aglari adresinden alınmıştır

ÇALIŞICI, M. (2009). Bitümün Sentetik Metal ve Polimer Katkı Maddeleriyle Yaşlanma Direncinin Arttırılması. *Doktora Tezi*. Ankara: Gazi Üniversitesi.

Mirabdolazimi, S., & Shafabakhsh , G. (2017). Rutting depth prediction of hot mix asphalts modified with forta fiber using artificial neural networks and genetic programming technique. *Construction and Building Materials*, 666-674.

Shafabakhsh, G. H., Ani, O., & Talebsafa, M. (2015). Artificial neural network modeling (ANN) for predicting rutting performance of nano-modified hot-mix asphalt mixtures containing steel slag aggregates. *Construction and Building Materials*, 136-143.

Vasseghian, Y., Heidari, N., Ahmadi , M., Zahedi, G., & Mohsenipour , A. A. (2014). Simultaneous ash and sulfur removal from bitumen: Experiments and neural network modeling. *Fuel Processing Technology*, 79-85.

ŞEKER, Ş. E. (2008, 11 2). *Sigmoid Fonksiyon.* Bilgisayar Kavramları: http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2008/11/02/sigmoid-fonksiyon/ adresinden alınmıştır.

Magnezyum Temelli Metalik Katkının Asfaltın Fiziksel Özelliklerine Etkileri

Mustafa ÇALIŞICI[1], Ebru DÖNDÜ[2]

[1,2]İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
Email adresleri: mustafa.calisici@iste.edu.tr, ebrudnd@gmail.com

Özet

Bitümlü malzemeler ülkemizde ve dünyada en çok kullanılan ve en eski mühendislik malzemelerindendir. Gelişen dünya ile artan konfor ihtiyacı bitümlü malzemenin çeşitli katkılarla modifiye edilerek daha üstün özellikli bir bağlayıcı olması gerekliliğini ortaya koymuştur. Araştırmacıların oldukça yoğunlaştığı bir alan olan yolların daha uzun ömürlü olması, üzerine gelen trafik yüklerine daha dayanıklı ve çevre etkilerine daha az duyarlı olması için oldukça yoğun çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada Magnezyum temelli metalik katkının (MTMK) işlenmesi sonucu asfalt bağlayıcıya çeşitli oranlarda ilavesiyle bağlayıcının fiziksel özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve sonuçta katkının bitümün penetrasyon ve düktilitesini arttırdığı, yumuşama noktası ve kütle kaybını azalttığı belirlenmiştir. Katkının aynı zamanda bitümlü sıcak karışımın stabilite değerinde de artış yaptığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum temelli katkı, Bitüm modifikasyonu, Bitümün fiziksel özellikleri

1. Giriş

Gelişen yeni teknolojilerin izin vermesiyle taşımacılık yapılan kamyon gibi araçların yük taşıyabilme kapasitelerinin artması, dolayısıyla yol kaplamalarının taşıması gereken yükün artmış olması, bunun yanında trafik hacmindeki artışlar, çevre etkileri ve yapım esnasında yapılan hatalar kaplamanın erken bozulmasına ve servis ömrünün azalmasına neden olmaktadır (Çalışıcı, 2009). Bu şartlar altında ekonomik, güvenli ve sürüş kalitesi yüksek kaplamaların sürekliliği için yol üstyapılarının daha yüksek performanslı ve bozulmalara karşı daha dirençli olarak tasarlanması zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde yol kaplamalarında kullanılan asfalt bağlayıcı petrolün damıtılmasından elde edilen su geçirmeye karşı dayanıklı, gerektiği kadar yapışkan, birçok fazdan oluşmuş bir malzemedir. Asfalt bağlayıcılar çok karmaşık kimyasal yapıya sahiptirler, ancak her ne kadar damıtmaya maruz kaldığında kimyasal yapısında değişmeler olsa da, kimyasal karakter bakımından orijinal kaynağının yani ham petrolün özelliklerine çok yakındırlar. Yol kaplamalarında kullanılan asfalt bağlayıcının kimyasal birleşimi temel olarak hidrokarbonlar, oksijen-nitrojen ve sülfür temelli birleşiklerden

oluşmaktadır. Farklı petrol kuyularından veya aynı kuyudan farklı zamanlarda alınan bitümlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri farklılık gösterebilmektedir.

2. Asfalt Bağlayıcının Modifiye Edilme Nedenleri

Modifiye asfaltlar, normal asfalt bağlayıcıya kimyasal katkılar eklenerek, bağlayıcının kimyasal yapısının veya fiziksel ve mekanik özelliklerinin değiştirilmesi için hazırlanırlar. Asfaltların modifiye edilmesi başlıca; düşük sıcaklıklar için daha yumuşak karışımlar elde etmek ve çatlakları azaltmak, yüksek sıcaklıklar için daha sert karışımlar elde etmek ve tekerlek izinde oturmayı azaltmak, yapım sıcaklıklarında viskoziteyi düşürmek, işlenebilirliği ve sıkışmayı iyileştirmek, karışım dayanımını ve stabilitesini arttırmak, karışımın düşük ısı çatlağını azaltmak şeklinde özetlenebilir. Literatürde asfaltın modifiye edilerek çeşitli özelliklerini geliştirme konusunda bir çok çalışma mevcuttur.

Yu ve ark. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı içerikte montmorillonine (MMT) ve organomodifiye montmorillonite (OMMT) ile sıcak karışım yapılarak modifiyeli bitümler elde edilmiş ve katkının bitümlü bağlayıcının fiziksel özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. X ışını kırınımı (XRD) sonuçlarına göre MMT modifiyeli bitümler zamanla yapısal form kazanırken, OMMT modifiyeli bitümler ise katmanlarına ayrışmıştır. MMT ve OMMT katkılarının ilavesi ile bitümlerin yüksek sıcaklıkta yumuşama noktası ve viskozitesinin artmış olduğu anlaşılmıştır. MMT ve OMMT modifiyeli bitümler daha yüksek kompleks modüle sahip olurken, daha düşük faz açısına sahip olmuşlardır. Sonuç olarak MMT ve OMMT modifiyeli bitümlerin yüksek ısıda tekerlek izine daha yüksek dayanım gösterebilmelerine neden olan visko-elastik davranışı artmıştır. MMT ile kıyaslandığında OMMT'nin yumuşama noktasına ve tekerlek izi dayanımına daha iyi etkileri olduğu tespit edilmiştir. Depolama stabilitesi etkileri incelendiğinde ise, MMT veya OMMT ile modifiye edilen bitümler montmorillonite içeriği %3'ün altında olduğu sürece oldukça istikrarlı bulunmuştur (Yu JY vd., 2007).

Khodaii (2009) tarafından yapına bir çalışmada, polimer modifiyeli bitümlerin değerlendirilmesinde daha hassas metotların olması gerektiği vurgulanmış ve yapılan çalışmada orijinal ve SBS modifiyeli bitümlere dinamik sünme testi uygulanmıştır. Çalışma esnasında ayrıca iri taneli malzeme ile ince taneli malzemenin de kalıcı deformasyon potansiyeli incelenmiştir. Kalıcı deformasyona daha iyi dayanım gösteren tip gradasyona polimer ilavesiyle mekanik davranışı geliştirilmeye çalışılmıştır. Sonuçta numunelerin çekme davranışı Zhou üç aşamalı çekme modeli ile tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ince taneli karışımların kaba taneliye göre kalıcı deformasyona daha fazla duyarlı olduğu bulunmuştur (Khodaii ve Mehrara, 2009).

Çalışıcı ve ark. (2018) asfalt bağlayıcıyı çeşitli oranlarda diethylene glycol ile modifiye etmiş, sonuçta katkı maddesinin asfalt çimentosunun yaşlanmaya karşı direncini arttırdığını göstermişlerdir. Ayrıca kullanılan kakı maddesinin asfaltın Marshall stabilitesini de %11 arttırdığını tespit etmişlerdir (Çalışıcı vd., 2018).

3. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, asfalt bağlayıcı olarak bahsedilen kaplama malzemesi TS 1081 EN 12591 standardına göre Karayolları Genel Müdürlüğünün yol ağındaki bitümlü sıcak kaplamalarda en çok kullanılan 50/70 sınıfı asfalt çimentosudur. MTMK ile modifiyre edilen asfalt bağlayıcının ısı karşısındaki davranışı ve akıcılığı için orijinal ve modifiye bağlayıcılara ayrı ayrı dönel viskozite testi uygulanmıştır (ASTM D 4402; AASHTO TP 48). Ayrıca yumuşama noktası (ASTM D 36; AASHTO T-53), 15° C'de düktilite (ASTM D113; AASHTO T-51) ve penetrasyon (ASTM D5; AASHTO T-49) deneylerine tabi tutularak katkının bağlayıcının fiziksel özelliklerine etkileri incelenmiştir. Sonuçta katkının bağlayıcının performans özelliklerine etkilerinin belirlenmesi için de Marshall stabilite testi (ASTM D 6927; AASHTO T-245) yapılmıştır.

Dönel viskozite testi Brookfield DVIII Ultra model reometre kullanılarak yapılmıştır. Asfalt bağlayıcı numunesi önce 140°C'ye kadar etüvde ısıtılmış, reometrenin termoseli de önceden 150°C'ye ayarlanmıştır. Termosel 150°C olduğunda içindeki bitüm numunesi 135°C olmaktadır. Daha sonra numune termosele yerleştirilip 20 dakika ısıl kararlılığın sağlanması beklenmiş ve ardından birer dakika aralıklarla üçer ölçüm yapılıp ortalamaları alınmak suretiyle numunelerin viskoziteleri elde edilmiştir.

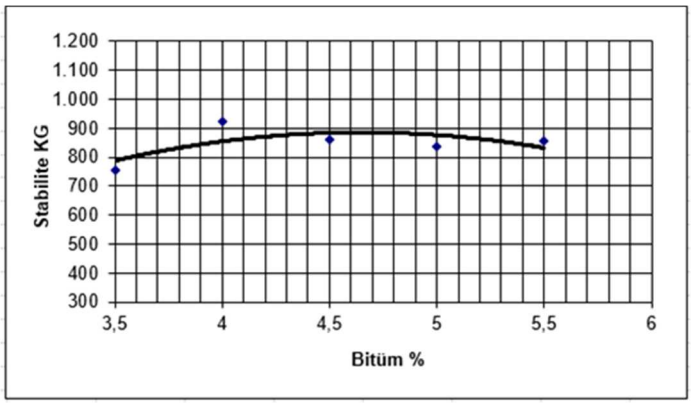
MTMK katkısı hazırlanmasında katkı bağlayıcıya çeşitli oranlarda 130°C'lik yağ banyosu ortamında, karıştırıcının 1300 devir dönüş hızı ile 15 dakikalık karıştırma süresi boyunca karıştırılmış modifiye edilmiş bitüm elde edilmiştir. Katkısız yani orijinal asfalt bağlayıcının reolojik özellikleri Tablo 1'de sunulduğu gibidir.

Tablo 1. Orijinal asfalt bağlayıcının reolojik özellikleri

Özellik	Değer	Standart
Özgül ağırlık, 25 ^{o}C (g/cm^{3})	1,02	ASTM D-70
Penetrasyon, 25 ^{o}C (dmm)	53	ASTM D-5

Viskozite, 140 ^{o}C, (Pa.s)	0,212	ASTM D-4402
Yumuşama Noktası, (^{o}C)	46,5	ASTM D-36

Marshall stabilite testi, bitümlü karışımların laboratuvar karışım tasarımında kullanılmakta olup, Marshall test aparatı kullanılarak bitümlü karışımlardan hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yaparak plastik akmaya karşı direnç ölçümünü kapsamaktadır (Çalışıcı, 2009). Bu çalışmada dizayn için Aşınma Tip 2 seçilmiş öncelikle modifiye edilmemiş bitüm kullanılarak dizayn yapılmış ve optimum bitüm oranı Şekil 1'den de anlaşıldığı gibi %4,7 olarak elde edilmiştir.



Şekil 1. Marshall sabilite testi sonucu

4. Sonuçlar ve Öneriler

MTMK katkısıyla %10 oranında modifiye edilmiş asfalt bağlayıcı numuneleri ile orjinal asfalt bağlayıcı numunerleri, penetrasyon, yumuşama noktası, dönel viskozite, düktilite ve kütle kaybı testlerine tabi tutulmuş ve sonuçlar Tablo 2'te sunulmuştur.

Tablo 2. Orijinal ve modifiye edilmiş asfalt bağlayıcının reolojik özellikleri

Bağlayıcı türü	Penetrasyon (25°C, dmm)	Yumuşama noktası (^{o}C)	Dönel viskozite (135°C, Pa.s)	Düktilite (cm, 15 ^{o}C)	Kütle Kaybı (%)
Orijinal bitüm	53	46,5	0,262	>100	0,335
MTMK modifiyeli bitüm	65	41,2	0,160	>100	0,570

Tablo 2'de görüldüğü gibi asfaltın modifiye edilmesi ile bitümün penetrasyon noktası yaklaşık %22,6'lik bir artış göstermiştir. Aynı zamanda yumuşama noktasında ise %11,3 lük bir düşüş meydana gelmiştir. Modifiye öncesi ve sonrası dönel viskozite sonuçları incelendiğinde meydana gelen kıvam değişimi neticesinde viskozite değeri ise yaklaşık %38 azalmıştır.

Düktilite testinde ise orijinal asfalt bağlayıcıdaki uzama ve MTMK ile modifiye edilmiş asfalt numunelerindeki uzamalar standartları sağlamış yani 100 cm yi geçmiştir. Benzer şekilde kütle kaybında %1 olan standart kütle kaybı değeri %10 katkılı bağlayıcı ile de sağlanmıştır.

MTMK'nın performans üzerindeki etkisini anlamak için modifiye edilmiş asfalt bağlayıcı ve orijinal asfalt bağlayıcı ile hazırlanan asfalt sıcak karışımlar Marshall stabilite testine tabi tutulmuş ve sonuçları Tablo 3'deki sunulmuştur.

Tablo 3. Orijinal ve modifiye edilmiş asfalt bağlayıcı ile yapılan Marshall testi sonuçları

Bağlayıcı türü	Marshall Stabilite değeri (Kgf)
Modifiye öncesi asfalt	862
Modifiye sonrası asfalt	908

Tablo 3 'e dikkat edilirse bağlayıcının modifiye edildikten sonra stabilitesinin %5,3 luk bir artışa sahip olduğu hesaplanabilmektedir.

Yapılan tüm deneyler ve elde edilen sonuçlar neticesinde MTMK ile modifiye edilen asfalt bağlayıcının fiziksel özelliklerinde bir takım değişimler meydana geldiği tespit edilmiş ve katkının bağlayıcının performans özelliklerini arttırdığı belirlenmiştir. %10 luk bir katkı oranı ile asfalt betonunun Marshall stabilite değerini %5,3 oranında arttırmıştır. Ayrıca penetrasyon değerinde oluşan artış, dönel viskozite testi neticesinde viskozite değerindeki düşüş ve buna rağmen stabilite artışı katkının pozitif yönleri şeklinde yorumlanabilir. Yapılan düktilite testi ile uzama kaybı yaşamayan Modifiye bağlayıcı için serin veya iklimin daha soğuk olduğu bölgelerde kullanıma elverişli olduğu söylenebilir. Ancak her ne kadar fiziksek özelliklerindeki değişimler ve Marshall stabilitesindeki artış tespit edilmiş olsa da katkının bitümün reolojik özelliklerine etkilerinin de incelenmesi gerekmekte ve çalışmalar ileriye dönük devam etmektedir.

Kaynaklar

Çalışıcı M 2009. Bitümün Sentetik Metal ve Polimer Katkı Maddeleriyle Yaşlanma Direncinin Arttırılması. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Çalışıcı M, Gürü M, Çubuk MK, Cansız ÖF 2018. Improving the aging resistance of bitumen by addition of polymer based diethylene glycol. Construction and Building Materials, Volume 169, 2018, Pages 283-288, ISSN 0950-0618.

Khodaii A, Mehrara A 2009. Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test. Construction and Building Materials, 23: 2586–2592.

Yu JY, Feng PC, Zhang HL, Wu SP 2009. Effect of organo-montmorillonite on aging properties of asphalt. Construction and Building Materials, 23: 2636–2640

İskenderun Bölgesi Endüstri Tesislerinden Ana Koridorlara Aktarılan Ağır Trafik Yüklerinin Yol Üstyapısına Etkileri

Mustafa ÇALIŞICI[1], Aydın YILMAZ[2]

[1,2]İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
Email adresleri: mustafa.calisici@iste.edu.tr, a.yilmaz.mdbf15@iste.edu.tr

Özet

Ulaştırma konseptlerinin en önemli sac ayaklarını teşkil eden denizyolu, demiryolu ve karayolu üçlemesinin aynı lokasyonda yer alması, endüstri tesislerinin varlığını karakterize eder. Gelişen sanayi bölgelerinde, hammadde ve ürün nakillerinin düzenli aktarımının sağlanması ciddi bir ulaşım ağı ile mümkündür. Türkiye özelinde, demiryolu yük taşımacılığı beklentinin gerisinde kalınca, en büyük transfer karayolu üzerinden sağlanmaktadır. Ülkemizde ulaşım kültürünün ritüelliği ve Cumhuriyet döneminden günümüze kadar devam eden demiryolu yatırımlarının sanayi tesisleri ile paralellik göstermesi, ayrıca her bölgeye coğrafik nedenlerden ötürü demiryolu ulaşımının sağlanamaması, ağır yük taşımacılığında karayolunu daha cazip bir hale getirmiştir. Ağır trafik yüklerinin karayolu ile transferi esnasında dingillerden yol kaplamasına aktardığı yükler, zamanla kaplamada bozulmalara deformasyonlara neden olmaktadır. Endüstri tesislerini birleştiren koridorlarda, ağır vasıtaların, kaplamaya verdiği olumsuz etkileri, yapının performans beklentilerini ve servis ömrü boyunca minimum onarım maliyetlerini, bir bütün olarak değerlendirmek gerekir. Hesapsal tasarımın orta ve uzun vadede kaplamaların servis ömür değişkenliği veya hedeflenenden daha erken bir zamanda takviye tabakalarının yenilenmesi istenmeyen bir durumdur. Karayolları hizmet ağı kapsamında tasarlamış kaplamalarda asfalt betonu ve sathi kaplamalar, hem atmosferik hem de dingil yüklerinin etkisinde beklenti uzağı performans sunmaları, mühendislik ekonomisi açısından, bir imalatın ilk maliyet değerini mi yoksa performans peryodunu mu kıstas almamız gerektiği hakkında bir fikir vermektedir. Öngörülemeyen kaplama kusurları, rehabilite süreçlerindeki aksamalar ve getirileri, hem seyahat konforunu ve güvenliğini hem de ekonomikliği etkiler. Bu çalışmada tesisler civarından ana koridorlara bağlanan muhtelif yerlerde kaplamalarda meydana gelmiş kusurlar incelenmiş saha gözlemleri aktarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yol Kusurları, Trafik Yükü, Ağır Vasıta, ESAL, AASHTO, Esnek Üstyapı.

1. Giriş

Ülkemiz jeopolitik ve stratejik konumundan dolayı birçok Avrupa ülkelerine kıyasla yük ve yolcu taşımacılığında önemli bir paya sahiptir. Gelişmiş ülkelerde ulaşım türlerinin oransal dağılımı ülkemize kıyasla değersel farklılıklar sunması ulaştırma politikalarının benzerlik sunmaması ile ilişkilidir.

AB-28 üye ülke içinde karayolu yük taşımacılığının payı 2005 yılında %76,4 iken 2012'de %75,1 olmuştur. Yine aynı dönemde AB-28 ülke için demiryolu %17,7'den %18,2'ye iç suyolları yük taşımacılığı %5,9'dan 2012'de %6,7'ye yükselmiştir (Karayollarında Ağır Taşıt Trafiğinin ve Yük Taşımacılığının Özellikleri ve Eğilimleri. Ocak 2016 s11-19).

Türkiye'de ulaşım sektörlerine göre yurt içi yük taşıma oranları 2014 yılı itibari ile karayolu %89,5 demiryolu %4,6 denizyolu 5,9 olmuştur. Karayolunda yük taşımacılığı KGM 2014 yılsonu itibari ile 2,155 km otoyol 31,280km devlet yolu ve 32,474 km il yolu toplamda 65,909 km uzunluğunda yol ağı ile hizmet vermektedir (Karayollarında Ağır Taşıt Trafiğinin ve Yük Taşımacılığının Özellikleri ve Eğilimleri. Ocak 2016 s11-19)

Sosyokültürel ve sosyoekonomik etkinliklerin artması ulaşım yatırımları ile paralellik göstermektedir. Yük taşımacılığına olan talebin artması veya azalması ekonomik büyüme ya da daralma ile ilintilidir. Taşıma mesafesi, taşınan ürünün cinsi ve türü, taşıyan araçların seyahat güvenliğini ve konforu bu transferin gerçekleştirildiği koridorun belirli standartlarda olmasını gerektirir. Gelişen sanayi bölgelerinde özellikle ağır sanayi ürünlerinin nakli esnasında ağır trafik yüklerinin yol kaplamasına aktardığı ESAL değerleri, kaplamada deformasyonlara ve kusurlara neden olur.

Ülkemizde son dönemlerde ağır yük taşımacılığında kamyonların yerinin kamyon+ römork+ çekicinin alması ile kaplamaya ağır trafik yüklerinin daha az tahribat vermesi beklenirken, mevcut yollarda ilk maliyet açısından beklenti uzağı performans sunması bakım ve onarım maliyetlerinin optimize edilmesi için üstyapı sistemlerinin yaygınlaştırılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Karayolu esnek üstyapıları, üzerine gelen hareketli ve sabit yükleri bünyesindeki çeşitli, tabakalardan geçirerek çok iyi yüzeysel temas halinde olduğu taban zemine ileten alttan üste doğru nitelik ve taşıyıcılık bakımından daha iyi malzemelerinden inşa edilen üstyapı tipidir (Fındık ve Saltan, 2005)

Esnek üstyapılar, asfalt betonu ve sathi kaplama olarak hem nitelik hem de imal ediliş şekillerinden dolayı birbirinden farlılıklar sunar. AASHTO-93 tasarım kriterleri baz alınarak uygun üstyapı tipi seçiminde, güzergahın zemin bilgisi, trafik değerleri, çevre etkileri ve ekonomikliği tasarımda temel kıstaslardandır.

Asfalt betonu; kaba agrega, ince agrega ve fillerin belirli bir gradasyonda optimal oranda bitüm ile karıştırılıp serimi yapıldıktan sonra ideal sıkıştırma ile oluşturulmuş kaplama türüdür.

Sathi kaplamalar, granüler malzemeden oluşturulmuş temel ve alt temel tabakası üzerine oturan, temel tabakası üzerine püskürtülen bitümlü bağlayıcıyı takiben agrega tabakasının uygulanarak sıkıştırılması sonucunda elde edilen, herhangi bir hareketli yük taşıma kapasitesi olmayan, yol yüzeyinde düzgün bir yuvarlanma yüzeyi ve yeterli kayma sürtünme katsayısı sağlayan, üstyapıyı trafik ve iklimin aşındırıcı etkilerinden koruyan, yüzeydeki suların alt tabakalara ulaşmasını engelleyecek şekilde geçirimsiz bir yüzey oluşturan bir kaplama türüdür (Gürer, 2011).

Sathi kaplama, yolun kabul edilen hizmet süresi boyunca geçecek tek yönde toplam standart dingil (8,2 ton) sayısı $2x10^6$ dan daha az olan yollarda uygulanmaktadır. Toplam standart dingil sayısı 500,000 den küçük ise tek kat, bunun üstündeki trafik değerleri için çift kat sathi kaplama yapılmalıdır (Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi, 2005)

İnşası tamamlanmış bir yol trafiğe açıldıktan sonra, zamanla trafik, iklim, çevre ve diğer etkilere maruz kaldığı için deformasyona uğrayıp seyahat konforu ve güvenliğini olumsuz yönde etkiler.

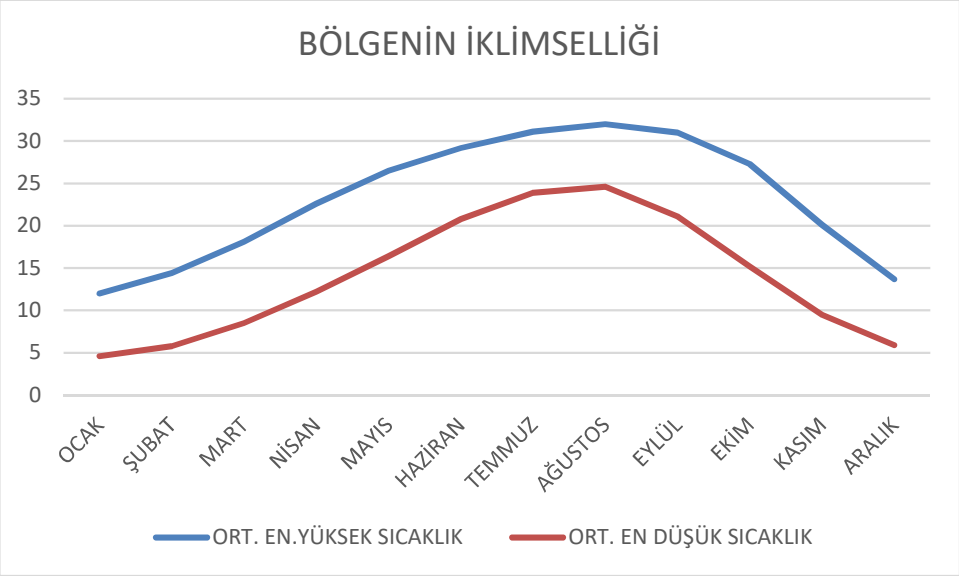
Trafik yükleri etkisi altında kalıcı deformasyon analizleri için mekanistik-ampirik bir metod Uzan (2004), tarafından geliştirilmiştir (Uzan, 2004). Esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmalarda kusma olayı Kuloğlu ve ark; (2004), tarafından deneysel olarak irdelenmiştir (Kuloğlu ve ark., 2004) Bitümlü sıcak karışımlarda kalıcı deformasyon davranışlarındaki sıcaklık etkisi Kutluhan ve Ağar (2009), tarafından araştırılmıştır (Kutluhan ve Ağar, 2009).

2. Materyal Metod

Bu çalışma bağlamında İskenderun bölgesi sanayi tesislerin belirli bir lokasyonda kümelenmesi buradan arterlere aktarılan muhtelif yerlerde yol kusurların sahadaki varlığı tespit edilmiştir. Arazi çalışması kapsamında deformasyon, çatlak ve ayrışmaların geometrisi derinliği ve sürekliliği ölçülmüştür.

2.1 Bölgenin İklimselliği ve Yolun Trafik Projeksiyonu

İskenderun Bölgesi konumu itibari ile denizel etkiye maruz kaldığı için gün içerisinde sıcaklık farklılıkları belirgin olmasa da ortalama değer üzerindeki seyri kaplamanın aşırı ısınması ve kusurlara neden olması için bir etkendir. Şekil 1'de Meteroloji Genel Müdürlüğünün bölge klimatolojik verileri baz alınarak elde edilmiş grafiksel görünüm bulunmaktadır. ASTM deformasyon tanımına göre ilksel nedeni iklim olan kaplama kusurları, boyuna, enine ve blok çatlaklar sahada tespit edilmiştir.



Şekil 1. Hatay Bölgesi İklim Verileri (www.mgm.gov.tr).

Karayolları Genel Müdürlüğünün düzenli olarak yayımladığı otoyol ve devlet yollarına ait bölge bazlı trafik hacim bilgileri 817-03 nolu yolun yıllık ortalama günlük trafik bilgileri (YOGT) Tablo-1'de gösterilmiştir. Tesisler civarında ağır tonajlı araçların sayısal olarak yığışım göstermesi bu koridorun gayet aktif olduğunu belirtmektedir. Yük etkisi ile oluşan deformasyonların bölgede özellikle teker izi oluğu, timsah sırtı çatlakları, kenar çatlakları ve oyulmalar sıklıkla gözlemlenmiştir.

Tablo-1 İskenderun Bölgesi YOGT değerleri (www.kgm.gov.tr**)**

Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri (YOGT)	Hafif Taşıt	Ağıt Taşıt	Toplam Taşıt
İskenderun	11189	4384	15573
Dörtyol	9279	5683	14962
Erzin	9021	5821	14852

2.2. Yol Kusurları ve Tanımları

Üst yapılarda bozulmalar, yolun trafiğe açıldıktan sonra ilk takviye tabakasının serimine kadarki geçen sürede kaplamadaki değişimler olarak tanımlanabilir. Genel çerçevede kaplama kusurları deformasyonlar, çatlaklar ve ayrışmalar olarak ifade edilebilir. ASTM' de tanımlı kaplama kusurları, nedenleri ve tipleri Tablo-2'te belirtilmiştir.

Tablo-2: ASTM bozulma sınıflandırılmaları (ASTM D6433-11)

No	Bozulma Türü	Ölçü Birimi	Yoğunluk Derecesi	Bozulma Nedeni
1	Kusma	Metre kare	Evet	Diğer
2	Timsah Sırtı Çatlak	Metre kare	Evet	Yük
3	Blok Çatlak	Metre kare	Evet	İklim
4	Boyuna ve Enine Çatlak	Metre	Evet	İklim
5	Teker İzi Oluğu	Metre kare	Evet	Yük
6	Kenar Çatlağı	Metre	Evet	Yük
7	Yama	Metre kare	Evet	Diğer
8	Kabarma ve Oturma	Metre	Evet	Diğer
9	Ondülasyon	Metre kare	Evet	Diğer
10	Cilalanma	Metre kare	Hayır	Diğer
11	Ayrışma	Metre kare	Evet	İklim
12	Yansıma Çatlağı	Metre	Evet	İklim
13	Oyulma	Sayı	Evet	Yük
14	Şişme	Metre kare	Evet	Diğer

2.3. 817-03 nolu Koridorda Saptanan Kusurlar

İskenderun bölgesi endüstri tesisleri civarında saptanan yol kaplama kusurları ve deformasyonları karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberindeki tanımlamalara göre trafik ve iklim etkisi göz önüne alındığında tekerrür eden bozulmalar, teker izi oluğu, timsah sırtı çatlakları, enine ve boyuna çatlaklar, kusma ve kaplanın yaşlanmasından dolayı sertleşmesi kusur tiplerindendir.

2.3.1. Teker İzi Oluğu: Ağır trafik yük etkisi ile oluşmuş ve sıklıkla gözlenen bir deformasyon olan teker izi oluğu 15mm'den az olması hafif derece 15-30 mm arasında olması halinde orta derece 30 mm 'den büyük olması durumunda yüksek derecede deforme olmuş kaplamalar yer yer orta ve yüksek derecede saptanmıştır. Şekil 2a-2b 'de teker izi oluğu saptanmıştır.

Şekil 2a-1b: Teker izi oluğu yer yer 4-6cm derinliğinde gözlenmiştir.

Muhtemel nedenleri trafik yüklerinin altında aşırı deformasyon, üstyapı tabakalarının yetersiz sıkıştırılmasından kaynaklanabilmektedir.

2.3.2. Timsah Sırtı Çatlakları: Orta ve yüksek derecede bozulmalar poligonlar halinde belirgenleşmiş lokal yerlerde kopmalar tespit edilmiştir. Muhtelif yerlerde ağır trafik yük etkisi ve farklı zamanlarda serimi yapılan tabakaların sertleşmesi, kazınma işlemi yapılmadan üzerine takviye tabakası sergisi ile geliştiği muhtemeldir. Şekil 3a-3b'de timsah sırtı çatlakları saptanmıştır.

Şekil 3a-3b. Timsah sırtı çatlaklarından görünüm.

2.3.3. Kusma: Sathi kaplamlarda yaygın görülen kusurlardan kusma nedenleri; kaplamadaki bitüm fazlalığı, yetersiz silindiraj ve sıcaklık etkisi ile bitümün viskoz özelliğinden dolayı mobil hale geçmesidir. Sıcak iklime sahip bölgelerde sıklıkla gözlendiği gibi inceleme sahasında da yaygın olarak gözlenmiştir. Şekil 4a-4b'de kaplamada kusma görünümleri mevcuttur.

Şekil 4a-4b. Kaplamadaki kusma kusurundan bir görünüm.

2.3.4. Enine ve Boyuna Çatlaklar: Yol eksenine dik ve yol eksenine paralel olan çatlak tipleri çatlak genişliği 6mm'den az olunca hafif, 6-15mm arasında ise orta derece 15mm'den büyük

ise yüksek derecede enine ve boyuna çatlak olarak tanımlanır. Şekil 5a'da yol eksenine dik boylu boyunca çatlak genişliği 2-3 cm arasında saptanmıştır. Şekil 5b'de yol eksenine paralel 1,5-2cm genişli ve 7-9m uzunlugunda çatlaklar gözlenmiştir. Şekil 5c-5d'de ise 60 cm uzunlugunda verev halde boyuna çatlaklar ardalanmalı halde saptanmıştır.

Şekil 5a. Enine çatlağa ait görünüm.

Şekil 5b. boyuna çatlağa ait görünüm.

Şekil 5c-5d. Verev yönde gelişmiş boyuna çatlaklara ait görünüm.

3. Üstyapı Sistemleri Konsepti ve Bakım Onarım

Üstyapı sistemler konsepti; planlama tasarım, yapım bakım ve onarım organizasyonlarının en geniş perspektifte bir konsensüs sunma hali olarak ifade edilebilir. Güzergah üzerindeki deformasyonun tanımı, yayılımın kısa ve orta vadede tahmini ile en optimal düzeyde rehabilitasyon ve iyileştirme yapılması, kaplamanın beklenen performansı elde etme açısından önemlidir. Sanayi bölgelerinin ana arterlere bağlandığı noktalarda ulaşımın aksatılmadan en uygun şekilde güzergahtaki kaplamada saptanmış deformasyon ve kusurların onarımı gerçekleştirilmelidir. İskenderun Bölgesinde 817-03 nolu yolda tespit edilen kaplama kusurları sıklıkları göz önüne alındığında tekrarı yaygın olan teker izi oluğu, timsah sırtı çatlakları, enine çatlaklar, kenar çatlakları için karayolları esnek üstyapılar projelendirme rehberinde tanımlı olan kaplama kusurlarının onarım kriterleri dikkate alınmış ve şu öneriler sunulmuştur.

Koridorlardaki hareketli yüklerin yoğunluğu dikkate alındığında orta ve yüksek derece deformasyonlar için kusurlu olan kısımlar trimlenerek yerine uygun malzeme ve yeterli standartlara sahip benzer dokularda yamalar yapılmalıdır. Sahada tespit edilmiş kusurların bir nedeni ise takviye tabakalarının kaldırılmadan üzerine yeniden sergi yapılmasıdır. Bu durum alt tabakanın zamanla sertleşip yaşlanması sonucunda üzerine serimi yapılan tabakaların performansını olumsuz etkilemektedir. Yük etkisi ile gelişmiş kusurlardan timsah sırtı çatlağı, teker izi oluğu ve kenar çatlakları orta ve yüksek derece olmasına bakılmaksızın yama yapılmalı ancak yapılan yamalarda tesviye seviyeleri eşitlenip aynı kot değerinde yeterli silindiraj ile yama sınırları geçirimsiz hale getirilmelidir. Yapılmış yamalarda kontak sınırlarda çöküntü hali seyahat konforunu etkilediği gibi zamanla bu deformasyonu tekrar nüksedilmesi kaçınılmazdır. Yaklaşım dolgusu olan toprakarme yapılarda kabarma şişme sebebi ile yüzeyde meydana gelen ondülasyonları, lokal oturmaları önlemek için yeterli sıkıştırma ve uygun dolgu malzemesi seçilmelidir.

4. Sonuçlar

Endüstri kuruluşlarına bağlanan koridorların belirli standartlarda dizayn edilmesi bakım onarım süreçlerinin orta ve uzun vade olarak planlanması ülke ekonomisi açısından önemlidir. Ancak ağır trafik yükleri, iklim ve çevre etkilerine maruz kalan kaplamalarda zamanla gelişen deformasyonlar seyahat konforu ve güvenliği olumsuz etkiler. İskenderun bölgesinde ağır tonajlı araçlar özellikle sağ şeritte yığışım gösterdikleri için en fazla deformasyon yine bu şeritte olmuştur. Düşey kurplarda tırmanma şeritlerinde teker izi oluğu gözlenmiş aynı kilometrelerde diğer yönde ise kayma çatlakları boyuna ve verevine çatlaklara rastlanılmıştır. Üstyapı sistemlerinin yaygınlaştırılması beraberinde kontrol denetim bakım ve onarım gibi işlemlerin rutinleştirilmesi aksatılmadan yapılması hedeflenen bir süreç olması ötesinde ülke ekonomisi için olumlu katkılar sağlayacaktır.

Kaynaklar

Karayollarında Ağır Taşıt Trafiğinin ve Yük Taşımacılığının Özellikleri ve Eğilimleri. Ocak 2016 s11-19.

Fındık S. Saltan M. (2005) Hafif Agregaların Esnek Üstyapı Alt temelinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, İMO Teknik Dergi

Gürer, C.(2011) Sathi Kaplamaların Performansına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi ve Performans Modeli Geliştirilmesi. S.D.Ü. Fen Bilimler Enstitüsü İnşaat Müh. Böl, Doktora Tezi, 378, Isparta.

Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi, 2005. Ankara.

Kırbaş, U. Karaşahin, M.(2015). Şehir içi Yollarda Üstyapı Bozulma Değerlendirmeleri ve Ülkemizde Karşılaşılan Zorluklar. 11.Ulaştırma Kongresi.

Kuloğlu N, Kök BV, Öndaş M (2004). Sathi Kaplamalarda Kusma Olayına Etki Eden Faktörler. 4.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara

Kutluhan S, Ağar E (2009). Bitümlü Sıcak KarıĢımların Kalıcı Deformasyon DavranıĢında Sıcaklığın Etkisi. 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara.

Uzan J (2004). Permanent Deformation in Flexible Pavements, Journal of Transportation Engineering, 130 (1), 6-13.

Yük Taşımacılığında Unimodal ve Multimodal Taşımacılık Türlerine Göre Rota Optimizasyonu: Hatay-İzmir Vaka Analizi (Oral)

Ömer Faruk CANSIZ[1], Kevser ÜNSALAN[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey

Emails: ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, kevser.keskin@iste.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, unimodal ve multimodal yük taşımacılığı yakıt tüketimi, maliyet, zaman ve emisyon bakımından karşılaştırılmaktadır. Güzergâhların performans indeksi değerleri hesaplanarak, dört karar değişkenine göre eşzamanlı olarak karşılaştırmalar yapılmaktadır. Bu amaçla Hatay-İzmir arasında vaka analizi çalışılmaktadır. Yük çeşidi olarak Hatay ilinde ihracat potansiyeli ve yurtiçi satışı yüksek olan filtre malzemesi dikkate alınmaktadır. Yükün taşımacılığı konteyner ile yapılmaktadır. Türkiye'de yurtiçi yük taşımacılığında mevcut altyapılar dolayısıyla, yaygın olmayan demiryolu ve denizyolu yük taşımacılığının pozitif yönleri multimodal taşımacılık ile ön plana çıkartılmaya çalışılmaktadır. Bu amaçla Hatay ve İzmir arasında üç unimodal bir multimodal taşımacılık senaryosu geliştirilmektedir. Yapılan analizler sonucu, dört karar değişkenine bağlı olan performans indeksi değerlendirildiğinde, bu iki hat için yapılacak konteyner yük taşımacılığı için %99.3-%80.4 performans indeksi aralığı ile demiryolu taşımacılık güzergâhı en uygun çıkmaktadır. En verimsiz taşımacılık ise karayolu taşımacılığıdır. Çalışma sonuçlarının gösterdiği gibi yük taşımacılığında karayolu taşımacılığı verimsiz olmasının yanı sıra trafik yoğunluğunu da olumsuz yönde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Güzergâh Optimizasyonu, Multimodal Taşımacılık, Unimodal Taşımacılık, Yük Taşımacılığı

Abstract

In this study, unimodal and multimodal freight transport are compared in terms of fuel consumption, cost, transportation time and emissions. Performance index values of the routes are calculated and comparisons are made simultaneously according to four decision variables. For this purpose, case analysis is conducted between Hatay and Izmir. In the province of Hatay, freight type is considered filter material by high export potential and high domestic sales. Freight transport is done by container. Existing infrastructure in domestic freight transportation in Turkey due to the positive aspects of non-common rail and sea freight transport, it is tried to be highlighted with multimodal transport. For this purpose, three unimodal and multimodal transportation scenarios between Hatay and Izmir are being developed. As a result of the analysis, when the performance index related to the four decision variables is evaluated, the railway transportation route is the most suitable for the container

freight transportation to be made for these two lines with the range of 99.3% to 80.4% performance index. The most inefficient transportation is road transport. As the results of the study, road transport in the transportation of freight is inefficient and also affects the traffic density negatively.

Keyword(s): Route Optimization, Multimodal Transport, Unimodal Transport, Freight Transport

1. Giriş

Gelişen teknoloji ve yeni ulaşım ağları ile birlikte ülkeler arası yolcu ve yük taşımacılığı artmaktadır. Ülkeler arası alışverişin artışı, lojistik kavramını ortaya çıkarmaktadır. Lojistik; bir ürünün çıkış noktası olan üreticiden son varış noktası olan tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen her türlü nakliye, depolama, paketleme, dağıtım gibi tüm faaliyet dizisini kapsamaktadır. Lojistik faaliyetlerin düzenlenmesinde yükün en verimli, en az maliyetli taşınması konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Böylece multimodal (çok türlü) taşımacılık kavramı gelişmektedir. Multimodal taşımacılık bir ürünün çıkış noktasından varış noktasına kadar en az iki taşımacılık modu ile taşınması olarak tanımlanmaktadır. Multimodal taşımacılığın verimliliği konusunda birçok çalışma bulunmaktadır (Şahin, 2006). Çok türlü taşımacılığın geliştirilmesi konusunda önemli unsurlar belirlenmekte ve gelişim için neler yapılabileceği ortaya konulmaktadır (Deveci, 2010).

Multimodal taşımacılıkta, farklı ulaşım türlerinin birbirleri ile entegrasyonu üzerine çalışılmaktadır. Ülkemizde üç tarafının denizlerle kaplı olması nedeniyle, denizyolu mevcut altyapıları incelenmiş ve liman hizmetlerinin hızlandırılması bakımından yer altı konteyner taşımacılığı ve katı yük boru hattı gibi yeni yaklaşımlar önerilmektedir. (Demirlioğlu, 2008). Gökkuş vd. (2017) denizyolu konteyner yük taşımacılığı için Türkiye'deki belli limanlarda konteyner trafiği tahmini yapmaktadır. Başka bir çalışmada çok modlu taşımacılık için demiryolu ağırlıklı çok modlu yük taşımacılığının olanakları araştırılmakta ve yeni denklemler elde edilmektedir (Vitoşoğlu ve Evren, 2008). Türkiye'de çok fazla tercih edilen karayolu taşımacılığı, trafik yoğunluğuna ve hava kirliliğine sebep olmaktadır. Yoğun karayolu trafiğinin yaşandığı Marmara Bölgesinde, taşımacılığın kombine taşımacılığa aktarılması hususunda incelemeler yapılmakta ve yeni deniz taşımacılığı hatları çıkartılarak, bu hatların aktarım yapacağı istasyonlar belirlenmektedir (Tanır, 2009). Yine bir başka çalışmada karayolu trafiği üzerindeki yoğunluğu azaltmak amacıyla taşımacılığın kısa mesafe deniz taşımacılığı ve kombine taşımacılığa aktarılması suretiyle yeni yaklaşımlar yapılmaktadır (Atar, 2013; Atar vd., 2013). Ülkemizde çok türlü taşımacılıkta demiryolunun yerinin araştırıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Bu hususta demiryollarının serbestleştirilmesi ile türler arası taşımacılıkta önemli iyileştirmeler olacağı ve bununda beraberinde bazı olumsuzlukları getireceği vurgulanmaktadır (Deveci ve Çavuşoğlu, 2013). Fransa'da taşımacılığın karayolu ve demiryolu bağlantısı ile intermodal taşımacılık için optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır (Fremont ve Franc, 2010). Demiryolu ve karayolu ulaşım türlerinin karşılaştırılması mali koşulların yanı sıra enerji tüketimleri bakımından da incelenmekte ve demiryolu taşımacılığının daha verimli olduğu ortaya konulmaktadır (Cansız

vd., 2008a; Cansız vd., 2008b). Türler arasında enerji verimliliği konusunda bir çok çalışma bulunmaktadır (Çubuk ve Cansız, 2005a; Cansız, 2007; Cansız vd., 2009).

Çok türlü taşımacılık için ulaşım türlerinin entegrasyon çalışmalarının yanı sıra, ne kadarlık bir mesafede efektif olduğu konusunda çalışmalarda yapılmaktadır (Fremont ve Franc, 2010). İspanya'da minimum intermodal taşımacılık mesafesini belirleyebilmek için modeller geliştirilmektedir. Analizler sonucu 500 kilometrenin altındaki taşımacılık mesafelerinde intermodal taşımacılığın mali açıdan uygun çıkmadığı belirtilmektedir (Arnold vd., 2004). Çok türlü taşımacılık için rota oluşturmada optimum mesafe bulmaya yönelik programlar geliştirilmektedir (Cansız vd., 2018a; Cansız ve Göçmen, 2018; Cansız vd., 2018c). Çok türlü taşımacılıkta rota optimizasyonu için farklı yaklaşımlar geliştirilmektedir. Bunun için farklı karar verme kriterleri belirlenmektedir (Cansız vd, 2018b). Günümüzde rota seçiminde etkili en önemli parametre maliyet olarak ön plana çıkmaktadır (Cansız ve Ünsalan, 2018).

Yük taşımacılığında rota belirlemede maliyetin yanı sıra küresel ısınmanın etkilerinin dünyada belirgin bir şekilde hissedilmesi ile beraber emisyon salınımları da hükümetlerce vurgulanmaktadır. Sera gazı emisyonunun ulaşım sektöründeki yeri üzerine çalışmalar, özellikle nüfus yoğunluğunun ve hava kirliliğinin fazla olduğu Çin'de yoğunlaşmaktadır (Zhang vd., 2018). Bunun için çalışmalar çeşitli yasal önlemlerin alınmasını gerektiğini vurgulamaktadır (Yang ve Chen, 2017; Kishimoto vd, 2017). Yük taşımacılığında emisyonun etkilerinin rota ve yük tonajına bağlı olarak değişimleri de ulaşım alanında çalışılan emisyon konularındandır (Palander, 2017).

2. Materyal ve Metod

2.1. Yakıt Tüketimi

Bu çalışmada rota seçiminde güzergâh karar değişkenlerinden ilki yakıt tüketimi olarak belirlenmektedir. Dünya'da yenilenemez enerji kaynaklarının her geçen gün azalmasına bağlı olarak tasarrufa gidilmektedir. Bu nedenle az yakıt tüketen araçların popülaritesi artmaktadır. Türkiye'de ulaşım sektöründe petrol ürünlerinin kullanımının tüm sektörlere oranı %11.19 dur (Sektörlere ve kullanım alanlarına göre nihai enerji tüketimi, 2005). Çalışmada yakıt tasarrufu için yük taşımacılığında ulaşım türlerindeki taşıtlara bağlı tüketilen yakıt miktarları analiz edilmektedir.

Karayolu Yakıt Tüketimi

Karayolu yük taşımacılığında taşıtın yüklü olarak gidip, yükünün boşaltıp boş olarak geri gelmesine göre hesap yapılmaktadır. Tam kapasite ile taşınan yükün 26 ton olduğunda, taşıt 40 litre dizel yakıt yakmaktadır. Taşıt boş olarak döndüğünde ise 30 litre yakıt tükettiği kabul edilmektedir (Atar, 2013).

$$YT_{karayolu}=((YM)/(MY) \times (YT_{max}-YT_{min})+ YT_{min})\times(M/100) +(M/100)\times YT_{min} \quad (1)$$

Denklem 1'de $YT_{karayolu,}$ karayolu yük taşımacılığındaki yakıt tüketimini, YM; mevcut yük miktarı, MY; taşınabilecek maksimum yük, M; kilometre cinsinden karayolu mesafesi, YT_{max} 100 km'de maksimum yükün taşınmasında yakılan yakıt miktarı, YT_{min} ise 100 km de taşıtın yüksüz iken yaktığı yakıt miktarına denk gelmektedir.

Demiryolu Yakıt Tüketimi

Demiryolu yük taşımacılığında yakıt tüketimi öncelikle bir lokomotifin yaktığı yakıt miktarına göre konteyner başına düşen yakıt miktarı hesaplanmaktadır. Bir lokomotifte 80 adet vagon taşındığı kabul edilmektedir. Her vagon da ise bu çalışma için bir adet 40' konteyner taşındığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Yük treninde bir lokomotif 100 km'de ortalama 85-100 litre aralığında yakıt yakmaktadır. Çalışmada en elverişsiz durumları değerlendirmek için bir lokomotifin 100 kilometredeki yakıt tüketimi 100 litre olarak seçilmektedir (URL2, 2018).

$$YT_{demiryolu}=((M/100) \times OYT)/KS \quad (2)$$

Denklem 2'de demiryolu yük taşımacılığında yakıt tüketim hesabı için denklem verilmektedir. Denklemde, $YT_{demiryolu}$, demiryolu yük taşımacılığında tüketilen konteyner başı yakıt tüketimini göstermektedir. M; demiryolu ağı mesafesini, OYT; bir lokomotifin 100 km'de tükettiği ortalama yakıt tüketimini; KS ise bir lokomotifte taşınan konteyner sayısını temsil etmektedir.

Denizyolu Yakıt Tüketimi

Denizyolu yük taşımacılığında yakıt tüketim miktarının hesabı, gemideki ana ve yardımcı makinelerin yaktıkları yakıt esas alınarak hesaplama yapılmaktadır. Zaman dilimi olarak ise seyirde ve limanda gemi makinelerinin çalışma durumuna bağlı olarak yaktıkları yakıt tüketim formülüne yansımaktadır. Yük gemisi seyir halindeyken günlük 500 ton fuel oil, yardımcı makinenin ise 30 litre dizel yakıt yaktığı kabul edilmektedir. Yük gemisi limandayken ana makinenin yakıt yakmadığı, yardımcı makinenin günlük 45 litre dizel yakıt yaktığı görülmektedir. Konteyner gemisinin sürati 2010 yılı için yük gemilerinde ortalama bir değer olan 25 knots alınmaktadır (URL6, 2018). Limanda yükün yükleme boşaltma süresi 3 gün kabul edilmektedir. Bu çalışmada gemide taşınan konteyner sayısı ise 10000 adet olarak alınmaktadır. Konteyner gemilerinde taşınan konteyner adedi 18000 adede kadar çıkabilmektedir. Denizyolu yük taşımacılığında konteyner yük gemisinin yakıt tüketimi Denklem 3'e göre hesaplanmaktadır.

$$YT_{denizyolu}=(SAM_{GYT} \times SS+SYM_{GYT} \times TS+LYM_{GYT} \times LBS)/KS \quad (3)$$

Denklemde, $YT_{denizyolu}$, konteyner başı yakıt tüketimi, SAM_{GYT}, gemi seyir halindeyken ana makine günlük yakıt tüketimini, SYM_{GYT}, gemi seyir halindeyken yardımcı makine günlük yakıt tüketimini göstermektedir. TS ise geminin seyir halindeyken geçen süreyi temsil etmektedir. LYM_{GYT}, gemi limandayken yardımcı makinenin günlük yakıt tüketimini; LBS, geminin limanda bekleme süresini göstermektedir. KS değeri geminin taşıdığı konteyner sayısını göstermektedir. Gemide toplam tüketilen yakıt miktarı taşınan konteyner sayısına bölünerek konteyner başına düşen yakıt tüketimi hesaplanmaktadır.

2.2. Maliyet Hesabı

Yük taşımacılığında en çok rekabet ortamı taşıma maliyetlerinin düşürülmesi ile gerçekleşmektedir. Rota seçiminde en önemli kıstasın maliyet olduğu göze çarpmaktadır (Cansız ve Ünsalan (2018)). Maliyeti etkileyen faktörlerin incelenerek optimize edilmesi ile taşıma maliyetleri geri çekilebilmektedir. Bu çalışmada maliyetlerin azaltılması için farklı ulaşım türlerinin entegrasyonu ile rota optimizasyon çalışması yapılmaktadır.

Karayolu Maliyet Hesabı

Karayolu konteyner yük taşımacılığı maliyetini formülize edebilmek için, taşıtın yakıt tüketimi, sürücü ve dolaylı giderler dikkate alınmaktadır. 2018 yılı akaryakıt firmalarından alınan bilgilere göre dizel yakıtın litre fiyatı 5.1 TL alınmaktadır. Sürücü ve dolaylı giderler ise 5 TL/ton alınmaktadır. Karayolu yük taşımacılığı maliyet hesabı Denklem 4'e göre hesaplanmaktadır.

$$M_{karayolu}=YT_{karayolu}\times YF_{dizel}+SDG\times YM \quad (4)$$

$M_{karayolu}$, karayolu yük taşımacılığı için maliyet değerini göstermektedir. $YT_{karayolu}$, taşıtın dolu gidip boş gelmesi durumundaki yakıt tüketim miktarını, YF_{dizel} dizel yakıtın litre fiyatını, SDG ton başına sürücü ve dolaylı giderleri, YM ise taşınan yükün tonajını temsil etmektedir.

Demiryolu Maliyet Hesabı

Demiryolu yük taşımacılığında taşımacılık maliyetleri hesaplanırken, TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporundan seçilen istasyonlar arası ton başına düşen maliyetler alınmaktadır. Rapordan alınan birim fiyatlara ek olarak yükün mali değerine paralel olan kıymet primi değeri eklenmektedir.

$$M_{demiryolu}=TBF\times YM+KP \quad (5)$$

Demiryolu konteyner yük taşımacılığında maliyet hesabı, Denklem 5 esas alınarak hesaplanmaktadır. Denklemde $M_{demiryolu}$, demiryolu yük taşımacılığı maliyeti, TBF, TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporu'ndan alınan ton başı birim fiyatı, YM, konteynerde taşınan yükün tonajını, KP değeri ise kıymet primini göstermektedir. Kıymet primi, konteynerde taşınan yükün mali değerine göre 1000 km'ye kadar olan demiryolu mesafesinde yükün mali değerinin 1/1000'i, 1000 km den fazla mesafeler için ise 2/1000'sine denk gelen maliyete karşılık gelmektedir.

Denizyolu Maliyet Hesabı

Denizyolu yük taşımacılığı için maliyet parametreleri belirlenirken, parametrelerin büyük çoğunluğunu liman hizmetleri oluşturmaktadır. Bu parametreler geminin yakıt tüketimi, konteynerin gemiye yükleme-boşaltma hizmeti, genel terminal hizmetleri, karayolu aracı ile yük aktarılacaksa limana giriş çıkış ücreti olarak belirlenmektedir. Limanda gerçekleşen maliyet kalemleri TCDD'nin Liman Hizmetleri Tarifesinden (2018) alınan ücretlendirmelere göre belirlenmektedir. Tarifeye göre, limanda yükleme boşaltma gideri 352 TL/konteyner, limanda terminal hizmeti 137.2 TL/konteyner, limana giriş-çıkış ücreti ise 98 TL/araç olarak belirlenmektedir. Gemi personel ve diğer giderler ise günlük 6.16 TL/konteyner olarak belirlenmektedir.

Ülkemizde akaryakıt fiyatlarına uygulanan Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) denizyolu taşımacılığındaki taşıtlara uygulanmamaktadır. Bu nedenle yakıt tüketiminden kaynaklı maliyet hesapları ÖTV'siz akaryakıt fiyatlarına göre hesaplanmaktadır. Böylelikle ÖTV'siz fuel oil 2.56 TL/kg, ÖTV'siz dizel ise 3.45 TL/lt alınmaktadır. Denizyolu konteyner yük taşımacılığı için taşımacılık maliyeti Denklem 6'ya göre hesaplanmaktadır.

$$M_{denizyolu}=(YT_{anamakine}\times FOF+YT_{yardımcımakine}\times DF)/KS+YB+TH+LGÇ+GEG \quad (6)$$

$M_{denizyolu}$, denizyolu konteyner yük taşımacılığında konteyner başı maliyet değerini göstermektedir. $YT_{anamakine}$ parametresi ana makinenin seyirde yaktığı yakıt miktarını, $YT_{yardımcımakine,}$ yardımcı makinenin seyirde ve limanda tükettiği yakıt miktarı, FOF, ÖTV'siz fuel oil litre fiyatını, DF, ÖTV'siz dizel yakıtın litre fiyatını temsil etmektedir. GEG parametresi gemi personel ve dolaylı giderleri, KS, yük gemisinde taşınan konteyner sayısını, YB, konteyner yükleme boşaltma giderlerini, TH, liman terminal hizmetlerini, LGÇ değeri ise karayolu taşıtının limana giriş çıkış ücretini göstermektedir.

2.3. Taşımacılık Süresi Hesabı

Bu çalışmada her bir ulaşım türü için farklı kıstaslara bağlı olarak taşımacılık süresi denklemi oluşturulmaktadır. Taşımacılık süresi içerinde yükün çıkış noktasından varış noktasına kadar bütün faaliyetler zincirinde harcanan zamanlar ele alınmaktadır. Bunlar, yükleme boşaltma süresi, ilgili ulaşım türündeki yolda harcanan süre olarak belirlenmektedir.

Karayolu Taşımacılık Süresi Hesabı

Yükün karayolu taşıtından yükleme-boşaltma süresi 30 dk alınmaktadır. Karayolu taşımacılığında ilgili mevzuatlara göre sürücünün her 4.5 saat sürüşten sonra 45 dakika zorunlu mola verdiği kabul edilmektedir. Yine yasal sınırlar içerisinde 24 saatte sürücünün en fazla 9 saat araç kullandığı varsayılarak taşımacılık süresi hesaplanmaktadır. Yani 9 saat sürüş ve 45 dakika molaya ek olarak 14.25 saat sürücüye mola verdirilmektedir (URL3, 2018; Karayolları Trafik Yönetmeliği, Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyma ve Denetleme Esasları). Yük aracının ortalama hızı ise 80 km/sa kabul edilmektedir (URL4, 2018; Şehirlerarası çift yönlü karayollarında hız sınırı). Karayolu taşımacılığında taşımacılık süresi Denklem 7'ye göre hesaplanmaktadır.

$$TS_{karayolu}=M/H+SDS+YBS \quad (7)$$

$TS_{karayolu}$ karayolu taşımacılığında taşımacılık süresini göstermektedir. Denklemdeki M parametresi karayolu ile kat edilen mesafeyi, H belirlenen taşıtın ortalama hızını, SDS sürücü dinlenme sürelerini, YBS ise yükleme boşaltma süresini temsil etmektedir.

Denizyolu Taşımacılık Süresi Hesabı

Denizyolu konteyner yük taşımacılığında taşımacılık süresi için limanda gemiye yükleme boşaltma süresi 3 gün olarak alınmaktadır. Geminin sürati ise denizyolu yakıt tüketim hesabında bahsedildiği gibi 25 knot olarak kabul edilmektedir. Denizyolu konteyner yük taşımacılığında taşımacılık süresi Denklem 8'e göre hesaplanmaktadır.

$$TS_{denizyolu}=M/H+YBS \quad (8)$$

$TS_{denizyolu}$ denizyolu taşımacılığındaki taşımacılık süresini, M denizyolundaki mil biriminde mesafeyi, H parametresi knot cinsinden geminin hızını, YBS ise limanda yükleme boşaltma süresini göstermektedir.

Demiryolu Taşımacılık Süresi Hesabı

Demiryolu konteyner yük taşımacılığında taşımacılık süresini, diğer ulaşım türlerinde olduğu gibi yolda geçen süreç ve yükleme boşaltma süreçleri oluşturmaktadır. Türkiye'de yük trenleri 70 km/sa hıza çıkabilmekte iken, Avrupa ülkelerindeki yük trenleri 100 km/sa hızın üzerine çıkabilmektedir (URL5, 2018). Bu nedenle bu çalışma için yük treninin hızı 70 km/sa alınmaktadır. Demiryolu taşımacılığında taşımacılık süresi Denklem 9'a göre hesaplanmaktadır.

$$TS_{demiryolu}=M/H+YBS \quad (9)$$

Denklemde $TS_{demiryolu}$ demiryolu konteyner yük taşımacılığında taşımacılık süresini vermektedir. M değişkeni demiryolu hattında katedilen mesafeyi km cinsinden, H parametresi yük treninin ortalama hızını, YBS ise yükleme boşaltma süresini vermektedir.

2.4. Emisyon Hesabı

Çalışmada dördüncü güzergâh karar değişkeni olarak ulaşım türlerine bağlı olarak değişiklik gösteren ulaşım araçlarından salınan CO_2 miktarı rotaları değerlendirmede kıstas olarak alınmaktadır. Ulaşım türlerine bağlı olarak CO_2 salınım miktarı karayolu, demiryolu için Denklem 10'a göre hesaplanmaktadır (URL1,2018; Guidelines for Measuring and Managing CO_2 Emission from Freight Transport Operations).

$$E=YM\times D\times EF \quad (10)$$

Denklemde E, gram cinsinden CO_2 salınım miktarını vermektedir. YM taşınan yükün tonajını, D demiryolu veya karayolu taşıma mesafesini ve EF ise ton başı CO_2 emisyon faktörünü göstermektedir. Emisyon formülündeki ton başı CO_2 emisyon faktörü ise denklem 11'de verilmektedir.

$$EF= T\times M\times e/(1000000) \quad (11)$$

Denklemde T yük tonajını, M mesafeyi, e ise ton-km başı gram cinsinden CO_2 emisyon miktarını vermektedir. Denizyolu yük taşımacılığında emisyon miktarı Denklem 12'ye göre hesaplanmaktadır (Atar (2013)).

$$E=T\times P\times EF\times MY \quad (12)$$

Denklemde T çalışma türünde (seyir veya manevra) geminin bulunduğu zaman, P geminin çalışma türünde kullandığı makinelerin gücü, EF gemi türü ve emisyon türüne göre emisyon çarpanıdır. MY ise makinelerin ilgili çalışma türündeki yüzde makine gücüdür. Geminin ana makine gücü 1610 kW, yardımcı makine gücü ise 165 kW olarak kabul edilmektedir. Jeneratörlerin gücü ise 47 kW alınmaktadır. Ana Makine yükü gemi seyir halindeyken %80, manevrada iken ise %40 kapasite ile çalışmaktadır. (Atar, (2009)). Geminin manevra süresi 2 saat (0.083 gün) kabul edilmektedir.

2.5. Performans İndeksi

Çalışmanın bu bölümünde belirlenen yakıt tüketimi, maliyet, taşımacılık süresi ve emisyon karar değişkenleri ayrı ayrı değerlendirmenin yanı sıra dört karar değişkeni de aynı anda değerlendirilmektedir. Bu sebeple rotaların performans indeksi hesaplanmaktadır. Öncelikle tüm karar değişkenleri kendi içlerinde normalize edilmektedir (Denklem 13). Normalize edildikten sonra bu değerler toplanıp ortalaması alınarak her rota için performans indeksi değerine ulaşılmaktadır (Denklem 14).

$$X_N=(X_{max}-X)/(X_{max}-X_{min}) \quad (13)$$

Denklem 13'te X_N değeri karar değişkeninin normalizasyon değerini gösterirken, X_{max} her karar değişkeni içerisindeki tüm değerlerin maksimumunu, X_{min} her karar değişkeni içerisindeki tüm değerlerin minimum değerini ve X değeri normalize edilmek istenen veriyi temsil etmektedir.

$$PI=(YT_N+M_N+TS_N+E_N)/4 \quad (14)$$

Denklem 14'te PI değeri performans indeksine karşılık gelirken, YT_N normalize edilmiş yakıt tüketim miktarını, M_N normalize edilmiş taşımacılık maliyetini, TS_N normalize edilmiş taşımacılık süresini ve E_N normalize edilmiş CO_2 salınım değerini göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Türkiye'nin güney-batı doğrultusunda yapılacak yük taşımacılığı için rota optimizasyon vaka çalışması yapılmaktadır. Bu nedenle Güney Anadolu Bölgesinden Hatay ili, Batı Anadolu Bölgesinden ise İzmir ili seçilmektedir. İki il de denize kıyısı olan ve dolayısıyla denizyolu taşımacılığı bakımından stratejik konumu ideal olan illerdir. Belirlenen iki nokta arasında üç farklı unimodal ve bir multimodal taşımacılık rotası geliştirilmektedir. Rotalar ve bağlantı noktaları Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. Hatay-İzmir arası tasarlanan rotalar ve mod değişim noktaları

Tablo 1'de rotaların mod değişim noktaları ve ulaşım türleri verilmektedir. Tablo 2'de ise ulaşım türlerine göre mesafe dağılımları gösterilmektedir.

Tablo 1. Hatay-İzmir arası tasarlanan rotalar ve mod değişim noktaları

Ulaşım Rotası	Başlangıç Noktası	1. Ulaşım Modu	1. Mod Değişim Noktası	2. Ulaşım Modu	Varış Noktası

Unimodal Karayolu	Hatay	Karayolu	-	-	İzmir
Unimodal Denizyolu		Denizyolu	-	-	
Unimodal Demiryolu		Demiryolu	-	-	
Multimodal		Denizyolu	Antalya	Karayolu	

Tablo 2. Hatay- İzmir arası rotaların ulaşım türlerine göre mesafe dağılımları

Ulaşım Rotası	Mesafe		
	Karayolu(km)	Denizyolumil)	Demiryolu (km)
Unimodal Karayolu	1030.00	-	-
Unimodal Denizyolu	23.20	737.20	-
Unimodal Demiryolu	23.80	-	1195
Multimodal	472.10	290.30	-

3.1. Yakıt Tüketimi Hesabı

Hatay-İzmir Arası Unimodal Karayolu

Karayolu taşımacılığında yakıt tüketimini yükün ağırlığı etkilediği için hesaplar üç farklı yük tonajı için yapılmaktadır. Denklem 1'e göre Hatay-İzmir arasında karayolu taşımacılığında yakıt tüketimi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

5 ton yük taşınmasında;
$YT_{karayolu}=((YM)/(MY) \times (YT_{max}-YT_{min})+ YT_{min})\times(M/100) +(M/100)\times YT_{min}$
$=(1030/100)\times((5/26)\times(40-30)+30)+(1030/100)\times30=637.81$ lt dizel

10 ton yük taşınmasında;
$YT_{karayolu}=((YM)/(MY) \times (YT_{max}-YT_{min})+ YT_{min})\times(M/100) +(M/100)\times YT_{min}$
$=(1030/100)\times((10/26)\times(40-30)+30)+(1030/100)\times30=657.62$ lt dizel

14 ton yük taşınmasında;
$YT_{karayolu}=((YM)/(MY) \times (YT_{max}-YT_{min})+ YT_{min})\times(M/100) +(M/100)\times YT_{min}$
$=(1030/100)\times((14/26)\times(40-30)+30)+(1030/100)\times30=673.46$ lt dizel

5 ton yük taşınırken taşıt 637.81 lt, 10 ton yük taşınırken 657.62 lt, 14 ton yük taşınırken 673.46 lt dizel yakıt tüketmektedir. Yük ağırlığının 5 tondan 10 tona çıkması ile yakıt tüketiminde %3.1 artış gözlenmektedir. 14 ton taşınması ile ise taşıtın yakıt tüketimi 5 tona kıyasla %5.6 artmaktadır.

Hatay-İzmir Arası Unimodal Denizyolu

Hatay ve İzmir arasında denizyolu taşımacılığı için yakıt tüketimi hesaplanırken öncelikle geminin seyir süresi belirlenmektedir.

Seyir Süresi= mesafe/hız=(737.20/25)/24=1.23gün

Seyirde Yakıt Tüketimi;
Ana makine; 500×1.23=615 ton fuel oil
Yardımcı makine; 30×1.23=36.9 lt dizel
Limanda Yakıt Tüketimi; 45×3=135 lt dizel

$YT_{denizyolu}=(SAM_{GYT}\times TS+SYM_{GYT}\times SS+LYM_{GYT}\times LBS)/KS=(615\times1000+36.9+135)/10000=$ 61.52 lt/konteyner

Denizyolu taşımacılığında yakıt tüketimi 61.52 lt/konteyner hesaplanmaktadır. Görüldüğü gibi bir konteynerin karayolunda taşınması ile bir konteynerin denizyolunda taşınması karşılaştırıldığında yakıt tüketiminde oldukça fark oluşmaktadır.

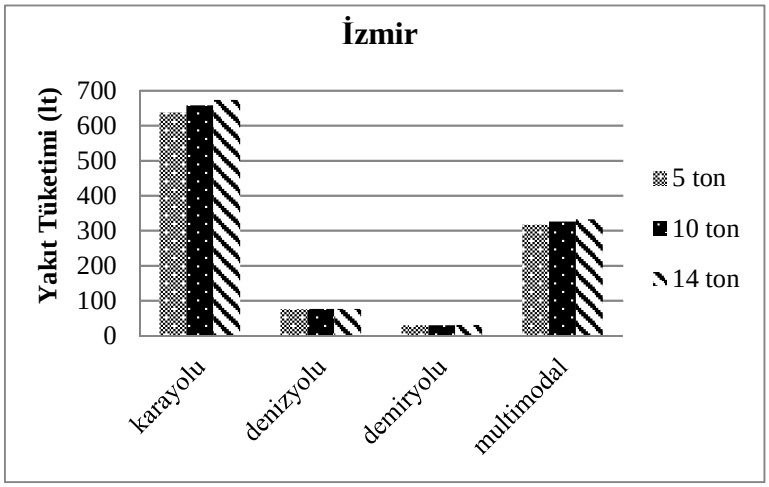
Hatay-İzmir Arası Unimodal Demiryolu

Hatay-İzmir arasındaki demiryolu taşımacılığı için yakıt tüketimi Denklem 3'e göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Konteyner başı yakıt tüketimi;
$YT_{demiryolu}=((M/100) \times OYT)/KS=[(1195/100) \times 100]/80=14.94$ lt/konteyner dizel

Demiryolu taşımacılığında 14.94 lt/konteyner dizel yakıt yaktığı hesaplanmaktadır. Diğer unimodal ulaşım türleri ile karşılaştırıldığında yakıt tüketimi bakımından karayolu taşımacılığına kıyasla daha avantajlı çıkmaktadır. Fakat denizyolu taşımacılığı, demiryolu taşımacılığına göre yakıt tüketimi açısından daha avantajlıdır. Tabi ki ulaşım coğrafyasının bunun üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Hatay ve İzmir arasında yapılan taşımacılık türlerine göre yakıt tüketim grafiği Şekil 1'de verilmektedir. Grafikte karayolu taşımacılığı ile diğer ulaşım türlerine kıyasla fazla yakıt tüketildiği görülmektedir. Yük tonajının artışı ulaşım türleri içerisinde çok fark yaratmamaktadır.



Şekil 1. Hatay-İzmir arası ulaşım türlerine göre yakıt tüketim miktarları

3.2. Maliyet Hesabı
Hatay-İzmir Arası Unimodal Karayolu

Hatay'dan İzmir'e yapılacak olan konteyner yük taşımacılığı için karayolu maliyet hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Karayolu taşımacılığında, yükün ağırlığı maliyeti belirleyen önemli parametrelerden birisidir. Bundan dolayı yük arttıkça maliyette de artış gözlenmektedir.

5 ton yük taşınmasında;
$M_{karayolu}=YT_{karayolu} \times YF_{dizel}+SDG \times YM = 637.81 \times 5.1$ TL/l$+5$ t$\times 5$ TL/t$=3277.83$ TL

10 ton yük taşınmasında;
$M_{karayolu}=YT_{karayolu}\times YF_{dizel}+SDG\times YM$ =657.62×5.1TL/l+10t×5TL/t=3403.86 TL

14 ton yük taşınmasında;
$M_{karayolu}=YT_{karayolu}\times YF_{dizel}+SDG\times YM$ =673.46×5.1TL/l+14t×5TL/t=3504.65 TL

Yük tonajının 5 tondan 10 tona çıkartılması ile birlikte maliyette %3.9, yükün 14 tona çıkması ile ise %6.9 artış görülmektedir. Yükün ağırlığı 3 kat artmasına rağmen maliyet artışı %10'un altında gözlenmektedir.

Hatay-İzmir Arası Unimodal Denizyolu

Denizyolu taşımacılığında konteynerin ağırlığı hesaba katılmamaktadır. Ağırlığın 5, 10, 14 ton olması maliyeti etkilememektedir. Konteyner bazında hesap yapılmaktadır. Aşağıda Hatay'dan İzmir'e denizyolu ile giden bir yük için konteyner başı maliyet hesabı verilmektedir.

$M_{denizyolu}=(YT_{anamakine}\times FOF+YT_{yardımcımakine}\times DF)/KS+YB+TH+LGÇ+GEG=$
(615×1000×2.56+36.9×3.45)/10000+352+137.2+98+6.16 ×(1.23+3)= 764.55 TL/konteyner

Denizyolu taşımacılığında maliyeti etkileyen en önemli parametreler limanda alınan hizmetlerden oluşmaktadır. Karayolu taşımacılığı ile karşılaştırıldığında denizyolu taşımacılığı ile yaklaşık 4.58 kat maliyette tasarruf sağlanmaktadır.

Hatay-İzmir Arası Unimodal Demiryolu

Aşağıda Hatay ve İzmir arasında yapılacak demiryolu konteyner yük taşımacılığının farklı yük tonajı ve yük değerlerine bağlı olarak maliyet hesabı verilmektedir. TCDD'nin İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti Raporundan alınan ton başı birim fiyat tarifesine göre bu iki nokta arası maliyet 104.06 TL/t hesaplanmaktadır. Bu iki nokta arası 1195 km olarak bulunmakta ve bu nedenle kıymet primi yükün değerinin 2/1000'si alınmaktadır.

5 ton yük için;
$M_{demiryolu}=TBF\times YM+KP$= 104.06×5+40000×2/1000= 600.30 TL

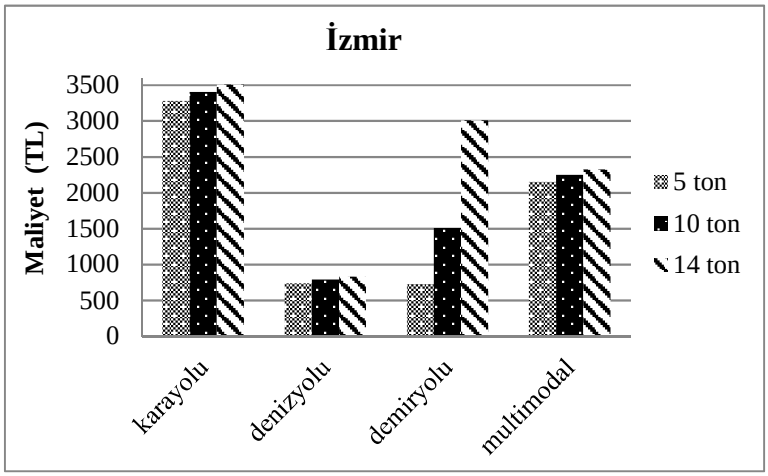
10 ton yük için;
$M_{demiryolu}=TBF\times YM+KP$=104.06×10+145000×2/1000=1330.60 TL

14 ton yük için;
$M_{demiryolu}=TBF\times YM+KP$=104.06×14+250000×2/1000=1956.84 TL

Yükün 5 tondan 10 tona çıkması ve mali değeri 40000 TL'den 145000 TL'ye çıkması ile taşıma maliyeti %122 artmaktadır. Yük tonajı 14 ton ve mali değeri 250000 TL olması ile maliyet %226 artmaktadır. Burada görüldüğü gibi demiryollarında yükün kıymet değeri, maliyeti önemli ölçüde etkilemektedir.

Şekil 2'de ulaşım modlarına ve yük tonajına göre maliyet analizi verileri görülmektedir. Grafik incelendiğinde denizyolu ulaşım türünün 10 ve 14 ton yük için diğer türlere göre en ucuz taşımacılık olduğu açıkça görülmektedir. 5 ton yük için en ucuz taşımacılık demiryolu rotası ile yapılabilmektedir. Demiryolu taşımacılığı yük tonajı ve değeri

arttıkça taşımacılık maliyetleri ciddi oranda etkilenmektedir. En maliyetli taşımacılık ise üç yük birimi içinde karayolu taşımacılığıdır. Multimodal taşımacılığın karayoluna kıyasla daha ucuz taşımacılık türü olduğu göze çarpmaktadır. Güzergâh kombinasyonları içerisinde bulunan demiryolu ve denizyolu taşımacılığı oranına göre yük birimi arttıkça maliyetlerdeki artışta buna göre artış göstermektedir.



Şekil 2. Hatay-İzmir arası ulaşım modlarına göre maliyet değerleri

3.3. Taşımacılık Süresi Hesabı

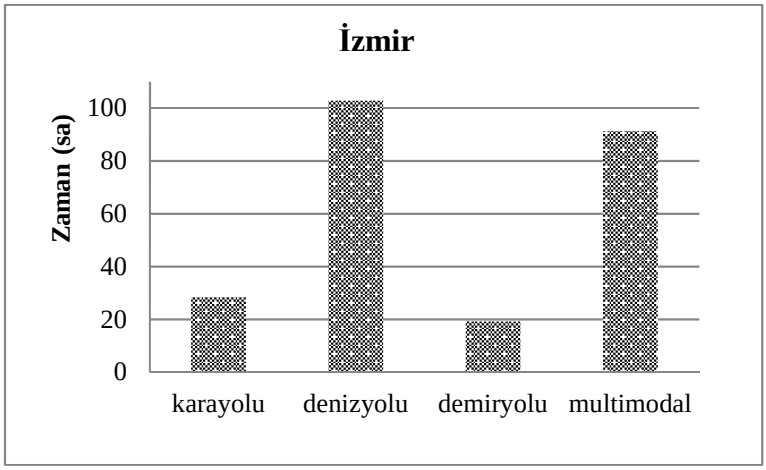
Her güzergâh için materyal metotta verilen taşımacılık süresi formülleri kullanılarak zaman hesapları aşağıda yapılmaktadır.

İskenderun-İzmir arası Unimodal Karayolu için;
$TS_{karayolu}$=M/H+SDS+YBS=(1030 km)/(80 km/sa)+45 dk+30 dk+14.25 sa = 28.38 sa

İskenderun-İzmir arası Unimodal Denizyolu için;
$TS_{denizyolu}$=M/H+YBS=(737.20 mil)/(25 knots)+3 gün×24= 101.49 sa

İskenderun-İzmir arası Unimodal Demiryolu için;
$TS_{demiryolu}$=M/H+YBS=(1195)/(70 km/sa)+45 dk= 17.82 sa

Hatay-İzmir arasında tasarlanan güzergâh senaryolarının taşımacılık süreleri değerleri Şekil 3'te karşılaştırılmaktadır. En hızlı taşımacılık güzergâhı 19.12 saat taşımacılık süresi ile demiryoludur.



Şekil 3. Hatay-İzmir arası ulaşım modlarına göre taşımacılık süresi dağılımları

3.4. Emisyon Hesabı

Hatay ve İzmir arasında gerçekleştirilen güzergahlardan unimodal taşımacılıklara ait emisyon hesapları aşağıdaki gibi yapılmaktadır. Emisyon hesabında karayolu ve demiryolu taşımacılığında yükün tonajı dikkate alınırken, denizyolu taşımacılığında gemide çalışan makine türlerine bağlı olarak emisyon hesabı yapılmaktadır.

Hatay-İzmir arası unimodal karayolu taşımacılığı için emisyon hesabı;

5 ton yük için;
EF= T×M×e/(1000000)=5 ×1030×151.1/1000000=0.778 gr⁄t-km
E=YM×D×EF=5×1030×0.778 = 4006.70 gr

10 ton yük için;
EF= T×M×e/(1000000)=10×1030×151.1/1000000=1.556 gr⁄t-km
E=YM×D×EF=10×1030×1.556= 16026.80 gr

14 ton yük için;
EF= T×M×e/(1000000)=14×1030×111.8/1000000=1.612 gr⁄t-km
E=YM×D×EF=14×1030×1.612= 23245.04 gr

Hatay-İzmir arası unimodal demiryolu taşımacılığı için emisyon hesabı;

5 ton yük için;
EF= T×M ×e/(1000000)=5×1195×22/1000000=0.132 gr⁄t-km
E=YM×D×EF=5×1195×0.132= 788.7 gr

10 ton yük için;
EF= T×M×e/(1000000)=10×1195×22/1000000=0.263 gr⁄t-km
E=YM×D×EF=10×1195×0.263= 3142.85 gr

14 ton yük için;
EF= T×M×e/(1000000)=14×1195×22/1000000=0.368 gr⁄t-km
E=YM×D×EF=14×1195×0.368= 6156.64 gr

Hatay-İzmir arası unimodal denizyolu taşımacılığı için emisyon hesabı;

$E=T\times P\times EF\times MY$

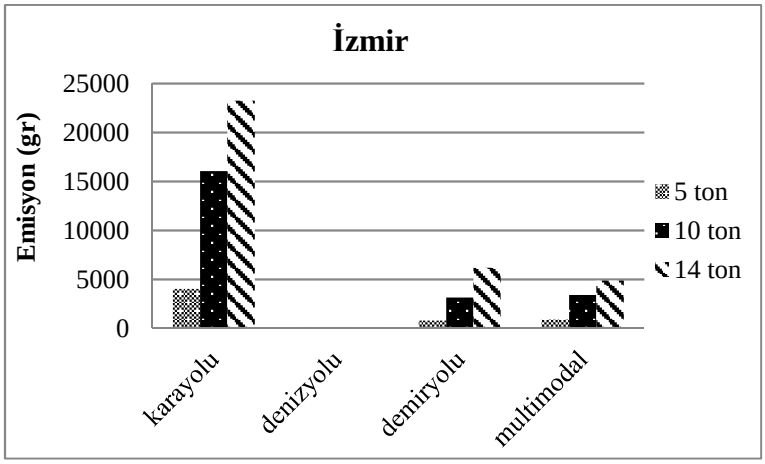
Seyirde Emisyon Miktarı;
Ana makine; $E=T\times P\times EF\times MY$ =1.228×1610×672×0.80=1062878.21 g/sefer
Yardımcı makine; $E=T\times P\times EF\times MY$ =1.228×165×672 ×0.80=108928.51 g/sefer
E_{seyir} = 1062878.21+108928.51=1171806.72 g/sefer

Manevrada Emisyon Miktarı;
Ana makine; $E=T\times P\times EF\times MY$ =1/12×1610×730×0.40= 39176.67 g/manevra
Yardımcı makine; $E=T\times P\times EF\times MY$ =1/12×165×730×0.80=8030 g/manevra
$E_{manevra}$ = 39176.67+8030=47206.67 g/manevra

Jeneratörlerin Emisyon Miktarı;
Jeneratörler; $E_{liman}=T\times P\times EF\times MY$ =4.228×47×672×0.80=106829.72 g/liman

Denizyolunda Toplam Emisyon Miktarı;
$E_{deniz(gemi)}=E_{seyir}+E_{manevra}+E_{jeneratör}$=1171806.72+47206.67+106829.72=1325843.11 g/gemi
$E_{deniz(konteyner)}$=1325843.11/10000=132.58 g/konteyner

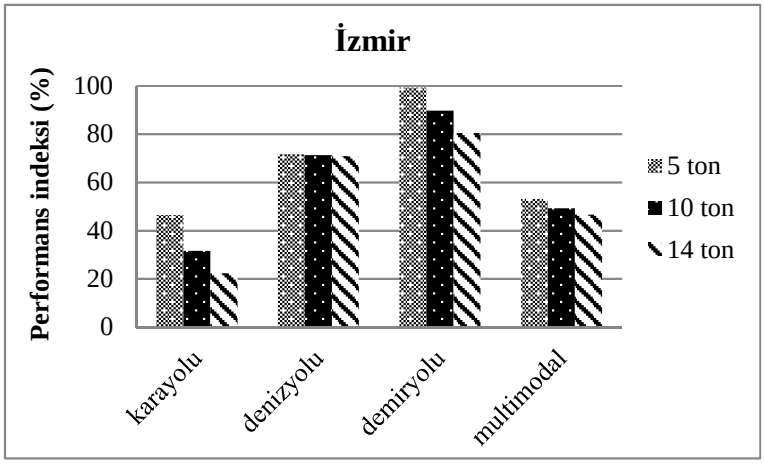
Şekil 4'te ulaşım modları ve taşınan yükün ağırlığına bağlı olarak hesaplanan emisyon miktarları verilmektedir. Grafik incelendiğinde minimum emisyon miktarı unimodal denizyolu taşımacılığında görülmektedir. En fazla CO_2 salınımı ise 23245.04 gr ile 14 ton yükün karayolu ile taşınmasında gerçekleşmektedir. Multimodal taşımacılık güzergahı incelendiğinde, karayolu taşımacılığına ve demiryolu taşımacılığına kıyasla daha az emisyon salınımı hesaplanmaktadır. Bunun nedeni ise multimodal taşımacılık güzergâhının ağırlıklı denizyolu taşımacılığından oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ülkemizde yurtiçi yük taşımacılığında ağırlıklı karayolunun tercih edilmesinden dolayı, taşımacılıktan kaynaklanan emisyon değerleri oldukça yüksek çıkmaktadır. Taşımacılığın denizyoluna kaydırılması CO_2 salınımının indirgenmesinde oldukça etkili olacağı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4. Hatay-İzmir arası ulaşım modlarına göre emisyon miktarları

3.5. Performans İndeksi

İskenderun ve İzmir arasında geliştirilen güzergâhların performans indeksi değerleri Şekil 5'deki grafikte görülmektedir. Grafiğe göre performansı en yüksek güzergâh 5, 10, 14 ton için sırasıyla %99.3, %89.7 ve %80.4 performans ile demiryolu taşımacılık güzergâhı en verimli çıkmaktadır. En verimsiz güzergâh ise grafikte görüldüğü gibi tüm yük birimleri içinde karayolu taşımacılık güzergâhıdır.



Şekil 5. Hatay-İzmir arası rotaların performans indeksi

4. Sonuç

Çalışmada güzergah seçimi yakıt tüketimi, maliyet, zaman ve emisyon kriterlerine bağlı olarak dört farklı kategoride değerlendirilmekte ve bu güzergah karar değişkenlerinin kombinasyonu ile lojistik performans indeksi değerlendirilmesi yapılmaktadır. Farklı yük tonajları ve yük değerleri ile hesaplamalar yapılarak, yüke bağlı bu iki parametrenin güzergâh karar değişkenlerini ne yönde etkilediği incelenmektedir.

Analizler sonucu yakıt tüketimi için en verimli taşımacılık güzergâhı 29.68-30.50 lt/konteyner ile demiryolu taşımacılık güzergâhı çıkmaktadır. Maliyet analizleri sonucu 5 ton yük için 725.46 TL/konteyner ile demiryolu taşımacılığı, 10 ve 14 ton yük için 945.85 TL/konteyner ve 987.67 TL/konteyner ile denizyolu taşımacılığı en ekonomik çıkmaktadır. Güzergâhlar taşıma süresi açısından değerlendirildiğinde en hızlı taşımacılık 17.82 sa ile demiryolu taşımacılık güzergâhıdır. Emisyon karar değişkenine göre güzergâhlar incelendiğinde en çevreci güzergâh 83.76 g/konteyner CO_2 miktarı ile denizyolu taşımacılık güzergâhı çıkmaktadır. Dört karar değişkenine göre performans indeksi değerlendirildiğinde, bu iki hat için yapılacak konteyner yük taşımacılığı için %99.3-80.4 performans indeksi aralığı ile demiryolu taşımacılık güzergâhı en uygun çıkmaktadır. En verimsiz taşımacılık ise karayolu taşımacılığıdır. Çalışma sonuçlarının gösterdiği gibi yük taşımacılığında karayolu taşımacılığı verimsiz olmasının yanı sıra trafik yoğunluğunu da olumsuz yönde etkilemektedir.

5. Referanslar

1. Arnold, P., Peeters, D., Thomas, I., 2004. Modelling a rail/road ıntermodal transportation system. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 40(3), 255–270.
2. Atar, F., 2013. Kısa Mesafe Deniz Taşımacılığının Avantajları ve Kombine Taşımacılıktaki Önemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 89 s.
3. Atar, F., Aydoğdu, Y. V., Duru, O., Şenol, Y. E., 2013. Kısa mesafe deniz taşımacılığının avantajları ve

kombine taşımacılıktaki önemi üzerine bir çalışma. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 5(1), 75-91.
4. Cansız, O. F., Arslan, T., Çubuk, M. K., Çalışıcı, M., 2008a. Türkiye Demiryollarında Enerji Tüketim Analizi. 2. International Railway Symposium & Trade Exhibition, Istanbul, Türkiye, s.287-306.
5. Cansız, O. F., Göçmen, S., 2018. Distance analysis of multimodal transportation based on traveling salesman problem with particle swarm optimization method. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, 5(6),1-6.
6. Cansız, O. F., Ünsalan, K., 2018. Cost analysis of multimodal freight transportation : A case of Iskenderun. International Journal of Advanced Engineering Research and Science, 5(5), 315-319.
7. Cansız, O. F., Ünsalan, K., Çalısıcı, M., Göçmen, S., 2018a. Çok Türlü Taşımacılık Güzergâhlarının Gezgin Satıcı Problemleri Baz Alınarak Tasarlanması: Güzergâhların Optimizasyonu ve Akıllı Ulaşım Sistemlerine Entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi, Balıkesir, Türkiye, s.58-59.
8. Cansız, O. F., Ünsalan, K., Çalısıcı, M., Göçmen, S., 2018b. Şehirlerarası Güzergâh Performans İndeksinin Çok Türlü Taşımacılık Baz Alınarak Analiz Edilmesi: Analiz Parametrelerinin Oluşturulması ve AUS Entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi, Balıkesir, Türkiye, s.213-214.
9. Cansız, Ö. F., Ünsalan, K., Çalışıcı, M., Göçmen, S., 2018c. Şehirlerarası Taşımacılık Performansı İndeksinin Çok Türlü Taşımacılık Baz Alınarak Analiz Edilmesi: Çok Türlü Güzergâhların Tasarımı ve AUS Entegrasyonu. 1. Uluslararası Akıllı Ulaşım Sistemleri Kongresi, Balıkesir, Türkiye, s.5-8.
10. Çubuk, K., Cansız, O. F., 2005a. Türkiye'de Ulaşım Sistemleri Arasındaki Enerji Durumu, 24. Enerji Verimliliği Haftası Etkinlikleri, Ankara, Türkiye,17-18.
11. Çubuk, K., Cansız O.F., 2005b. Energy Status Between Transportation System in Turkey. The Energy Efficiency Conference, Ministry of Energy and Natural Resources, Ankara, Türkiye, s.47-49.
12. Demirlioğlu, H., 2008. Türkiye'de Denizyolu Konteyner Taşımacılığının Kombine Taşımacılık ile Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 106 s.
13. Deveci, D., A., Çavuşoğlu, D.,2013. İntermodal demiryolu taşımacılığı: Türkiye için fırsatlar ve tehditler. Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi, 5(1), 93-120.
14. Ekonomik Faaliyetlere Göre Hava Emisyon Hesapları 2015. TÜİK.
15. Fremont, A., Franc, P., 2010. Hinterland transportation in europe: combined transport versus road transport. Journal of Transport Geography, 18(4), 548–556.
16. Gökkuş, Ü., Yıldırım, M.S., Aydin, M.M., 2017. Estimation of container traffic at seaports by using several soft computing methods: A case of turkish seaports. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2017, s.1-15.
17. Kishimoto, P. N., Karplus, V. J., Zhong, M., Saikawa, E., Zhang, X., Zhang, X., 2017. The impact of coordinated policies on air pollution emissions from road transportation in China. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 54, 30-49.
18. Palander, T., 2017. The environmental emission efficiency of larger and heavier vehicles-a case study of road transportation in finnish forest. Journal of Cleaner Production, 155, 57-62.
19. Sektörlere ve Kullanım Alanlarına Göre Nihai Enerji Tüketimi 2005. TÜİK.
20. Şahin, M., 2006. Kombine Taşımacılık Siirt Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 148 s.
21. Tanır, B., 2009. Marmara Bölgesindeki Karayolu Yük Taşımacılığına Alternatif Kombine Taşımacılık Sistemlerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara, 135 s.
22. TCDD Liman Hizmetleri Tarifesi 2018. TCDD.
23. URL1, www.cefic.org, 15.05.2018.
24. URL2, http://www.ustaokan.com/?Syf=26&Syz=530815, 22.05.2018.
25. URL3, https://www.tugem.com.tr/mevzuat?mlid=2528, 10.04.2018.
26. URL4, www.kgm.gov.tr, 01.05.2018
27. URL5, railturkeyakademi.wordpress.com, 06.06.2018.
28. URL6, www.nasmaritime.com, 15.06.2018.
29. Vitoşoğlu, Y., Evren, G., 2008m Türkiye'de demiryolu ağırlıklı kombine yük taşımacılığı olanaklarının araştırılması. İtü Dergisi/d Mühendislik, 7(1), 77-88.
30. Yang, H., Chen, W., 2017. Retailer-driven carbon emission abatement with consumer environmental awareness and carbon tax: revenue-sharing versus. Omega, 78, 179-191.

31. Zhang, S.J., Niu, T.L., Wu, Y., Zhang, K.M., Wallington, T.J., Xie, Q.Y., Wu, X.M., Xu, H.L., 2018. fine-grained vehicle emission management using intelligent transportation system data. Environmental Pollution, 241, 1027-1037.

References

1. Reference1 (APA format)
2. Reference2 (APA format)

Sürücü Davranışının Şekillenmesine Etkiyen Parametrelerin Belirlenmesi

(Oral)

Ömer Faruk CANSIZ[1], Kevser ÜNSALAN[2],

[1,2] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey

Emails: Ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, Kevser.keskin@iste.edu.tr

Özet

Trafik kazalarının nedenlerinin başında insanlardan kaynaklanan sürücü ve yaya davranışları gelmektedir. İnsanların davranışlarını şekillendiren en önemli unsur ise yaşadığı çevre ve fiziksel koşullarıdır. Bu nedenle bu çalışmada farklı illerde yaşayan sürücülerin trafikteki davranışları ve fiziksel koşulları incelenmektedir. Bunun için sekiz farklı şehirde 799 sürücü ile anket yapılmaktadır. Anket sonuçları cinsiyet, yaş, eğitim durumu, gelir düzeyi, ehliyet sahipliliği, trafikte ortalama harcanan süre ve illere göre değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürücü Davranışı, Trafik, Sürücü

Abstract

The causes of traffic accidents are the driver and pedestrian behavior caused by people. The most important factor shaping the behavior of people is the environment and physical conditions they live in. Therefore, this study examines the behavior and physical conditions of the drivers living in different cities. For this purpose, 799 drivers are surveyed in eight different cities. Survey results are evaluated according to gender, age, education level, income level, ownership of driver's license, average time spent in traffic and provinces.

Keyword(s): Driver Behavior, Traffic, Driver

1. Giriş

Türkiye'de 2017 trafik kazalarına neden olan kusurlar incelendiğinde %89,87 sürücü kusuru, %0,37 yolcu kusuru, %8,48 yaya kusuru, %0,70 yol kusuru, %0,52 araç kusuru olarak dağılım göstermektedir (EGM,2018). İnsan faktörlü kusurlar incelendiğinde %98,78 oranı ile kazaların neredeyse tamamının insan faktörlü gerçekleştiği görülmektedir. Buradan yola çıkarak trafik kazalarının azaltılmasına yönelik çalışmalar için öncelikle insanı incelemek gerektiği ortaya çıkmaktadır (Ona vd.,2014). İnsan gibi karmaşık bir düşünme yapısına sahip, bulunduğu toplumda şekillenen canlıyı incelemek oldukça güçtür. Hasanhanoğlu(2008) Türkiye'de sürücü davranışlarını saptamak ve bu davranışların trafik güvenliği ve trafik kazaları üzerindeki etkilerini incelemek için trafik güvenlik anketi uygulamaktadır. Çalışma sonucunda sürücü profilleri çıkartılarak kaza yapma olasılıkları için SWOT analizi

yapılmaktadır. Sürücü profilinin belirlenmeye çalışıldığı bir başka çalışmada Ünal (2011) tarafından yapılan bir anket çalışmasıdır. Ünal çalışmasında trafik kültürünü, demografik faktörlerin etkilemesinin yanı sıra sürücülerin iş alanlarının da etkilediğini ortaya koymaktadır. Baş (2015), uykusuzluk, yorgunluk gibi geçici fiziksel özelliklerin, sürücülerin kaza yapma riski üzerine etkisini araştırmaktadır. Sürücülerin davranışlarını yorumlamak için başka bir çalışmada Uygun(2008) tarafından trafik akışında sürücülerin şerit değiştirme, sıra alma davranışı incelenmektedir. Çalışma sonunda trafik akışı ile sürücünün trafikteki davranışlarının büyük ölçüde ilişkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Gargoum vd. (2016) yol geometrik, fiziksel yapısının sürücünün davranışları üzerine etkisini araştırmakta ve uyumlu bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır.

Sürücü davranışlarının yorumlanmasının, karakterize edilmesinin yanı sıra literatürde sürücülerin davranışlarına yön veren etmenleri inceleyen çalışmalarda mevcuttur. Ulu (2015) yaptığı çalışmada Elektronik Denetleme Sistemlerinin (EDS) sürücü davranışları üzerine etkisini incelemektedir. EDS sistemi ile kavşaklarda yapılan kontroller sayesinde sürücülerin ışık ve hız ihlallerinin azaltıldığı, sürücü davranışlarının kontrol altına alındığı tespit edilmektedir.

Bu çalışmada sürücünün trafikteki davranışları ve bu davranışları tetikleyen nedenler araştırılmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında sürücünün günlük trafikteki karşılaştığı durumlara yönelik sorular ve kişilik özelliklerine bağlı olarak sorular hazırlanmaktadır. Trafikteki davranışlarına yönelik sorular puanlandırılmakta ve kişilik özelliklerine ve bulundukları şehre göre gruplamalar yapılmaktadır. Puanlama yapılırken dört şıklı sorularda sırasıyla her şık için altı, dört, iki ve sıfır olacak şekilde; üç şıklı sorularda sırasıyla her şık için altı, üç ,sıfır olacak şekilde, iki şıklı sorularda sırasıyla altı, sıfır olacak şekilde puanlama yapılmaktadır. Hazırlanan anket Hatay, Adana, Mersin, İzmir, Muğla, Gaziantep, Ankara ve İstanbul olmak üzere sekiz farklı ilde 799 sürücü ile anket yapılmaktadır. Her şehirde verilen cevaplara göre sürücü profilleri hakkında bilgiler toplanmakta ve belirlenen puanlama sistemine göre sürücülere puanlama yapılmaktadır.

2. Materyal ve Metod

Çalışmanın öncelikle ilk bölümünde sürücülerin trafikteki karakteristiklerini belirlemek amacıyla, trafikteki davranışlarına yönelik 58 soruluk anket hazırlandı. Anketler İzmir, Adana, Ankara, Mersin, Muğla, Gaziantep, Hatay, İstanbul olmak üzere 8 ilde, ehliyeti olan farklı meslek gruplarına sahip 799 sürücü üzerinde yüz yüze yapıldı. Elde edilen anket verileri işlendi ve sürücülerin verdikleri cevaplara göre puanlamalar yapıldı.

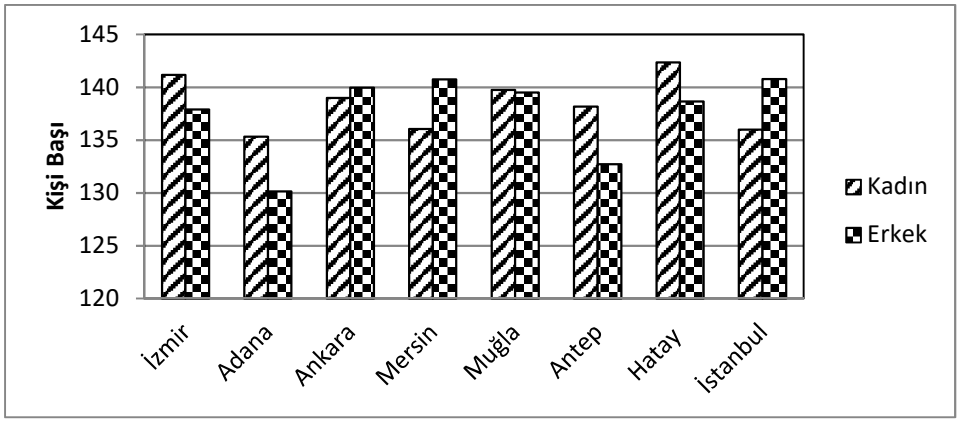
Puanlama yapılırken dört şıklı sorularda sırasıyla her şık için altı, dört, iki, sıfır olacak şekilde; üç şıklı sorularda sırasıyla her şık için altı, üç, sıfır olacak şekilde, iki şıklı sorularda sırasıyla altı, sıfır olacak şekilde düzenleme yapıldı. Sürücülerin bireysel puanları hesaplandıktan sonra sürücüler medeni haline, eğitim durumuna, gelir düzeyine, sürücü yaş aralığına, ehliyet sahiplilik süresi, sürücü olarak trafikte harcanan zamana ve cinsiyete göre gruplandırılarak değerlendirmeler yapılmaktadır.

3. Bulgular ve Tartışma

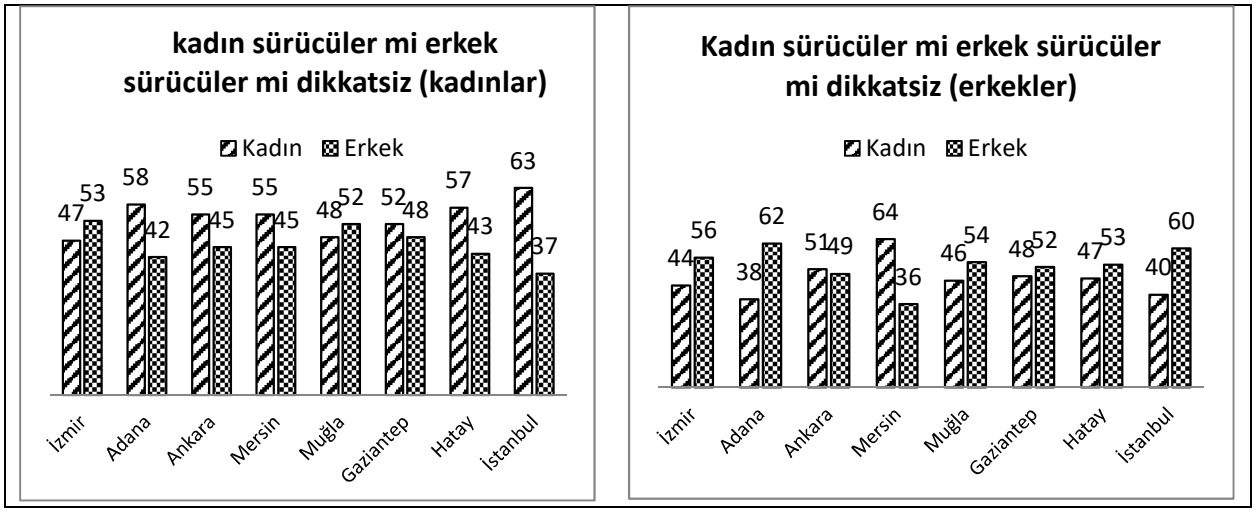
4.1. Cinsiyete Göre Değerlendirmeler

Anketler 373 kadın, 426 erkek sürücü üzerinde yapıldı. İllere göre kadın ve erkekler ayrı ayrı değerlendirilip puanlama yapıldığında Şekil 1a'daki sonuçlar elde edilmektedir. Kadın ve erkeklerde en az puanlar Adana ilinde alınmaktadır. En yüksek puanlar ise kadınlarda Hatay ilinde, erkeklerde ise 140 puanla Mersin ve İstanbul ilinde başa baş çıkmaktadır. Sürücülere kadın sürücüler mi yoksa erkek sürücüler mi trafikte dikkatsiz sorusu yöneltildiğinde verilen cevaplar incelendiğinde Şekil 1c'de ve Şekil 1d'deki sonuçlar elde edilmektedir. Grafikler incelendiğinde Kadınların verdiği cevaplara göre İzmir ve Muğla illerinde kadınlar, erkeklerin trafikte daha dikkatsiz olduğunu, diğer illerdeki kadınlar ise hemcinslerinin trafikte daha dikkatsiz olduğunu düşünmektedir. Erkeklerin verdiği cevaplar incelendiğinde Ankara ve Mersin illerinde yaşayan erkekler, kadınların trafikte daha dikkatsiz olduğunu düşünmektedir. Grafiklerde görüldüğü gibi genel olarak sürücüler hemcinslerinin trafikte daha dikkatsiz, karşı cinsin ise daha dikkatli olduğunu düşünmektedir. Alınan puanlar incelendiğinde kadınların tüm illerdeki ortalaması 138,48, erkeklerin ortalaması ise 137,55 çıkmaktadır.

a)



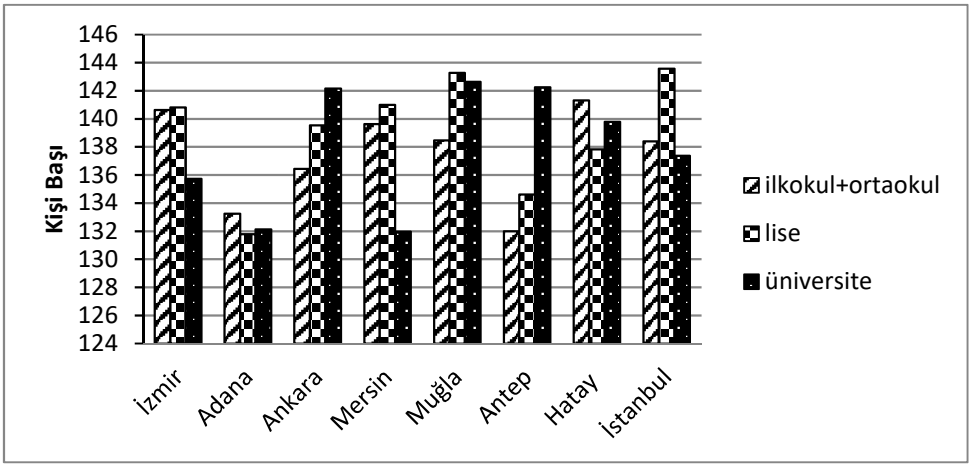
b) c)



Şekil 1. Sürücü cinsiyetine göre trafik davranışı

4.2. Eğitim durumuna göre değerlendirme

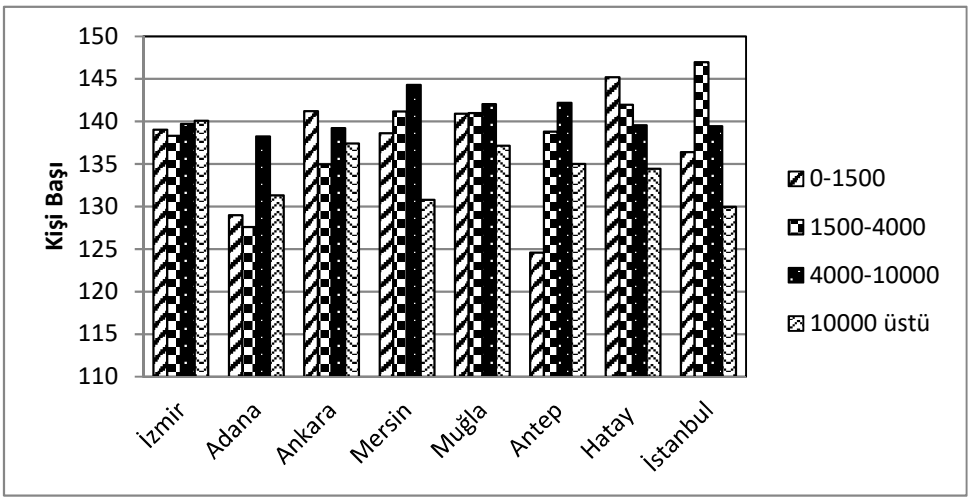
Anketler 190 ilkokul, 195 ortaokul, 206 lise, ve 209 üniversite mezunu sürücü üzerinde yapılmaktadır. İlkokul ve ortaokul mezunları birlikte değerlendirilirken lise ve üniversite mezunları ayrı ayrı puanlandırılmaktadır. Bu grafiğe göre; illere göre ilkokul-ortaokul, lise ve üniversite ayrı ayrı değerlendirilip puanlama yapıldığında Şekil 2'deki sonuçlar elde edilmektedir. Bu grafiklerden illere göre yapılan değerlendirmede sorulara verilen cevaplara göre; İlkokul-ortaokul eğitim düzeyinde en az puanı Gaziantep ilinin, en çok puanın ise Hatay ilinin aldığı görülmektedir. Lise mezunları incelendiğinde ise en az puanın Adana ilinde en çok puanın İstanbul ilinde alınmaktadır. Üniversite mezunlarından alınan cevaplarda ise en az puan Mersin ilinde en çok puan Muğla ilinde alınmaktadır. İllerin puan ortalamaları incelendiğinde lise mezunlarının ortalaması 139,05 ile trafikte diğer sürücülere kıyasla daha duyarlı çıkmaktadır. En az puana sahip sürücülerin eğitim seviyesi 137,51 puan ile ilkokul-ortaokul mezunları çıkmaktadır. Üniversite mezunlarının ortalaması ise 138,00'dır. Genel duruma bakıldığında eğitim seviyesinin artışı sürücülerin trafikteki karakteristiklerini olumlu yönde etkilemektedir.



Şekil 2. Sürücü eğitim durumuna göre trafik davranışı

4.3. Gelir düzeyine göre değerlendirme

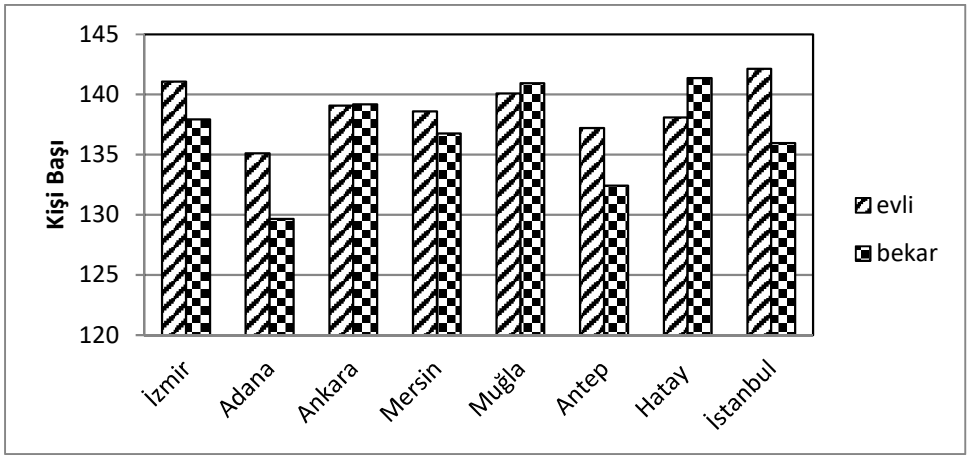
Gelir düzeyi 0-1500 tl arasında olan sürücüler 194 kişi, 1500-4000 tl arasında 190 kişi, 4000-10000 tl arasında 202 kişi, 10000 tl üstünde olan 218 kişi üzerinde anket yapılmaktadır. İllere göre gelir düzeyleri ayrı ayrı değerlendirilip puanlama yapıldığında Şekil 3'teki sonuçlar elde edilmektedir. Gelir düzeyinin artışına bağlı olarak sürücü davranışlarının değişimi incelendiğinde gelir düzeyi 10000 TL üstü sürücülerde trafik davranışında bozulmalar yaşandığı görülmektedir. Şehirler bazında sürücüler incelendiğinde İzmir ilinde gelir düzeyinin artışı trafik davranışlarının değişimini çok etkilememektedir. Hatay iline bakıldığında gelir düzeyinin artışı ile beraber trafikteki sürücü davranışları da bozulmaya gitmektedir. Diğer iller incelendiğinde gelir düzeyine bağlı düzenli bir trend görülememektedir.



Şekil 3. Sürücü gelir düzeyine göre trafik davranışı

4.4.Medeni haline göre değerlendirme

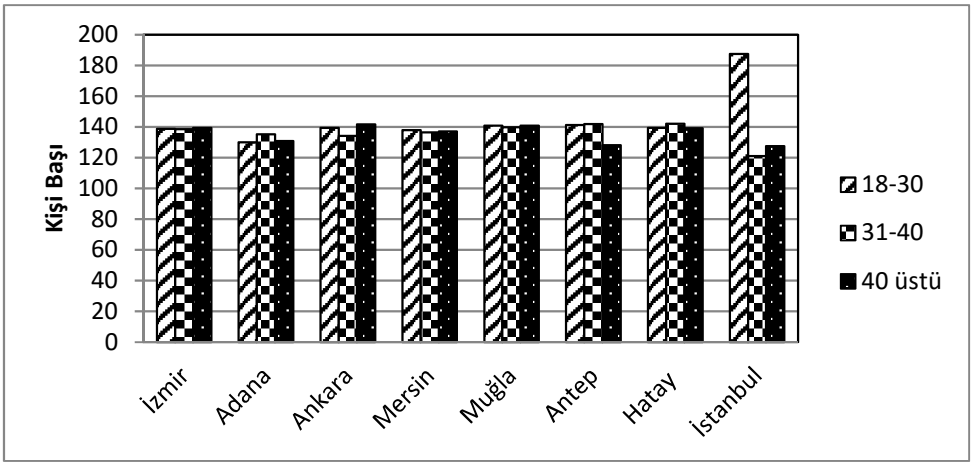
Bu değerlendirme 391 evli ve 407 bekâr kişi tarafından yapılmaktadır. Medeni hale göre yapılan değerlendirmede evli ve bekâr sürücülerin trafikteki davranışlarının değişimi Şekil 4'te görülmektedir. İzmir, Adana, Mersin, Gaziantep ve İstanbul illerinde evli sürücülerin trafikte daha dikkatli olduğu görülmektedir. Ankara, Muğla ve Hatay'da ise bekâr sürücülerin daha dikkatli olduğu göze çarpmaktadır. Tüm illerde sürücüler değerlendirildiğinde evli sürücülerin puan ortalaması 138,93, bekâr sürücülerin ortalaması ise 136,78 puandır. Sürücülerin evli olması ile birlikte sosyal hayatında sorumluluklarının artışıyla, trafikteki davranışlarında düzelmeler meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4. Sürücü medeni haline göre trafik davranışı

4.5.Sürücü yaş grubuna göre değerlendirme

Bu değerlendirmede üç farklı yaş grubunun sürücü davranışlarındaki değişime etkisi incelenmektedir. Yaş aralıkları 18-30 yaş,31-40 yaş ve 41 ve üzeri olarak gruplandırılmaktadır. Puanlama dağılımları illere göre Şekil 5'te verilmektedir. İstanbul ili dışındaki illerde yaş aralığının değişimi puanlama üzerinde büyük bir etki yaratmamaktadır. İstanbul ili incelendiğinde 18-30 yaş aralığı sürücülerin diğer illere ve İstanbul'daki diğer yaş grubu sürücülere oranla trafikte oldukça dikkatli olduğu görülmektedir. Genel trende bakıldığında puanlama 18-30 yaş aralığı için 144,41, 31-40 yaş aralığı için 136,16, 40 yaş üstü için 135,57 çıkmaktadır. Sürücülerde yaşın artmasıyla birlikte sürücü puanlamalarında azalma görülmektedir.

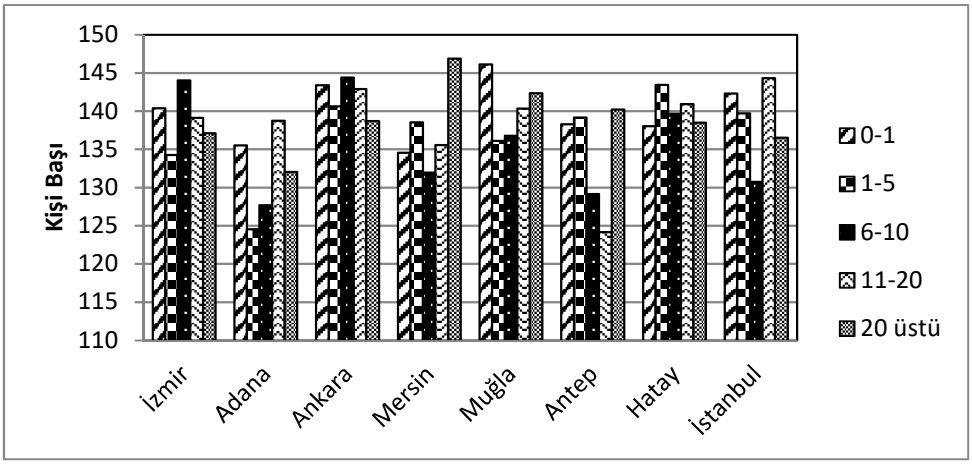


Şekil 5. Sürücü yaş grubuna göre trafik davranışı

4.6.Ehliyet sahipliliğine göre değerlendirme

Bu değerlendirme ehliyet sahipliliğinin süresine bağlı olarak yapılmaktadır. Yıl aralıkları 0-1, 1-5, 6-10, 11-20, 20 yıldan fazla olacak şekilde belirlenmektedir. Yıl

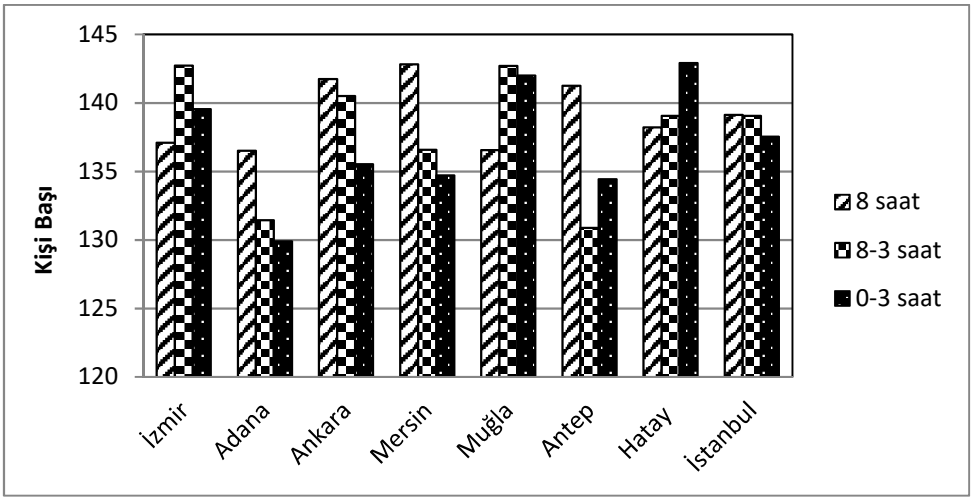
aralıklarına göre sürücülerin verdiği cevaplar puanlanarak Şekil 6'daki grafik elde edilmektedir. İllere göre bakıldığında ehliyet sahipliliğinde puanlamada belirgin bir trend yakalanamamaktadır. Genel olarak bakıldığında 0-1 yıl arası ehliyete sahip sürücülerin ortalama puanı 139,83, 1-5 yıl arası için 137,05, 6-10 yıl arası için 135,55, 11-20 yıl arası için 138,26, 20 yıl üstü için 139,03 çıkmaktadır. Ehliyet sahipliliği 10 yıla ulaşıncaya kadar sürücülerin ortalama puanları düşmekte 10 yıldan sonra sürücülerdeki yetişkinlik seviyesi arttıkça trafikteki davranışları da olumlu yönde artış göstermektedir.



Şekil 6. Sürücü ehliyet sahipliliğine göre trafik davranışı

4.7.Sürücü olarak trafikte harcanan vakte göre değerlendirme

Bu değerlendirme günlük trafikte sürücülerin bulunduğu saate göre değerlendirilmektedir. Saat aralıkları 8 saatten fazla, günde 8-3 saat arası ve günde en fazla 3 saat olarak belirlenmektedir. Puanlama sonuçları Şekil 7'de görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi Adana, Ankara, Mersin ve İstanbul illerinde günlük trafikte harcanan vakit azaldıkça sürücü puanları azalmaktadır. Hatay ilinde bu eğilim tam tersidir. Genel trende bakıldığında 8 saatten fazla vakit geçiren sürücülerin puanı 139,17, 8-3 saat aralığı için 137,87, 0-3 saat aralığı için 137,07 çıkmaktadır. Buradan anlaşılacağı gibi trafikte harcanan süre azaldıkça sürücü davranışı olumsuz yönde etkilenmektedir.



Şekil 7. Sürücünün günlük trafikte harcadığı saate göre trafik davranışı

Sonuç

Çalışma da 799 sürücü üzerinde trafik davranış anketi yapılmaktadır. Sürücülerin trafikteki sürüş esnasında verdikleri tepkiler anket üzerinde puanlandırılmaktadır. Sürücülerin puanları cinsiyet, eğitim durumu, gelir düzeyi, medeni hali, yaş grubu, ehliyet sahipliliği, trafikte harcanan süreye göre değerlendirilmektedir. Bu başlıklar altında sürücüler aynı zamanda yaşadıkları çevrenin etkilerini de incelemek amacıyla bulundukları illere göre de gruplandırılmaktadır.

Sürücülerin cinsiyetine göre analiz yapıldığında kadınların puan ortalaması 138,48, erkeklerin puan ortalaması ise 137,56 çıkmaktadır. Bu da kadınların trafikte erkeklere göre daha duyarlı davrandığını göstermektedir. Sürücülere kadınlar mı erkekler mi trafikte daha dikkatsiz sorusu yöneltildiğinde, sürücülerin hemcinslerinin trafikte daha dikkatsiz olduğunu, karşı cinsin daha dikkatli olduğunu söylemektedir.

Eğitim durumuna göre inceleme yapıldığında trafikte en duyarlı sürücü grubu 139,05 ortalama puan ile lise mezunudur. En az puana sahip sürücülerin eğitim seviyesi ise ilkokul-ortaokul mezunu sürücü grubudur. Üniversite mezunu sürücüler incelendiğinde ise lise mezunlarına göre trafikte daha dikkatsiz davranmaktadır.

Sürücülerin gelir düzeylerine göre puanlamalarına bakıldığında 10000 TL gelirli sürücülere kadar puanlamalar artmakta, 10000 TL üstü gelirden sonra sürücü davranışlarında bozulmalar meydana gelmektedir.

Sürücü medeni haline göre gruplandırıldığında, evli sürücülerin bekârlara kıyasla trafikte daha dikkatli olduğu görülmektedir. İnsanlarda evliliğin getirdiği sorumluluklarla birlikte daha bilinçli davrandıkları görülmekte ve bu da trafikte davranışlarına yansımaktadır.

Sürücüler yaş gruplarına göre değerlendirildiğinde, yaş ilerledikçe sürücülerin aldıkları puanlar azalmaktadır. Sürücülerin yaşları ilerledikçe trafikte daha dikkatsiz davrandığı görülmektedir.

Ehliyet sahiplilik süresine göre sürücüler incelendiğinde sürücüler ilk ehliyet aldığında oldukça dikkatli olduğu fakat tecrübe kazandıkça daha dikkatsiz davrandıkları görülmektedir. Ehliyet sahiplilik süresi 10 yılın üzerine çıktıkça sürücülerin puanları artmakta, yani trafikte daha dikkatli olmaya yönelim olduğu dikkat çekmektedir.

Sürücüler günlük trafikte harcadıkları sürelere göre gruplandırıldığında, en çok vakit harcayan sürücülerin trafikte daha dikkatli olduğu ve trafik kurallarına uyduğu, trafikte günlük harcanan vakit azaldıkça sürücülerin daha dikkatsiz olduğu belirlenmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde sürücülerin yaşam koşullarının trafik davranışları üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir. Bu çalışma sürücülerin davranışlarına yön verebilmek adına yapılacak gelecek çalışmalarda, sürücüleri karakterize eden etmenlerin sürücüleri ne derece ve ne yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Sürücülerin yaşadıkları iller düşünüldüğünde, her ilde sürücülerin farklı karaktere sahip olduğu ve bulunulan çevrede bir trafik kültürünün oluştuğu görülmektedir.

Referanslar

1. EGM, 2018. Trafik Kazalarına Neden Olan Kusurlar.
2. Ona, J., Ona, R., Eboli, L., Forciniti, C., Mazzulla, G. (2014). How to identify the key factors that affect driver perception of accident risk. A comparison between Italian and Spanish driver behavior. *Accident Analysis and Prevention, 73*, 225-235.
3. Gargoum, S.A., El-Basgouny, K., Kim, A. (2016). Towards setting credible speed limits: Identifying factors that affect driver compliance on urban roads. *Accident Analysis and Prevention, 95*, 138-148.
4. Hasanhanoğlu,C., (2008). *Trafikte sürücü kişilik yapısının kaza yapma olasılığı üzerine etkisinin istatistiksel incelenmesi* (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
5. Ünal, N., (2011). *toplumda bazı sürücülerde trafik kültürü* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
6. Baş, F.İ., (2015). *geçici fiziksel özelliklerden yorgunluk ve uykusuzluğun sürücü davranışları üzerine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
7. Uygun, M., (2008). *Sürücü davranış modellerinin saha verileriyle sınanması* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
8. Ulu, S., (2015). *Elektronik Denetim Sistemi (TEDES) uygulamalarının sürücü davranışları ve trafik kazaları üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi: İstanbul örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Bahçeşehir Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Taşımacılık sürelerinin tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotaları esas alınarak karşılaştırılması (Oral)

Ömer Faruk CANSIZ[1], Kevser ÜNSALAN[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey

Emails: ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, kevser.keskin@iste.edu.tr

Özet

Küreselleşme ile birlikte ulaşım sektörü büyük önem kazanmakta ve bu da ülkelerin gelişmişlik düzeylerini gösteren bir parametre haline dönüşmektedir. Ulaştırma faaliyetleri ise kurumsallaşmanın beraberinde lojistik sektörü içerisinde konuşlanmaktadır. Lojistik faaliyetler zincirinin en önemli halkalarından biriside taşımacılık süresidir. Günümüzde ticaretin küreselleşmesi ile beraber zaman eşittir nakit demektir. Bu nedenle yük taşımacılığında yükleme-boşaltmadan, nakliyeye kadar geçen süreçler büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada Hatay'ın İskenderun ilçesinde üretimi yaygın olan filtre malzemesinin iç piyasa ihtiyacı doğrultusunda Türkiye'nin dört bir yanına taşınması dikkate alınmaktadır. Rota seçiminde farklı ulaşım modlarının karşılaştırılmasının yanı sıra karma taşımacılık rotaları ile de yük aktarma istasyonlarında doğabilecek operasyonel sorunların aşılıp aşılmadığı incelenmektedir. Aynı zamanda karma taşımacılık ile ulaşım coğrafyasından kaynaklı zamansal kayıpların aşılması da incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lojistik, Taşımacılık Süresi, Tek Türlü Taşımacılık, Çok Türlü Taşımacılık

Abstract

As a result of globalization, the transportation sector is gaining great importance and this is becoming a parameter that shows the level of development of the countries. Transportation activities are included in the logistics sector along with institutionalization. One of the most important links of the chain of logistics activities is transportation time. Today, with globalization of trade, time is equal to cash. Therefore, transportation processes in freight transportation are of great importance. In this study, the four corners of Turkey's transportation needs of the domestic market in line with the common filter material in the production of Iskenderun of Hatay district are considered. In addition to the comparison of different modes of transportation in the route selection, it is examined whether the mixed transport routes and operational problems that may arise in the freight transfer stations are exceeded. At the same time, overcoming temporal losses due to multimodal transportation and transportation geography are also examined.

Keyword(s): Logistic, Transportation Time, Unimodal Transportation, Multimodal Transportation

1. Giriş

Lojistikte ulaşım modu rota seçiminde ürünün niteliğine bağlı olarak en önemli karar vericilerden biriside taşımacılık süresidir. Taşımacılık süresi bazı ürünlerin kalitesini etkileyebilmekte ve buna rağmen literatürde taşımacılık süreleri göz ardı edilmektedir (Zhang vd. (2019). Bölgeden bölgeye değişen işletme koşulları, yasal prosedürler, mevsimsel koşullardan kaynaklı taşımacılık süreleri oldukça değişken hale getirmektedir. Bu nedenle taşımacılık süresi hesaplarını bir kalıba uydurmak oldukça güçleşmektedir. Hanbazazah vd. (2019) büyük bir üçüncü parti lojistik firması için minimum maliyet ve zaman açısından lojistik operasyonel faaliyetlerin optimum seviyeye getirilmesi için bir çok parametreyi birlikte incelemektedir. Köfteci ve Gerçek (2010), çalışmalarında yük taşımacılığında rota seçimini etkileyen parametreleri ikili lojit modelleme ile analiz etmekte ve maliyet ve taşımacılık süresinin etkili olduğunu belirlemektedir.

Lojistik sektöründe taşımacılık süresini ön görülmesi oldukça önemlidir. İsabetli olmayan ön görüler beraberinde ürün sahibi ve taşıyıcı üzerinde mali açıdan birçok kayba yol açabilmektedir. Ilgın Çelik (2008) çalışmasında denizyolu taşımacılığında yükün geç tesliminden kaynaklı doğabilecek mali kayıplar üzerinde yasal prosedürlerin yaptırımlarını araştırmaktadır. Geç teslimatlar hem ürün değerini düşürebilmekte, hem de taşıyıcı firma üzerinde cezai yaptırımlara sebebiyet verebilmektedir.

Bu çalışmada taşımacılık sürelerinin karar değişkeni olduğu durumlarda rota seçimine etkisi üzerine en iyileme yapılmaktadır. Türkiye'de yük taşımacılığında karayolu taşımacılığı en hızlı taşımacılık olarak ön görülmektedir. Bu öngörünün ne derece doğruluk payının olduğu araştırılmaktadır. Ülkemizde yurtiçi yük taşımacılığında göz ardı edilen taşımacılık modlarının taşımacılık süresi bakımından sağladığı avantajlarda göz önüne serilmektedir.

2. Materyal-Metod

Bu çalışmada yük taşımacılığında yükün çıkış biriminden varış birimine kadar geçen süreçler taşımacılık süresi başlığı altında formülize edilmektedir. Ana taşımacılık modları olan karayolu, demiryolu ve denizyolu taşımacılık modlarının taşımacılık süreleri üç ana gruba ayrılmaktadır.

2.1. Karayolu Taşımacılık Süresi Hesabı

Karayolu taşımacılık süresi Denklem 1'e göre hesaplanmaktadır. Karayolunda yükün konteynere yükleme boşaltma esnasında geçen süreç 30 dakika kabul edilmektedir (Atar, (2013)). İlgili mevzuata göre karayolu taşımacılık süresi hesaplanırken sürücünün her 4,5 saatte 45 dakika zorunlu mola vermesi gerekmektedir. Sürücünün 24 saat içerisinde 9 saati aşan taşıt kullanımı yasaktır. En az iki sürücü olması durumunda her 30 saatlik periyotta her

bir sürücü en az 8 saat kesintisiz bir şekilde dinlenmek zorundadır (Karayolları Trafik Yönetmeliği, Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyma ve Denetleme Esasları). Taşıtın ortalama hızı yasal sınırlar çerçevesinde 80 km/sa alınmaktadır (Şehirlerarası çift yönlü karayollarında hız sınırı).

$$TS_{kara}=M/H+SDS+YBS \quad (1)$$

Denklem 1'de TSkara karayolu yük taşımacılığında taşımacılık süresini, M karayolu taşıma mesafesini, H taşıtın ortalama hızını, SDS sürücü dinlenme sürelerini, YBS ise yükün yükleme boşaltma süresini temsil etmektedir.

2.2. Demiryolu Taşımacılık Süresi Hesabı

Demiryolu taşımacılık süresi Denklem 2'ye göre hesaplanmaktadır. Demiryolu taşımacılığında konteynerin yükleme-boşaltma süresi 0,75 saat kabul edilmektedir (Cansız ve Ünsalan (2018)). Avrupa ülkelerinde yük trenlerinin hızı 100 km/sa'ti aşabilmekte iken, Türkiye'de yük trenleri en fazla 70 km/sa hıza çıkabilmektedir (railturkeyakademi.wordpress.com). Bu sebeple çalışmada yük treninin hızı ortalama 70 km/sa kabul edilmektedir.

$$TS_{demir}=M/H+YBS \quad (2)$$

Denklemde, TSdemir demiryolu yük taşımacılığında taşımacılık süresini, M demiryolu hat uzunluğunu, H yük treninin ortalama hızını, YBS ise konteynerin yükleme boşaltma süresini vermektedir.

2.3. Denizyolu Taşımacılık Süresi Hesabı

Denizyolu taşımacılığında taşımacılık süresi hesabında Denklem 3 dikkate alınmaktadır. Denizyolu taşımacılığında geminin limanda yükleme-tahliye süresi 3 gün kabul edilmektedir (Atar (2013)). Geminin sürati konteyner gemilerinde 2010 yılı için ortalama bir değer olan 25 knot alınmaktadır (konteyner gemileri için istatistiksel bilgiler).

$$TS_{deniz}=M/H+\lambda\times YBS \quad (3)$$

Denklemde, TSdeniz denizyolu yük taşımacılığındaki taşımacılık süresini, M mil biriminde mesafeyi, H geminin süratini, λ katsayısı liman da operasyonel ve iklimsel faktörlerden doğacak gecikmeleri yansıtan katsayı, YBS ise limanda geminin yükleme-tahliye süresini göstermektedir

3. Bulgular

Çalışma da Hatay'dan Türkiye'nin tüm illerine konteyner taşımacılığı için taşımacılık süresine bağlı rota en iyilemesi yapılmaktadır. Öncelikle çalışmanın ilk bölümünde Hatay'dan

tüm illere tek türlü ve çok türlü taşımacılık rotaları çıkartılmaktadır. Ulaşım coğrafyasına bağlı olarak Hatay'dan 71 şehre tek türlü karayolu, 39 şehre tek türlü demiryolu, 9 şehre ise tek türlü denizyolu taşımacılık rotası geliştirilmektedir. 71 şehre üç tek türlü taşımacılığın kombinasyonu ile çok türlü taşımacılık rotası oluşturulmaktadır. Üç tek türlü taşımacılığında yapılabildiği Hatay-Balıkesir hattı için örnek taşımacılık süresi hesabı aşağı da verilmektedir.

Tablo 1. Hatay-Balıkesir Hattı için tek türlü taşımacılık rotası mesafeleri

	Karayolu Mesafesi(km)	Demiryolu Mesafesi(km)	Denizyolu Mesafesi(mil)
Tek türlü karayolu rotası	1028		
Tek türlü demiryolu rotası		1129	
Tek türlü denizyolu rotası			846,04

3.1. Hatay-Balıkesir Tek Türlü Karayolu Rotası Taşımacılık Süresi Hesabı

Karayolu taşımacılığında, taşımacılık süresi hesabında seyir süresi 9 saati aşmasından kaynaklı olarak 4,5 saat sürüşten sonra 45 dakika mola ve 2. 4,5 saat sürüşten sonra 14,25 saatlik sürücüye dinlenme molası verilmektedir. Yükleme boşaltma süresi 30 dakika alınmaktadır. Karayolu taşımacılığında yapılan kabuller ile taşımacılık süresi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$TS_{kara}=M/H+SDS+YBS$

$TS_{kara}=1028\ km/80\ km/sa+(0,75\ sa+14,25\ sa)+0,5\ sa$

$TS_{kara}=28,35\ sa$

3.2. Hatay-Balıkesir Tek Türlü Demiryolu Rotası Taşımacılık Süresi Hesabı

Demiryolu taşımacılığında, TCDD'nin yayınladığı İstasyonlar Arası Mesafe ve Taşıma Ücreti raporuna göre demiryolu mesafesi 1129 km alınmaktadır. Trenin hızı, Türkiye yük trenleri standartları göz önünde bulundurulduğunda 70 km/sa alınmaktadır. Yapılan kabuller doğrultusunda demiryolu taşımacılık süresi aşağıdaki hesap ile bulunmaktadır.

$TS_{demir}=M/H+YBS$

$TS_{demir}=1129\ km/70\ km/sa+45\ dk$

$TS_{demir}=16,88\ sa$

3.3. Hatay-Balıkesir Tek Türlü Denizyolu Rotası Taşımacılık Süresi Hesabı

Denizyolu taşımacılığında, Google haritalardan çizilen rota doğrultusunda mesafe 846,04 mil bulunmaktadır. Yük gemilerinin günümüz ortalama hızına göre geminin hızı 25 knot alınmaktadır. Yükleme boşaltma süresi 3 gün kabul edilmektedir. λ liman operasyonel ve mevsimsel süreçlerden kaynaklı gecikme katsayısı herhangi bir gecikmenin olmadığı kabul

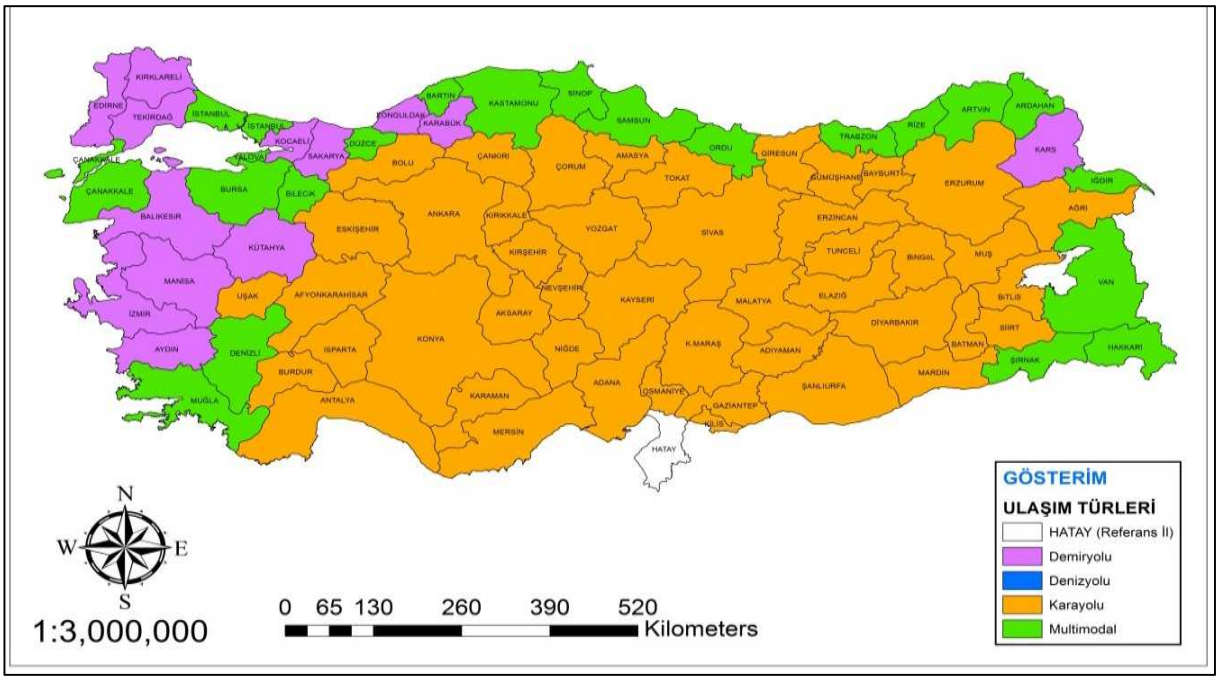
edilerek 1 alınmaktadır. Yapılan kabuller doğrultusunda denizyolu taşımacılık süresi hesabı aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

$TS_{deniz}=M/H+\lambda \times YBS$

$TS_{deniz}=846{,}04\ mil/25\ knot+1\times 3\ gün$

$TS_{deniz}=33{,}84\ sa+3\ gün=105{,}84\ sa$

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda Hatay'dan Türkiye'nin tüm illerine konteyner taşımacılığı için rota en iyilemesi sonuçları Şekil 1'deki haritada görülmektedir. 46 ilde tek türlü karayolu taşımacılığı, 13 ilde tek türlü demiryolu taşımacılığı, 21 ilde ise çok türlü taşımacılık rotası en hızlı rota olarak çıkmaktadır. Harita incelendiğinde Hatay'a yakın olan illerde en hızlı taşımacılığın karayolu ile yapıldığı göze çarpmaktadır. Fakat karayolu taşımacılığında günlük 9 saat sürüşten sonra yasalar gereği sürücünün zorunlu dinlenmesine bağlı olarak karayolu taşımacılığında taşımacılık süreleri artmaktadır. Böylelikle karayolu taşımacılığının yerine diğer taşımacılık modları hız bakımında alternatif olarak görülmektedir. Harita da görüldüğü gibi denizyolu taşımacılığının en hızlı olduğu rota görülmemektedir. Denizyolu taşımacılığının taşımacılık süresi bakımından verimsiz olmasının sebebi liman operasyonel süreçlerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 1. Hatay'dan tüm illere yük taşımacılığında taşımacılık süresine göre en iyi rotalar

4. Sonuç

Yapılan zamana bağlı hesaplamalar sonucu Türkiye'de yurtiçi yük taşımacılığında hızlı taşımacılık olarak görülen karayolu taşımacılığının aslında ulaşım coğrafyasına bağlı olarak ve yasal kısıtlamalar doğrultusunda demiryolu ve çok türlü taşımacılığın taşımacılık

süresi bakımından alternatif taşımacılık modları olduğu dikkat çekmektedir. Taşımacılıkta doğru taşımacılık modu seçimi ile birlikte zamansal kayıpların önüne geçilebilmekte ve bununla beraber zamansal kayıpların yarattığı mali kayıplarında önüne geçilebilmektedir.

Lojistik firmaların rota belirlemede karar mercilerinin doğru analizler yapması ile birlikte rekabet güçleri artmaktadır. Bu çalışma ile özel sektörde rota seçiminde doğru taşımacılık modu seçiminin etkileri gözler önüne serilmektedir. Türkiye'nin lojistikte küresel ölçekte rekabet edebilmesi için doğru tercihler yapması gerekmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda taşımacılık modları içerisinde gecikmelere sebep olan faaliyetlerin optimize edilmesi, yeni düzenlemelerin getirilmesi ve firmaların kurumsallaşması ile taşımacılık sürelerinin düşürülmesine yönelik analizlerin yapılması gerekmektedir.

Referanslar

1. Zhang, G., Sun, J., Liu, X., Wang, G., Yang, Y. (2019). Solving flexible job shop scheduling problems with transportation time based on improved genetic algoritm. Mathematical Biosciences and Engineering, 16(3), 1334-1347.
2. Hanbazazah, A.S., Abril, L., Erkoc, M., Shaikh, N. (2019). Freight consolidation with divisible shipments, delivery time windows and piecewise transportation costs. European journal of operational research, 276, 187-201.
3. Köfteci, S., Gerçek, H. (2010). Yük taşımacılığında taşıma türü seçimi için lojistik maliyetlere dayalı ikili lojit model. İMO teknik dergi, 333, 5087-5112.
4. Ilgın Çelik, C.Ö. (2008). Denizyolu ile eşya taşımacılığında geç teslimden kaynaklanan zararlardan sorumluluk. İstanbul ticaret üniversitesi sosyal bilimler dergisi, 14, 175-202.
5. Atar, F. (2013). Kısa mesafe deniz taşımacılığının avantajları ve kombine taşımacılıktaki önemi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
6. Karayolları Trafik Yönetmeliği, Araç Kullanma ve Dinlenme Sürelerine Uyma ve Denetleme Esasları https://www.tugem.com.tr/mevzuat?mlid=2528, (28.04.2019).
7. Şehirlerarası çift yönlü karayollarında hız sınırı http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/HizSinirlari.aspx, (20.05.2019).
8. Cansız, O. F., Ünsalan, K., Cost analysis of multimodal freight transportation : a case of Iskenderun, International Journal of Advanced Engineering Research and Science, 5,5, 315-319, (2018).
9. https://railturkeyakademi.wordpress.com/2015/04/08/demiryolunda-rekabetci-cozumler-hizli-trenler/#more-399, (29.04.2018).
10. http://www.nasmaritime.com/kitap/KONTGEM-15112010-SNAS.pdf, (15.05.2018).

The Effects of Including Social Factors in Ride-Matching Algorithms on the Performance and the Quality of Matches

Omer Faruk Aydin[1], Ilgin Gokasar[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Boğaziçi University, Turkey
Emails: faruk.aydin@tau.edu.tr, ilgin.gokasar@boun.edu.tr

Abstract

Advancement in communication technologies has fostered alternative transport modes, such as ride-sharing. Ride-sharing aims to increase vehicle occupancy rates by matching riders with the drivers, who have empty seats on their vehicles and have similar routes and time schedules. Regarding to the success of a ride-sharing system, many researchers have been interested in efficient ride-matching algorithms. Ride-matching optimization problem is considered as NP-Hard Problem. In most of the ride-matching algorithms in the literature, to be able find matches at short notice some parameters were omitted. Hence, social characteristics and choices of participants, such as gender, age, employment status and willingness to socialize, were not included in many ride-matching algorithms. In this paper, the effects of including such factors in a ride-matching algorithm on the performance and the quality of the matches are investigated. Several ride-matching algorithms in the literature are simulated with randomly generated data. The simulation results show that when social factors are included the computation times and the quality of the matches increase significantly.

Keyword(s): Dynamic ride-sharing, ride-matching, social parameters, transportation

1. Introduction

Traffic congestion is one of the most important problems of modern cities. A significant shift from public transport towards private vehicles has been observed despite of increasing oil prices, parking problem and traffic congestion (European Environment Agency, 2005). On the other hand, while most private vehicles can transport 4 passengers, occupancy rates in private vehicles are very low. Occupancy rates in private vehicles were found to be 1.45 in European Countries in 2015, where this ratio is 1.42 in Germany, 1.3 in Netherlands and 1.58 in the UK (European Environment Agency, 2015). To decrease traffic congestion by increasing occupancy rates, many alternative transport modes have been studied such as ride-sharing.

Ride-sharing can be defined as matching riders who have no vehicle, with the drivers who have empty seats in their vehicles and have similar itineraries and time schedules. The history of ride-sharing can be traced back to the 1940s. At the time it was applied to conserve resources during World War II (Chan and Shaheen, 2011). Rapid growth in smartphone technologies and software packages made building an advanced ride-sharing system possible. Building an automated ride-sharing system requires ride-matching algorithms, which can optimize matches

between drivers and riders at short notice. Automated ride-matching, which optimally matches riders and drivers in real-time, plays a key role in ride-sharing (Agatz et al., 2012).

Dynamic ride-matching algorithms are very complicated systems and require a lot of attention of the researchers to overcome challenges. Ride-matching optimization problem has been considered as non-deterministic polynomial-time hard (NP-hard) problem (Gu et al., 2018; Qian et al., 2017; Herbawi and Weber, 2012). To be able to offer feasible solution approaches, some parameters such as social characteristics and choices of the participants and/or some transportation modes, such as multiple rider or multi-hop, are omitted in these problems. There are some algorithms in the literature, which considers these parameters and modes, but most of these studies did not consider computation times.

To maximize system benefits in ride-matching algorithms, a previous study has proposed a novel approach to solve the ride-matching problem by modeling it using a traditional maximum-weight bipartite matching algorithm (Agatz et al., 2011). This algorithm is based on a single rider-single driver match. It is demonstrated that the weighted bipartite matching algorithm can be used for ride-matching; however, this algorithm requires long processing times because it calculates distance savings for each rider-driver pair to determine distance savings. The algorithm also omits multiple riders-single driver matches and ignores individual preferences to simplify the problem. This algorithm aims to increase the number of matches. This approach would not encourage people to be included in ride-sharing systems; even should users specify a deadline for their travel request, they do not like to wait long (Nielsen et al., 2015). This study is extended by adding social parameters as constraints, but solution approach for this problem is not offered (Ghoseiri et al., 2011).

A novel biosequence based ride-matching algorithm is created to optimize matches when considering participants' gender, age, employment status and social tendencies (Aydin, 2019). This algorithm aims to maximize social compatibility between drivers and riders. To allow multiple riders, this algorithm assumed routes of the drivers are fixed. A biosequence matching algorithm, namely Needleman-Wunsch algorithm, is used to check the similarity of routes of drivers and riders. First comes first served approach is utilized in this algorithm to solve the problem at short notice.

In this paper, several dynamic ride-matching algorithms in the literature are modelled with different setups, such as including social parameters, using different driver capacities and allowing multiple riders. To evaluate effects of including social parameters, these algorithms are simulated using the same data and performance of the algorithms and quality of matches are evaluated. The data used in the simulation study are randomly generated.

The remainder of the paper is structured as follows. In Section 2, the ride-matching algorithms are presented. Section 3 describes the details of the simulation process. In Section 4 and 5, performance of the ride-matching algorithms and quality of matches are analyzed. In Section 6, the findings of the study are summarized and directions for the future studies are discussed.

2. Ride-Matching Algorithms

2.1. Biosequence Based Ride-Matching Algorithm

The biosequence based ride-matching algorithm utilizes social parameters, namely gender, age, employment status and willingness to socialize. The objective function of this algorithm is to maximize social compatibility between drivers and riders (Aydin, 2019).

To score social compatibility, a parameter, Joint Socialness Score (JSS), is defined. The JSS is calculated as follows:

$$\gamma^{rd} = x_g^{rd}\gamma_g^r\gamma_g^d + x_a^{rd}\gamma_a^r\gamma_a^d + x_w^{rd}\gamma_w^r\gamma_w^d + x_\sigma^{rd}\gamma_\sigma^r\gamma_\sigma^d. \quad \text{(Eq. 1)}$$

In Equation 1, weights of the social parameters of the rider *r* and a feasible driver *d* are multiplied to calculate the JSS, γ_{rd}, The social parameters are gender weight γ_g, age weight γ_a, employment status weight γ_w and willingness to socialize weight γ_σ. The variable *x* is a variable, which equals to positive one if the social characteristics are the same and negative one if they are different. Table 1 shows a sample calculation of the JSS.

Table 1 – An illustrative example of the computation of JSS

	Driver $d1$		Rider $r1$			
	Characteristics	Factor	Characteristics	Factor	x_{rd}	Scores
Gender	male	1	female	5	-1	-5
Age	18-25	3	25-40	4	-1	-12
Employment	TAU	4	TAU	4	1	16
Socialness	Yes	5	Yes	3	1	15
Total score						14

In Table 1, driver *d1* represents a male driver with an age of between 18-25 who works at the TAU. Driver *d1* claims that the weights of a rider's gender, age range and working place are one, three and four out of five, respectively. Driver *d1* also claims that he wants to meet a new person on a ride with an weight factor of five. On the other hand, rider *r1* represents a female rider with an age of between 25-40 who also works at TAU. Her weight factor for willingness to meet a new person on a ride is three. As mentioned previously, the binary variable x_{rd} equals to positive one if social characteristics of a driver and a rider are the same and negative one otherwise. In the example given in Table 1, x_{rd} is found to be negative one for gender and age because the driver and the rider's gender and age range are not the same. x_{rd} is found to be positive one for employment and socialness because they are working at the same location and they both want to meet with new people on a ride. In this situation, the score for gender becomes

1x5x(-1) = (5). When the scores for the other characteristics are calculated the same way, the JSS is calculated by simply adding the scores of each characteristic.

This algorithm assumes that routes of drivers are fixed before the beginning of a ride. Therefore, multiple riders-single driver match is possible. This algorithm utilizes first comes first served approach, so that the matches found by the algorithm may not give the best result when the overall system benefit is considered. On the other hand, due to first comes first served approach, the algorithm shows good computation time performance. The social parameters are not utilized as constraints. A match is considered as feasible if the routes and time schedules of the participants are compatible and capacity of the vehicle is adequate.

The objective function is calculated separately for each rider. First, the objection function of the rider with the earliest trip announcement time is calculated. After this rider is matched using the objective function, the next rider is selected, and the process is repeated. The flowchart of the biosequence based ride-matching algorithm is depicted in Figure 1.

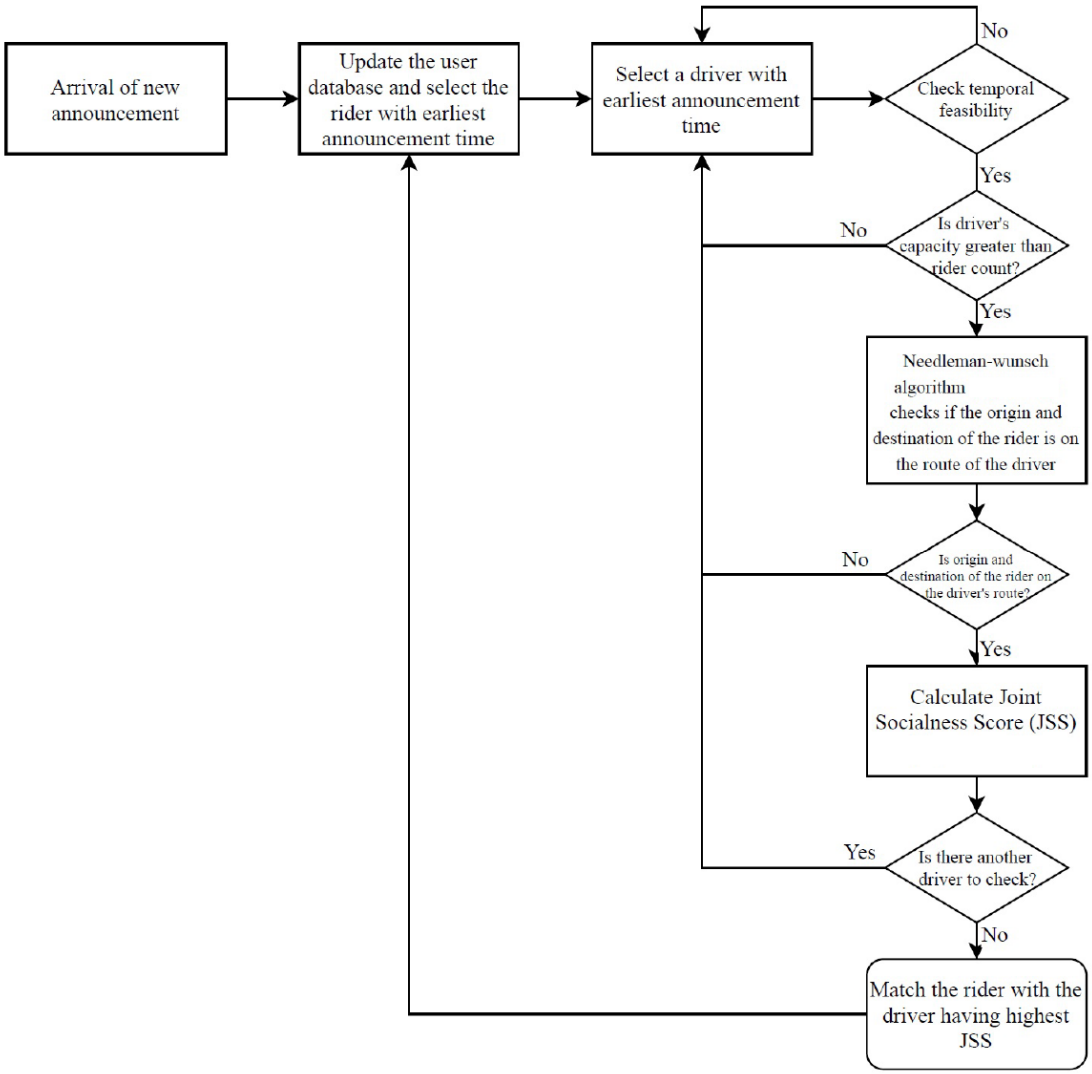


Figure 1 – Flowchart of the biosequence based ride-matching algorithm (Aydin, 2019)

2.2. Weighted Bipartite Ride-Matching Algorithm

The weighted bipartite matching algorithm can be constructed using several different objective functions, such as maximizing total distance savings, number of matches or fuel savings. In this paper, one of most preferred objective function, maximizing system-wide distance savings, are selected. This algorithm allows only single rider-single driver matches, because drivers fix their routes to pick up riders. It also ignores the choices of participants. This study is extended by adding social parameters as constraints (Ghoseiri, 2011).

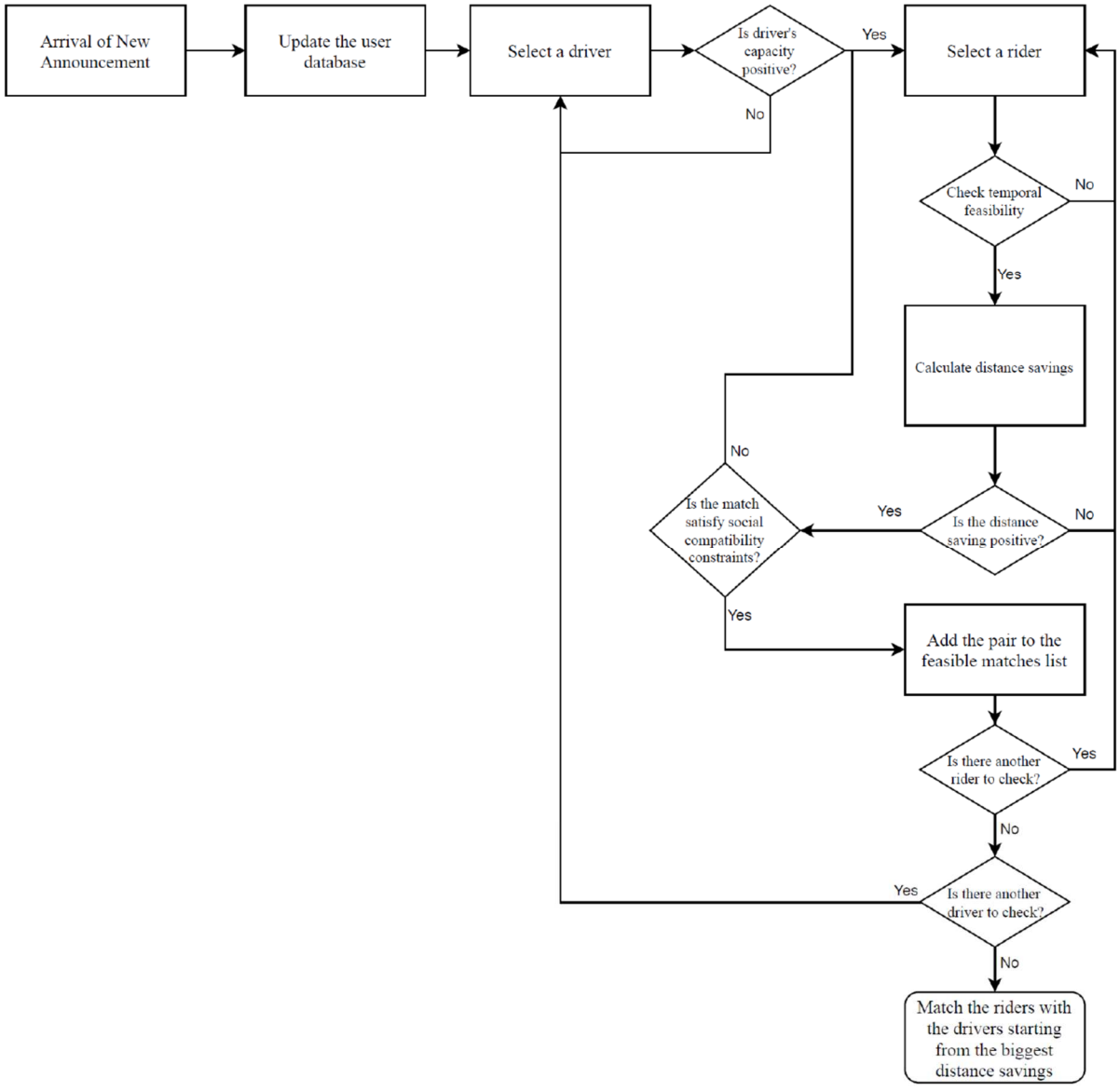


Figure 2 – Flowchart of the weighted bipartite matching algorithm (Aydin, 2019)

The algorithm builds arcs between each rider and each driver. These arcs are considered feasible if they create positive distance savings. Distance savings are calculated using the following equation (Agatz, 2011):

$$\sigma_{(i,j,k,l)} = d_{o_i d_i} - (d_{o_i k} + d_{kl} + d_{l d_i}) + \sum_{j \in R} (d_{o_j d_j} - (d_{o_j k} + d_{l d_j})). \quad \text{(Eq. 2)}$$

In Equation 2, distance savings are calculated for the scenario in which driver *i* picks up rider *j* from point *k* and drops him or her off at point *l*. To maximize system-wide distance savings, the calculations of distance savings are performed for all possible matches before any match is finalized. The matches are then finalized, starting with the match that offers the highest distance savings. Since all participants in the system must wait for the algorithm to make calculations for all possible matches, it takes a relatively long time to find a match for a participant. The flowchart of the weighted bipartite algorithm including social factors is presented in Figure 2.

3. Simulation Process

All matching algorithms were modeled in Python 2.7. Their performances were measured on a computer with an i5 2.7 GHz processor and 8 GB of RAM. All ride-matching algorithms were simulated using the same data and the same computer. To conduct a computational study, 1000 drivers and 1000 riders were randomly generated including their routes, origin/destination locations and social parameters. Drivers and riders are selected randomly from the generated data pool.

The algorithms were tested using different scenarios. To measure the effects of including social parameters in an algorithm the biosequence based algorithm and weighted bipartite matching algorithm are simulated with different number of riders, number of drivers, capacities and JSS limits. Each case is simulated 5 times to eliminate the effects of stochastic behavior.

4. Performance of the Ride-Matching Algorithms

Computation times of the matching algorithms with different combinations of independent variables are examined using multiple regression analysis. Model summary and regression analysis results are given in Table 2 and 3, respectively.

Table 2 – Model summary of the regression for computation times

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	0.4790	0.2293	0.2266	26.3979

R^2 value of 0.2293 shown in Table 2 states that the regression model explains 22.93% of the relationship between coefficients and computation times. Table 3 shows that only number of riders and drivers are significantly important for the computation times. Increase in the

number of riders and drivers cause significant increase in computation times. The relationship between number of riders and computation times are depicted in Figure 3.

Table 3 – Coefficients of the regression for computation times

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	-41.112	5.454		-7.538	0.000
	Number_of_riders	0.436	0.029	0.398	14.975	0.000
	Number_of_drivers	0.439	0.029	0.400	15.054	0.000
	Capacity	0.364	0.907	0.010	0.401	0.688
	JSS_Limit	0.015	0.016	0.024	0.906	0.365

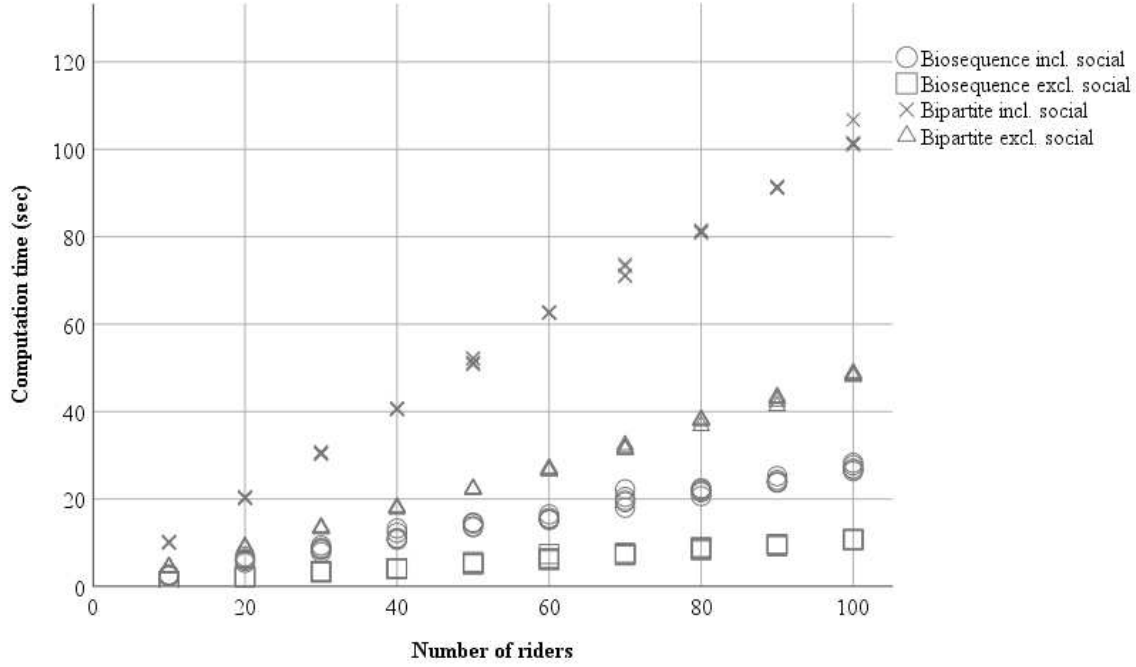


Figure 3 – Computation times versus number of riders for the algorithms

Figure 3 shows that including social parameters increases computation times of the weighted bipartite algorithm and biosequence based algorithm. The descriptive analysis for each algorithm is given in Table 4.

Table 4 – Descriptive analysis of computation times for each algorithm

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
Biosequence inc. social	412	13.9022	6.8767	0.3388
Biosequence exc. social	413	8.1387	4.7104	0.2318
Bipartite inc. social	413	68.5130	31.9897	1.5741
Bipartite exc. social	430	31.1825	14.6050	0.7043

Mean computation times given in Table 4 states that including social factors causes 71% increase in computation times for biosequence based algorithm and %220 increase for weighted bipartite algorithm. Average computation times of biosequence based algorithm are significantly lower than weighted bipartite algorithm because biosequence based algorithm utilizes first comes first served approach.

5. Quality of Matches

The importance of social parameters for matching riders and drivers in a ride-sharing system has been discussed in the literature. To achieve critical mass in ride-sharing, considering social parameters can be seen as one of the key factors (Agatz, 2012; Shaheen et al., 2016). In this paper, the quality of matches found by the algorithms are measured by analyzing the similarity between their choices and the matches. The similarities are scored by calculating the average JSSs of the matches found by the algorithms.

The simulation results of the biosequence algorithm and weighted bipartite algorithm including or excluding social parameters are shown in Figure 3. In this Figure, the average of JSS scores of the matches found by the algorithms under different JSS limits are depicted.

Figure 4 shows that including social parameters in the algorithms show better JSSs, even should there is no limit for JSS. This is because, the objective function of the biosequence matches riders and drivers, who have the highest JSS. Similarly, social parameters constraints used by the weighted bipartite algorithm eliminate the matches when there are one or more social parameters that are not compatible for drivers and riders. When there are no JSS limit, the average JSSs found by the algorithms are 26.43, -0.18, 23.65 and 1.32 for the biosequence algorithm including social parameters, biosequence based with excluding social parameters, weighted bipartite algorithm including social parameters and weighted bipartite algorithm excluding social parameters, respectively.

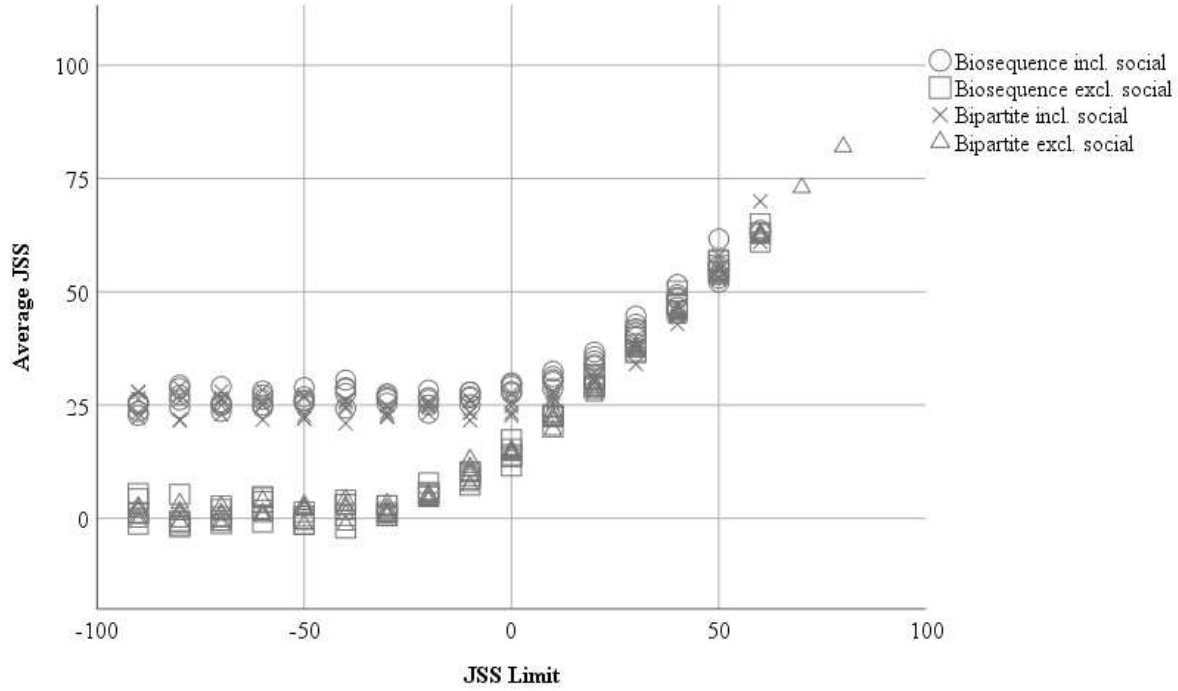


Figure 4 – Average JSSs versus JSS limit for the algorithms

When a JSS limit is set, average JSSs of the matches found by the algorithm increases because the matches having lower JSSs than the JSS limit are eliminated. Therefore, the number of matches decreases with increasing JSSs. The relationship between the number of the matched riders and JSS limit is shown in Figure 5.

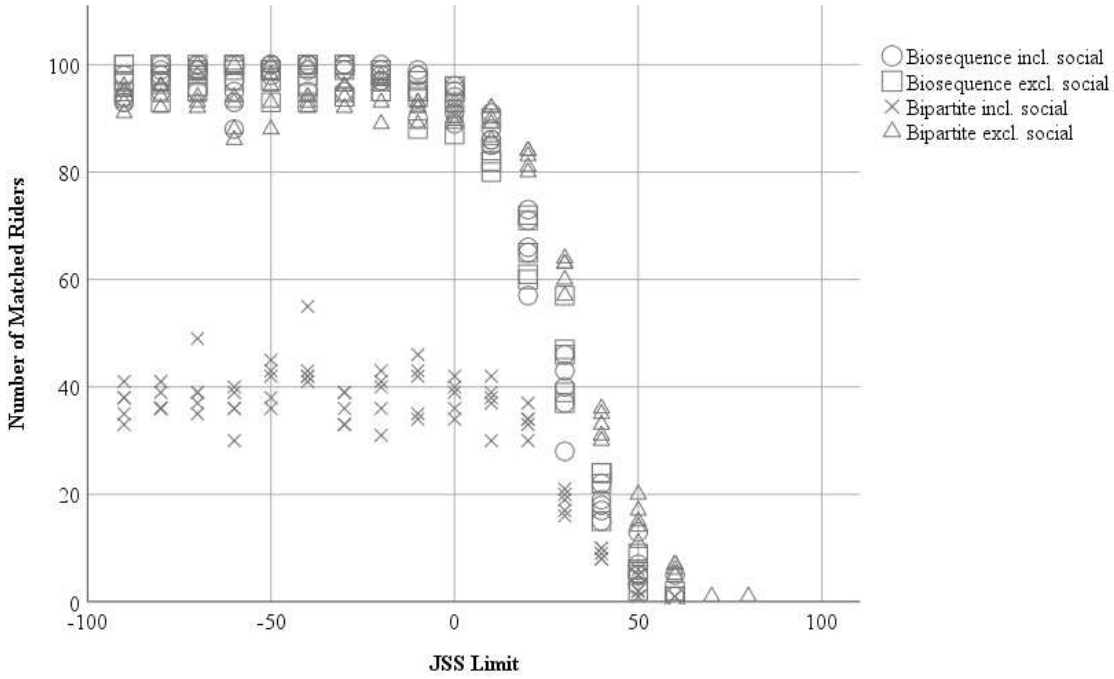


Figure 5 – Number of matched riders versus JSS limit

Figure 5 shows that number of the matched riders significantly drops, when a JSS limit is set that is higher than the average JSSs found by the algorithms where no limit is set. The relationship between the average JSSs of the matches found the algorithms and number of matched riders are examined using regression analysis. Model summary and regression analysis results are given in Table 5 and 6, respectively.

Table 5 – Model summary of the regression for average JSSs

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,800	0.640	0.639	10.91

Table 6 – Coefficients of the regression for average JSSs

		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		
Model		B	Std. Error	Beta	t	Sig.
1	(Constant)	52.180	1.314		39.711	0.000
	Number_of_matched_riders	-0.419	0.018	-0.800	-23.565	0.000

R^2 value of 0.640 shown in Table 5 states that the regression model explains 64% of the relationship between average JSSs and number of matched riders. Table 6 shows that number of matched riders are statistically significant to describe average JSSs. The regression results explain that when JSS limit is increased by one, number of matched riders decreases by 0.419. Consequently, it can be concluded that higher quality of the matches can be achieved but it costs reduction of number of matches.

6. Conclusion and Discussion

Advancement in technology, especially smartphones, brings important advantages for ride-sharing. Dynamic ride-sharing system requires automated ride-matching. Ride-matching algorithms are at the center of ride-sharing systems that optimize matches between people with similar routes and schedules at short notice. Yet, computation times of these algorithms and the quality of the found matches are still studied by many researchers. In this paper, several ride-matching algorithms in the literature are modeled, simulation study is conducted and the results of the simulation study are analyzed. It is aimed (1) to present the effects of including social parameters and/or allowing different options, such as multiple rider-single driver match, on the performance of an algorithm and (2) to analyze the quality of the matches found by the algorithms.

The computation time of an algorithm is directly proportional to the number of computation. Therefore, including social parameters causes decrease in performance of the algorithms for biosequence based algorithm and weighted bipartite matching algorithm. Furthermore, first comes first served approach causes the most significant decrease in computation times but this approach does not promise to find the best possible matches in the system. As a result, it can be concluded that including social parameters has negative effect on the performance, whereas utilizing first comes first served approach positive effect. Consequently, while creating an algorithm, a trade-off analysis should be done to decide which variables to include or exclude.

Achieving critical mass in ride-sharing has been widely discussed in the literature, yet it is not achieved in real world. To achieve critical mass in ride-sharing, social characteristics and choices of participants should be analyzed. Most ride-matching algorithms omitted choices of participants that may lead participants to reject the matches found by the algorithms. Thus, in this paper, the quality of the matches is measured by scoring the similarity between social characteristics and choices of the matched participants. The results show that including social parameters in the algorithms has significant effect on the quality of matches. When objective function of the algorithm is to maximize social compatibility of riders and drivers, the quality of matches significantly increases while the number of found matches did not change. Similarly, when the social parameters are used as constraints in the weighted bipartite algorithm, the quality of matches are found to be significantly higher than the same algorithm excluding social parameters. On the other hand, number of matches decreases, because if one of the characteristics and choices of the participants are not compatible, the match is eliminated. Thus, many matches having low quality score were eliminated and average quality of the matches increased. As a result, including social parameters in a ride-matching algorithm and/or setting a limit for social compatibility score are very important for the quality of the matches but number of found matches may decrease. In the future, case studies should be conducted to measure the necessity of setting a limit for social compatibility so that number of matches can be maximized while satisfying enough social compatibility quality for potential participants.

As a conclusion, the performance of a ride-matching algorithm and quality of the matches found by an algorithm depends on the variables used in the algorithms. Including social parameters increase the quality of matches significantly while decreasing computation time performance. Furthermore, first comes first served approach cause significant decrease in computation times. In the future, it would be intriguing to analyze trade-off costs of such variables on the performance and quality of the algorithms using data from real world instances.

References

1. Agatz, N. A., A. L. Erera, M. W. Savelsbergh and X.Wang. (2011). Dynamic ride-sharing: A simulation study in metro Atlanta, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 45, No. 9, pp. 1450-1464.
2. Agatz, N., A. Erera, M. Savelsbergh and X. Wang. (2012). Optimization for dynamic ride-sharing: A review, *European Journal of Operational Research*, Vol. 223, No. 2, pp. 295-303.

3. Aydin, Ö. F. (2019). A Biosequence Based Ride-Matching Algorithm that Takes into Account Social Factors, *Ph.D. Thesis, Boğaziçi University, Department of Civil Engineering*.
4. Chan, N. D. and S. A. Shaheen. (2012). Ridesharing in North America: Past, Present, and Future, *Transport Reviews*, Vol. 32, No. 1, pp. 93-112.
5. European Environment Agency. (2005). Household consumption and the environment, 11, *European Environment Agency*, https://www:eea:europa:eu/publications/eea_report_2005_11.
6. European Environment Agency. (2015). Occupancy rates of passenger vehicles, *European Environment Agency*, https://www:eea:europa:eu/data-and-maps/indicators/occupancy-rates-of-passenger-vehicles/occupancy-rates-of-passenger-vehicles.
7. Agatz, N. A., A. L. Erera, M. W. Savelsbergh and X.Wang. (2011). Dynamic ride-sharing: A simulation study in metro Atlanta, *Transportation Research Part B: Methodological* , Vol. 45, No. 9, pp. 1450 { 1464, 2011, http://www:sciencedirect:com/science/article/pii/S0191261511000671.
8. Ghoseiri, K., Haghani, A. and Hamedi, M. (2011). Real-Time Rideshare Matching Problem, *Ph.D. Thesis, University of Maryland, Department of Civil and Environmental Engineering.*
9. Gu, Q.-P., J. L. Liang and G. Zhang. (2018). Algorithmic analysis for ridesharing of personal vehicles, *Theoretical Computer Science*, Vol. 749, pp. 36-46.
10. Herbawi, W. and Weber, M. (2012). A genetic and insertion heuristic algorithm for solving the dynamic ridematching problem with time windows", *Proceedings of the Fourteenth International Conference on Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pp. 385-392.
11. Nielsen, J. R., H. Hovmoller, P.-L. Blyth and B. K. Sovacool. (2015). Of “white crows" and “cash savers:" A qualitative study of travel behavior and perceptions of ridesharing in Denmark, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 78, pp. 113-123.
12. Qian, X., W. Zhang, S. V. Ukkusuri and C. Yang. (2017). Optimal assignment and incentive design in the taxi group ride problem, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 103, pp. 208-226.
13. Shaheen, S. A., N. D. Chan and T. Gaynor. (2016). Casual carpooling in the San Francisco Bay Area: Understanding user characteristics, behaviors, and motivations, *Transport Policy*, Vol. 51, pp. 165-173.

Lojistik Sorunlardaki Değişimin İncelenmesi: Geçmişten Günümüze Hatay Yük Taşımacılığı(Oral)

Ömer Faruk CANSIZ[1], Kevser ÜNSALAN[2], Oğuzhan KAYA[3]

[1,2] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
[3]Öztrans Lojistik, Turkey
Emails: ofaruk.cansiz@iste.edu.tr, kevser.keskin@iste.edu.tr, oguzhankaya@msn.com

Özet

Lojistik sektöründeki sorunların yıllara göre değişiminin incelenmesi, taşımacılığa ait politikaların geliştirilmesinde önemlidir. Bu çalışmada Hatay ili için yapılan lojistik sorunları ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar incelenerek, günümüzdeki sorunlarla karşılaştırılmaktadır. 2007 ve 2010 yılında yapılan çalışmalarda belirtilen sorunlar detaylı olarak incelenmektedir. Bu sorunların günümüze kadar gelişimi ve günümüzdeki durumu birbirleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmektedir. Hatay'ın Suriye sınırında bir il olmasından kaynaklı problemlerden dolayı lojistikle ilgili geçmişte karşılaşılan birçok sorunun farklı şekillere evrildiği ve farklılaştığı görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada değişen lojistik sorunlarına da çözümler sunulmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Lojistik, Taşımacılık, Lojistik Sorunlar

Abstract

An examination of the changes in the logistics sector by years is important in the development of policies related to transportation. In this study, previous studies on the logistics problems for Hatay province are examined and compared with current problems. The problems mentioned in the studies carried out in 2007 and 2010 are examined in detail. The development of these problems to date and the current situation are evaluated by comparing each other. Due to the problems caused by Hatay being a province on the Syrian border, it is seen that many problems encountered in the past regarding logistics have evolved and differentiated into different shapes. In this study, solutions are offered to changing logistics problems.
Keyword(s): Logistic, Transport, Logistic Problems

1. Giriş

Günümüzde bir ürünün ucuz üretilmesinin yanı sıra, ürün maliyetlerine doğrudan etki eden lojistik giderlerinin de minimum seviyede tutulması gerekmektedir. Kurum ve kuruluşlar ancak bu şekilde küresel ölçekte rekabet ortamı yakalayabilmektedir. Ülkeler bazında düşünüldüğünde ticaretin küreselleşmesi ile birlikte küresel ölçekte taşımacılıkta önem kazanmaktadır. Bu konuda ülkeler arası ticarette engelleri kaldırmak adına ticaretin serbestleşmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır (Kara vd. 2007). Türkiye jeopolitik konumu itibariyle Asya ve Avrupa kıtalarının birleştiği transit geçiş bölgesinde yer almaktadır. Bu nedenle rekabet edebilmek için Türkiye'nin lojistik alt yapısının sürekli

yatırımlara açık olması ve gelişim göstermesi gerekmektedir. Literatürde lojistik açıdan çeşitli gelişim önerilerinin verildiği birçok çalışma bulunmakta ve bunlardan en önemli alt yapı önerilerinden lojistik köy uygulamalarıdır (Bezirci ve Dündar(2011)). Lojistik köy ile yük aktarma ve transit geçiş bölgelerinde kurumsallaşmanın önü açılmakta ve sektörde bilinçlenme artmaktadır.

Literatürde birçok lojistik sorun ve çözüm önerileri üzerine çalışmalar mevcuttur. Bu sorunlardan lojistik alanlardaki depolama alanı üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Lai (2019) askeri depolama alanlarının lokasyon problemi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanarak analiz yapmaktadır. Depolama alanları üzerine çalışmaların yanı sıra lojistik sektöründe rekabet ortamı maliyetlerin düşürülmesi ile sağlanmasından dolayı nakliye ve depolama maliyetleri üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Agrawal ve Ganesh (2018), çalışmalarında taşınan ürünün türüne bağlı olarak taşımacılık maliyetlerini optimize etmeye çalışmaktadır.

Bu çalışmada Türkiye'nin Suriye'ye açılan kapısı olan Hatay ilinin 2007 yılından 2019 yılına kadar lojistik sorunları ele alınmakta ve öneriler sunulmaktadır. İnceleme üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada 2007 yılında Kara vd. tarafından yapılmış olan Hatay lojistik sorunları ve çözüm önerileri ele alınmaktadır. İkinci aşamada 2010 yılında DOĞAKA projesi kapsamında hazırlanmış olan TR63 bölgesi için lojistik sorunların incelenmesi ve çözüm önerileri incelenmektedir. Çalışmanın son bölümünde 2019 yılı itibariyle piyasadan alınan bilgiler doğrultusunda güncel sorunlar ve çözüm önerileri gündeme getirilmektedir.

2. Türkiye'de İthalat ve İhracatta Taşımacılığın Yeri

Türkiye'de dış ticarette taşımacılıkta kullanılan taşımacılık modları denizyolu ve karayolu üzerinde yoğunlaşmaktadır. Dış ticarette en az iki taşımacılık modunun kullanıldığı kombine taşımacılık yoğun olarak kullanılmaktadır. Dünya ülkelerinde bu kombinasyon denizyolu ve demiryolu olarak göze çarpmaktadır. Türkiye'de limanlarda demiryolu bağlantısının azlığı ve karayolu taşımacılığının kapıdan kapıya taşımacılık olanağı sağlaması ile beraber taşınan eşyada daha az hasara sebebiyet vermesinden kaynaklıdır. Türkiye'de denizyolu-demiryolu kombine taşımacılığının artışına paralel olarak yurtiçi karayolu taşımacılığı üzerindeki yoğunluğun azalacağı, karayolu bakım işletme masraflarının azalacağı, taşımacılığın demiryoluna geçmesi ile taşımacılık ücretlerinin azalacağı ve firmaların rekabet ortamının artacağı aşikârdır. Ayrıca demiryolu taşımacılığı üzerindeki yoğunluğun artması ile birlikte kurumsallaşamayan karayolu taşımacılık firmalarının üzerindeki yoğunluğun azalması beraberinde taşımacılığın daha efektif yapılmasına olanak sağlamaktadır.

3. 2007 Yılındaki Lojistik Sorunlar ve Çözüm Önerileri

Kara vd. (2007) Hatay'da özellikle yaş meyve-sebze ihracatçılarının sorunları aşağıdaki gibi ulaşım modlarına göre karayolu ve denizyolu olmak üzere iki grupta toplamaktadır. Hatay'da kuzey hattından İskenderun'a kadar demiryolu hattı olmasından kaynaklı olarak, yurtdışı geçişleri için demiryolu taşımacılığı yapılamamaktadır.

3.1. Karayolu Taşımacılığı

Kara vd. (2007) Hatay'ın ihracatta karayolu taşımacılığındaki sorunlarını üç ana gruba ayırmaktadır. Birincisi uluslararası uygulamalar ve prosedürler, ikincisi Türkiye'nin yasal prosedürleri ve ekonomik altyapısı, üçüncüsü ise taşımacılık firmalarının içerisindeki sorunlardır.

Uluslararası yasal prosedürlerden kaynaklanan sorunlar ise;

- Vize alımlarının uzun sürmesi, masrafların yüksek olması alınan vizenin kısa olması
- Yol geçiş belgeleri adil dağıtılmaması ve ücretlerinin yüksek olması
- Sınır geçişleri ile konvoy uygulamaları olarak sınıflandırılmaktadır. Konvoy uygulamaları özellikle gümrüklerde sorunlara yol açmaktadır.

Türkiye'nin yasal prosedürleri ve ekonomik altyapısı ile ilgili sorunlar ise

- Yük tonajındaki sınırlamalar
- Araç yaşındaki sınırlamalar
- Akaryakıt ücretlerinin değişkenliği
- Döviz kurlarındaki dalgalanmalar

Firmalardan kaynaklı sorunlar;

- Firmaların kurumsallaşmadan uzak aile şirketleri olması
- Firmalar çalıştırdıkları sürücüleri ortak olarak almasından kaynaklı olarak, sürücülerin artışına paralel olarak firmada söz sahibi kişi sayısı artmakta, bu da firma içerisinde yetki karmaşasına yol açmaktadır.
- Sürücülerin öğrenim düzeylerinin düşüklüğü

3.2. Denizyolu Taşımacılığı

Kara (2007) Hatay ihracatında denizyolu taşımacılığından kaynaklı sorunları aşağıdaki gibi vermektedir.

- Türkiye'nin gemi filosunun azlığından kaynaklı olarak yabancı bayraklı gemilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum Türkiye'yi dışarı bağımlı ülke durumuna getirmektedir. Hal böyle olunca taşıma ücretlerinde yabancı gemiler söz sahibi olmakta ve navlun fiyatlarını yükseltmektedir.
- Denizyolu taşımacılığına talebin az olması
- Denizyolu taşımacılığı için altyapı eksiklikleri
- Firmaların daha ekonomik taşıma maliyetine sahip gemi büyüklüğü bulamaması
- Gemi sefer sıklığının az olması

3.3. Çözüm Önerileri

Kara (2007) yukarıdaki sorunlara aşağıdaki çözüm önerilerini getirmektedir.

- Taşımacılık belgeleri yeterli sayıda çıkartılması ve belge dağıtımında belirlenen kriterler doğrultusunda dağıtımının sağlanması
- İhracatçı ve taşımacı firmaların karşılıklı anlayış ve çıkarlar doğrultusunda ortak hareket etmesi
- Firmalarda kalifiye elemanların yönetime getirilmesi ile beraber firmaların öz eleştiri yapıp kendilerini toparlaması

- Denizyolu taşımacılığında liman altyapılarının iyileştirilmesi ve Türk bayraklı gemi filosunun arttırılması
- Demiryolu bağlantılı kombine taşımacılık alt yapısının iyileştirilmesi
- Firmaların bireysel hareket etmesinden ziyade bir araya gelip ortak platform oluşturmaları ile birlikte sorunların beraber aşılabileceği çözüm önerileri getirilmektedir.

4. 2010 Yılındaki Lojistik Sorunlar ve Çözüm Önerileri

4.1. 2010 Yılı Hatay Bölgesi Sorunlar

DOĞAKA'nın 2010 yılında yayınlamış olduğu mastır plana göre Hatay bölgesinin lojistik açıdan sorunları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

- Hali hazırdaki İskenderun Limanı'nın konteyner elleçlemeye uygun olmaması ve bu nedenle konteyner taşımacılığında hızlı gelişmeye engel teşkil etmesi
- Lojistik sektöründe kalifiye eleman eksikliği yaşanmaktadır. Dökme yük açısından gelişmiş olmasına karşın bölgede operasyonel süreçleri yönetecek yetkili kişi azdır. Bu da lojistikteki verimin düşmesine sebep olmaktadır.
- Danışmanlık hizmeti sağlayacak firmaların olmamasından kaynaklı olarak, bölgedeki firmalar küresel ölçekte gerçekleşen gelişmelerden habersiz kalmaktadır.
- İskenderun Limanının İskenderun şehir merkezinde kalmasından kaynaklı olarak limana gelen yük taşıtlarının şehir trafiğinde yoğunluk oluşturmaktadır.
- Bölge firmalarının tek tip ulaşım modu üzerine hizmet vermekte, farklı taşımacılık modlarında hizmet vermemektedir.
- Demiryolu yükleme-boşaltma hizmetlerinin altyapı eksikliğinden dolayı yetersiz kalmaktadır. Suriye ile demiryolu bağlantısının olmamasından kaynaklı olarak, bölgeden Suriye ve Irak'a gidecek yükler uzun yol kat etmektedir.
- Firmalarda çalışan personellerin aile üyesi olmasından kaynaklı olarak, yöneticilik vasfı taşımayan kişiler firmayı yönetmektedir.
- Hatay kalkınma öncelikli bölgeler arasında yer almamaktadır. Bu nedenle Hatay ilinin tanıtımı yapılamamakta ve potansiyel gelişimi sağlanamamaktadır.
- Ulusal ve uluslararası büyük firmaların bölgeye henüz yatırım yapmamış olması bölgenin gelişimine engel olmaktadır.
- Bölgedeki demiryolu ağının gelişmemiş olması yurtdışı demiryolu taşımacılığına engel olmaktadır.
- Limanların arka alanlarının coğrafi kısıtlar bakımından yetersiz kalmakta ve kısıtlı alanların firma sahipleri tarafından verimsiz kullanılmaktadır. Ayrıca limanlardaki kapalı depolama alanları da verimsiz ve coğrafi kısıtlardan kaynaklı yetersiz kalmaktadır.
- Hatay havaalanı yeterince efektif kullanılamamaktadır. Belli illere direkt uçuş bulunmakta ve uçak altı kargo taşımacılığı yapılamamaktadır.
- Kombine taşımacılık yeterince gelişmemesinden kaynaklı olarak Ro-Ro ve Ro-La taşımacılığı yapılamamakta ve bu nedenle taşıma maliyetleri artmakta ve taşıma hızı düşmektedir.
- Üniversite ve sanayi işbirliğinin olmamasından kaynaklı olarak, işletmeler ve

üniversite birbirinden kopuk çalışmakta ve ARGE çalışmaları gelişememektedir.

- Bölge lojistik köy bakımından yetersiz kalmaktadır. Gelişmiş depolama alanı hizmeti verilememektedir. Firmalar ellerindeki depolama alanlarını verimli kullanamadıklarından dolayı depolama maliyetlerini yüksek tutmaktadırlar.

4.2. 2010 Yılı Hatay Bölgesi Sorunlara Çözüm Önerileri

Bölgedeki belirlenen sorunlara göre DOĞAKA aşağıdaki çözüm önerilerini getirmektedir.

- Bölgedeki üst düzey kamu yöneticilerinin küresel ölçekte lojistik gelişmeleri takip etmesi ile bölge lojistik konusunda gelişime açık olacaktır.
- Bölgede lojistik iş alanında çalışan insanların bu konuda eğitim verilerek uzmanlaştırılması gerekmektedir.
- Lojistik sektöründe zaman önemli bir kavramdır. Zamanın verimsiz kullanılması maliyet artışına sebep olmaktadır. Bu nedenle şehir içerisinde bulunan İskenderun Limanına giriş ve çıkış trafiği rahatlatılmalıdır. Ayrıca liman içerisinde yükleme boşaltma bekleyen araçlarda maliyet kaybına sebep olmaktadır. Bu tür hizmetlerin daha rahat alanlara kaydırılması ile liman içi ve liman girişindeki sıkışıklık önlenmiş olacaktır.
- Bölgede depolama tesislerinin bir arada toplanması gerekmektedir. Ayrıca daha modern depoların kullanılması gerekmektedir.
- Şirketlerdeki hizmet alanının genişlemesi ve kalitenin artırılması için uzman görüşlerinin alınması gerekmektedir. Ayrıca üniversitedeki pratik bilginin uygulamaya aktarılması ile gelişim sağlanabilmektedir. Üniversite ve sektörün kopuk olmasından kaynaklı olarak üniversite de lojistik alanındaki sorunlardan habersiz kalmaktadır.
- Bölgede birçok nakliye firması bulunmaktadır. Firmalar rekabet edebilmek için taşımacılık fiyatlarını düşürmekte ve buna bağlı olarak hizmet kalitesi de düşmektedir. Nakliye firmaları ile görüşüldüğünde geçmiş yıllara göre fiyat kırmadan kaynaklı olarak araç başına gelir düşmektedir. Bölgede dernekleşme ve kooperatifleşme ile birlikte firmaların haksız rekabet etmesi ortadan kaldırılabilmektedir.
- Bölgedeki lojistik potansiyeli tanıtıcı fuarlar düzenlenmelidir.
- Karayolu yük taşıtlarının şehir merkezinde oluşturduğu trafik yoğunluğu, kentsel konsolidasyon merkezlerinin lokasyonlarının efektif olarak seçilmesi ile azaltılabilmektedir (Nataraj vd. (2019)).

Bölgedeki Organize Sanayi Bölgeleri, serbest bölgeler, tır ve kamyon park alanları, depolama alanları, haller gibi lojistik odakların istikrarlı bir şekilde gelişim gösterebilmesi için iyi bir planlama yapılması gereklidir.

5. Günümüz Hatay Lojistik Sorunları ve Çözüm Önerileri

Günümüzde Hatay lojistik sorunları aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Çok fazla küçük çaplı nakliye firması olmasından kaynaklı olarak, sistemde çok fazla araç bulunmaktadır. Fazla araç bulunması bölgede yoğun trafiğe ve iş veriminin düşerek maliyetlerin yükselmesine yol açmaktadır.

- Taşımacılık yapan araçların modelinin düşük olması ve sürücülerin eğitimsiz olması yine taşımacılıkta verimliliğin düşmesine sebep olmaktadır. Düşük modelli araçlar fazla yakıt tüketimine sebep olmakta ayrıca bakım maliyetleri de yükselmektedir. Eğitimsiz sürücüler aracı agresif kullanarak aracın fazla yıpranmasına yol açmakta ve ayrıca birim yakıt tüketim giderlerini de yükseltmektedir.
- Uzun mesafe taşımacılıklarda güvenlik probleminden kaynaklı taşıtlardaki yakıtlar çalınmaktadır.
- Sahada tutulan veriler düzenli olarak kayda alınamamakta ve alınan kayıtlar teknik personel eksikliklerinden dolayı düzgün bir şekilde işlenememektedir. Teknik personel eksikliğinden dolayı ayrıca yazılım kullanımları gerçekleşmemekte ve iş yükü artarak daha fazla kalifiye olmayan eleman çalıştırmak gerekmektedir. Bu da personel giderleri başlığı altında maliyet artışına sebebiyet vermektedir.
- Sürücü takip sistemlerinin gelişmemesinden kaynaklı olarak işverenin sürücüye karşı güven problemi bulunmaktadır.
- Bölgede lojistik alanında çalışanlarda eğitim eksikliği bulunmaktadır.
- İşletici firmalarda sözleşme sürelerinden kaynaklı olarak gelecek kaygısı oluşmaktadır.
- Firmalar yasal prosedürlere takılmakta ve taşımacılık süreleri artmaktadır. Ayrıca yasal prosedürlerin getirdiği kısıtlamalar yine lojistikteki kar marjını düşürmektedir.
- Hatay'da çok fazla küçük ölçekte lojistik firması olmasından kaynaklı olarak haksız rekabet oluşmakta ve verimsizlik artmaktadır. Firmalar iş alabilmek uğruna neredeyse başa baş maliyetine iş yapmaktadır. Bu da piyasadaki fiyatları düşürmekte ve firmaları zarar etme yolunda ilerletmektedir.
- Firmalardaki gerek işverenden gerek sürücüden kaynaklı anlaşmazlıklardan dolayı sürekli sürücü sirkülasyonu meydana gelmektedir. Bu nedenle firmada yeni çalışan acemiliğinin getirdiği verimsizlik ortaya çıkmaktadır.
- Lojistik firmalarının haksız rekabet ortamında personel giderlerinden kısmasına bağlı olarak sürücülerde maaş sıkıntısı, sosyal haklardan kesinti, sürücü iş programının arttırılması ile sürücü üzerindeki baskılar artmaktadır.
- Yine lojistik firmaların rekabet edebilmesi için hizmet fiyatlarını düşürmesi ile müşteriye verilen hizmet kalitesi de doğru orantılı olarak düşmektedir. Müşteriye söylenen zamanda iş gerçekleştirilememektedir. Ucuz hizmet anlayışı ile birçok aksaklıkta ardı arkası gelmeden gerçekleşmekte ve müşteri memnuniyetsizliği ortaya çıkmaktadır.
- Demiryolu hattı İskenderun limanına kadar erişim sağlamaktadır. Bu sorun da Hatay'ın demiryolu yük taşımacılığı avantajlarını kullanamamasına yol açmaktadır.

Günümüz Hatay lojistik sorunlarına çözüm önerileri;

- Öncelikle lojistik sorunların aşılması için atılacak ilk adım eğitimden geçmektedir. Yönetici ve çalışanların lojistik, iş ahlakı, etik gibi konularda bilinçlendirilmesi ile insanlardaki algılar değiştirilerek değişimin büyük bir kısmı yapılmış olacaktır.

- Hükümet tarafından gerekli destek programları ile firmalar desteklenmeli ve yasal prosedürlerde tüm tarafların yararına olacak şekilde yen düzenlemeler getirilmelidir.
- Akıllı sistemlerin entegrasyonu ile birlikte düzenli kayıt alma ve kayıtların işlenmesi ile verimliliğin arttırılması sağlanmalıdır.
- İş ve çalışan takip sistemlerinin kullanımı ile işveren ve çalışan arasında güven ortamının sağlanmalıdır.
- Firmaların piyasadaki hizmet fiyatlarını düşürmesini engellemek amacıyla firmalar ya ortak bir paydada birleştirilmeli ya da alt birim fiyatlandırması ve standart iş kalitesi belirlenerek piyasa fiyatlarının düşürülmesi engellenmelidir. Bunun için ise kooperatif ve dernek gibi bir kontrol merci kurulmalıdır.
- Kullanılan ekipman ve araçların yenilenmesi ile verimlilik artırılmalıdır.
- Limanların daha verimli kullanılması için yük türlerine bağlı olarak limanlarda ihtisaslaşma yoluna gidilmelidir. Böylelikle liman içi yükleme çeşidine bağlı olarak karmaşıklıkların giderilmesi ön görülmektedir.
- Demiryolu hattının sınır hattına kadar ilerletilmesi ile karayolu taşımacılığı üzerindeki yük ve güvenlik problemleri aşılacaktır. Tabi ki sınırda demiryolu taşımacılığına yönelim yeni sorunları da beraberinde getirecektir. Fakat sürücüler için güvenlik sorunu ortadan kalkmış olacak ve daha fazla yük fazla araç ve insan gücü olmadan taşınacaktır.

6. Sonuçlar

Çalışmada 2007, 2010 ve günümüz Hatay lojistik sorunları incelenmektedir. Üç döneme de bakıldığında Hatay lojistiğinde son 12 yılda çoğu sorun çözüme kavuşamamıştır. Bunun en büyük nedenlerinin başında eğitim eksikliği ve kalifiye eleman azlığı gelmektedir. Bunun yanı sıra İskenderun'da limanların ve arka alanının Amanos dağları ile kısıtlanması gelişimin ilerlemesini zorlaştırmaktadır. Lojistik liman merkezinin Erzin bölgesine doğru kaydırılması genişleme alanlarının artmasına yol açacaktır. Ayrıca yük taşımacılığında büyük öneme sahip demiryolu taşımacılık modu alt yapı yatırımları da bölgenin lojistik açıdan gelişimi için arttırılmalıdır. Bölgeye genel olarak bakıldığında temelde hep altyapı eksikliği mevcuttur. Bu da kurumların bireysel hareket etmesinden ve hükümetçe gereken desteğin verilmemesinden kaynaklıdır.

Hatay'ın sorunları incelendiğinde bu sorunların büyük ölçekte bakıldığında Türkiye'yi temsil ettiği görülmektedir. Türkiye'de Hatay gibi göz ardı edilen bölgelerin gelişim geriliği, Türkiye'nin gelişim geriliğini yansıtmaktadır. Gereken yerde, gerekli zamanda ve gerekli yatırımların ve teşviklerin yapılması ile Türkiye'nin kalkındırılması kaçınılmazdır.

Referanslar

1. Kara, M., Duruel, M., Tayfur, L., Demirer, H. (2007). Hatay ili ihracatçılarının taşımacılıktan kaynaklanan sorunları ve çözüm önerileri. Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 16(1), 395-412.
2. Bezirci, M., Dündar A.O. (2011). Lojistik Köylerin İşletmelere Sağladığı Maliyet Avantajları. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 13(1), 309-325.

3. Lai, C.M. (2019). İntegrating simplified swarm optimization with AHP for solving capacitated military logistic depot location problem. Applied Soft Computing, 78, 1-12.
4. Agrawal, P., Ganesh, T. 2018. Multi-Choice Stochastic Transportation Problem Involving Logistic Distribution. Advances and Applications in Mathematical Sciences, 18(1), 45-58.
5. DOĞAKA, (2010). İskenderun Lojistik Köyü ile Antakya ve Osmaniye Lojistik Destek Merkezleri Mastır Planı.
6. Nataraj, S., Ferone, D., Quintero-Araujo, C., Juan, A.A., Festa, P. (2019). Consolidation Centers in City Logistic: A Cooperative Approach Based on the Location Routing Problem. International Journal of Industrial Engineering Computations, 10(3), 393-404.

Effects of Staircases on Seismic Performance of RC Buildings

A. Alhussein[1], M.C. Genes[2]

[1,2] Department of Civil Engineering, Eastern Mediterranean University, North Cyprus
Emails: abdelhakim9206@gmail.com, cemal.genes@emu.edu.tr

Abstract

Turkey has been hit by several moderate to large earthquakes over the last decades which have led to significant loss of lifes and property, the extreme damage and building collapse have indicated to insufficient seismic behavior of multi-story reinforced concrete (RC) buildings. In addition, the staircases and the frames that support them have experienced earthquake damages due to insufficient earthquake design. In recent years, the design for seismic resistance has been undergone a critical reassessment with the emphasis of altering from strength to performance.

This study aims to evaluate the influence of staircases and their locations on the seismic performance of reinforced concrete buildings. Linear Static, Pushover and Time History analyses methods are conducted to eight reinforced concrete models. Four of these models are with considering a staircase and the other four without including a staircase. The analysis outcomes show that considering the staircase in the structural model has influenced the maximum top displacement of the building, formation of plastic hinges, and performance of the structure. The staircases have importance on the seismic performance of RC buildings. Formation of a short column has been occurred in models that contain a staircase due to an interaction between slab landing of staircase and frame that carry staircase. These short columns could have considerable damages if they have not confined properly. It is concluded that the frames that supporting the staircase should be reinforced properly to resist the lateral forces created during earthquakes and the designers shall not overlook the staircase when designing structures.

Keyword(s): Seismic performance, reinforced concrete buildings, staircases, pushover analysis, time history analysis

1. Introduction

Over the past 20 years, nonlinear static analysis or pushover analysis has been developed and has become the favored analytical procedure for design and seismic performance evaluation purposes, as the procedure is comparatively simple and considers post-elastic behavior. Pushover analysis is an approximate analysis method in which the structure is exposed to monotonically increasing lateral forces until a target displacement is exceeded.

The overall aim of this study was to evaluate the influence of the staircase and its location on the seismic performance of reinforced concrete buildings by conducting Linear Static, Non-linear Static Pushover and Time History analysis methods. In purpose of

investigating the staircase and its location effect on the seismic behavior of RC structures an eight reinforced concrete buildings were modeled and designed by ETABS 2016 software (version 16.2.1), four of these buildings were designed with considering staircase with four different locations, and the other four buildings were designed without including staircase, in other words, the staircase place left empty. The results of analysis methods are compared in terms of monitored displacements, shear forces, stiffness, and the formation of plastic hinges

2. Seismic Influence of Reinforced Concrete Stairs

A minor to extreme damage of a huge number of staircases were experienced in Wenchuan earthquake that struck the northwestern Sichuan on May 12, 2008. An investigation was conducted in the epicentral region, the seismic damage of the staircases and their configurations were inspected. The interaction of staircase and the primary structural elements leads to numerous types of seismic destruction to the staircase or the primary structure elements, the creation of short column and beam-column connection of the staircase influenced the primary elements of the structure [1].

Damages of buildings of the earthquake that shook Tabanlı (Van) in Turkey during October 23, 2011, were investigated, it is obtained that staircase of the structures experienced extreme damage throughout the earthquake because of the inappropriate reinforcement detailing. It was also observed that the formation of short columns can be classified as one of the most frequently obtained deficiencies [2].

3. Methodology

In the purpose of inspecting the impact of the staircase and its location on the reinforced concrete buildings performance Linear Static, Pushover nonlinear static and Time History analyses are suggested to be conducted. Four reinforced concrete buildings are modeled by ETABS-2016. These four models contain a staircase with four different locations, and in addition to that, the same four buildings are modeled without considering a staircase.

3.1. Modeling by ETABS-2016

Initially, eight models are designed by utilizing ETABS-16, model A, model B, model C and model D are modeled with considering staircase in four different locations. Furthermore, model A-1, model B-1, model C-1 and model D-1 are modeled without considering the staircase.

3.1.1. Geometrical Properties

The eight models have common geometrical properties as following:

- Story height 3.06 m
- The number of stories are eight
- The number of bays in the X direction are five
- The number of bays in the Y direction are three
- Column section is 30×80 cm
- Beam section is 30×60 cm
- Slab thickness is 20 cm

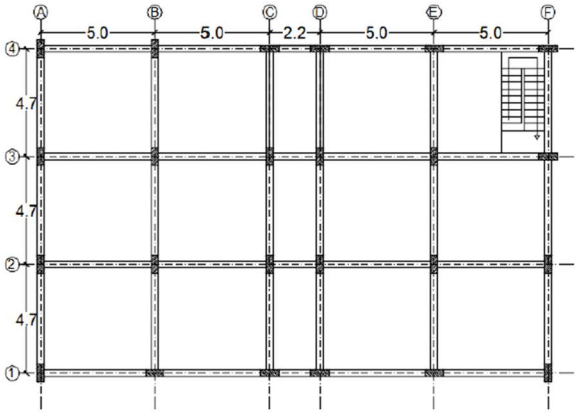


Figure 1 - Plan view of building A

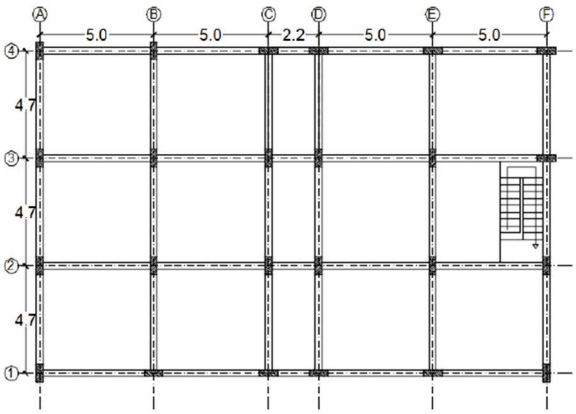


Figure 2 - Plan view of building B

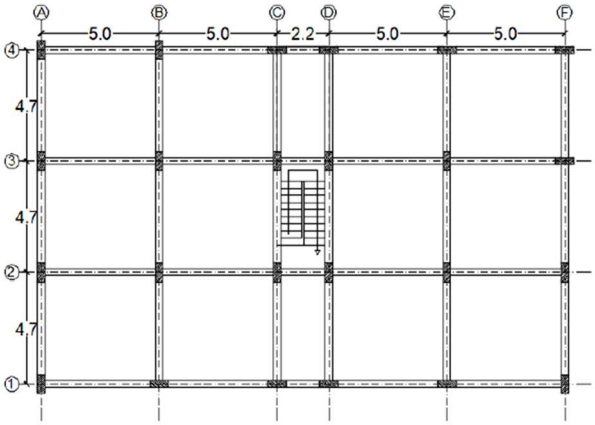


Figure 3 - Plan view of building C

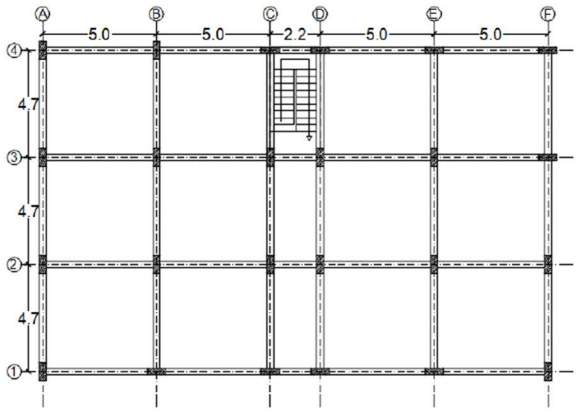


Figure 4 - Plan view of building D

Eight reinforced concrete buildings are modeled and designed, four of these buildings with a staircase and the other four buildings without a staircase, in other words, the place of staircase is empty. The Figures from 1 to 4 display the buildings A, B, C, and D, which contain staircase, furthermore, the columns, beams and slabs distribution are shown.

3.1.2. Earthquake Parameters

Table 1 shows the considered parameters for earthquake analysis.

Earthquake Parameters	
Seismic zone	1
Effective ground acceleration coefficient	0.4
Spectrum characteristic periods	0.2-0.9

Earthquake

Importance Factor	1
Structural system behavior factor	8

Table 1 - parameters

3.2. Analysis Methods

3.2.1. Linear Static Analysis

The stiffness matrix of the model in a linear static analysis is constant, and the solving process is comparatively short compared to a nonlinear analysis on the same model. Therefore, for a first estimate, the linear static analysis is firstly conducted then a fully nonlinear analysis can be performed.

3.2.2. Non-Linear Static Analysis

In nonlinear static procedure (NSP) the three-dimensional model accounts immediately for effects of material inelastic behavior, the measured internal forces is not approximately realistic for those predictable through the design earthquake. Therefore, the target displacement is aimed to characterize the maximum displacement to be experienced during the design earthquake. The building ability under lateral forces is illustrated by pushover capacity curve. The capacity curve is shown in Figure below, The Y-axis represents the lateral load on the structure and x-axis signifies the lateral deflection of the building roof. The hinge status and performance point of the structure can be obtained from the pushover capacity curve [3].

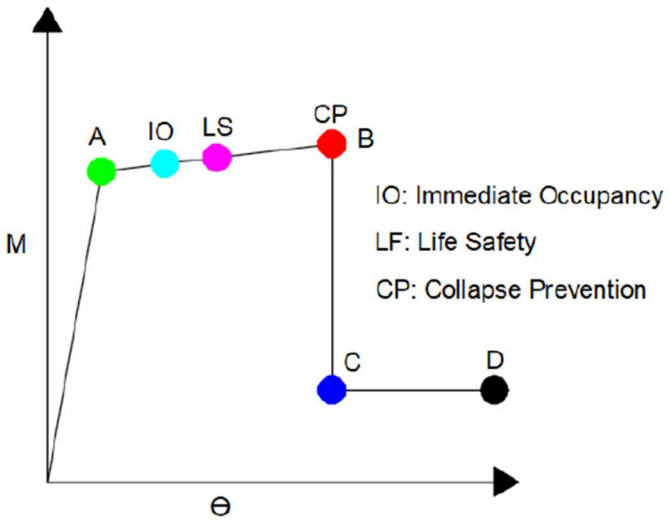


Figure 5 - Plastic hinge phases

3.2.3 Time History Analysis

The usage of non-linear response-history analysis is conducted for designing new buildings and designing seismic upgrades of existing structures [4].

According to the Turkish earthquake code, at least three different ground motions should be selected to perform the time history analysis and the maximum results are discussed. In this study the Pacific earthquake engineering research (PEER) Center, NGA strong motion database (PEER, 2005, http://peer.berkeley.edu/smcat) is used for selecting earthquakes records. The selected earthquakes are Duzce earthquake, Kocaeli earthquake, and Izmir earthquake. All selected earthquake have the same local site classification which is seismic zone one.

Kocaeli earthquake
Kocaeli earthquake was in Kocaeli city in Turkey in 1999. The max magnitude earthquake magnitude was 7.51.

Duzce earthquake
Duzce earthquake was in Duzce city in Turkey in 1999. The max magnitude earthquake magnitude was 7.14.

Izmir earthquake
Izmir earthquake was in Izmir city in Turkey in 1977. The max magnitude earthquake magnitude was 5.3.

4. Results and Discussions

4.1. Non-Linear Static Push-Over Analysis Results

Comparison between models that include staircase (model A, B, C, and D) and models that do not involve a staircase (model A.1, B.1, C.1 and D.1) in terms of monitored displacements and shear forces are presented in this part.

4.1.1. Monitored Displacement

Displacements of models that contain staircase and models that do not contain staircase are compared at the performance point of the models.

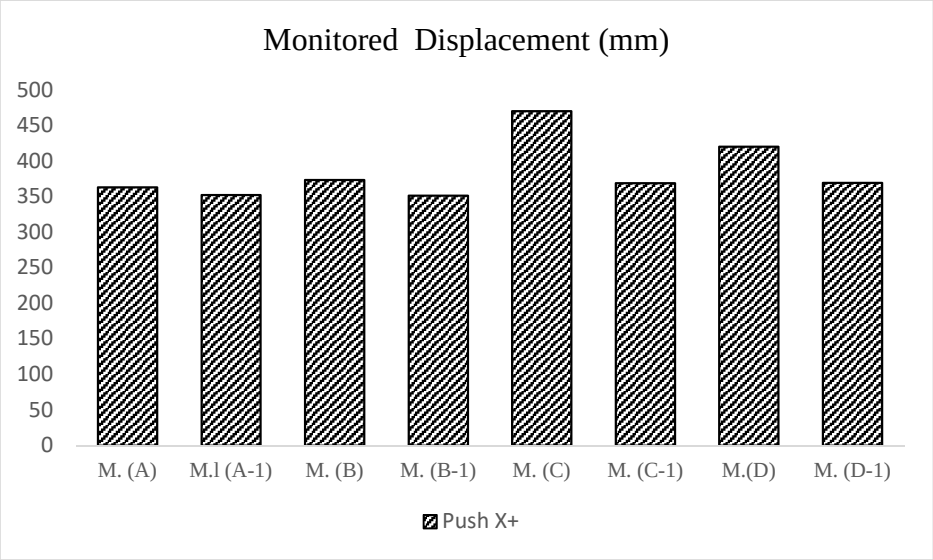


Figure 6 - Monitored displacements of all models in a push-X positive

Figure 6 displays the monitored displacements at the performance point of all models with and without staircase in push X+. In model A, B, C and D that include staircase the monitored displacements were larger than in model A.1, B.1, C.1, and D.1 that does not include staircase by 3%, 6%, 27%, and 14%, respectively.

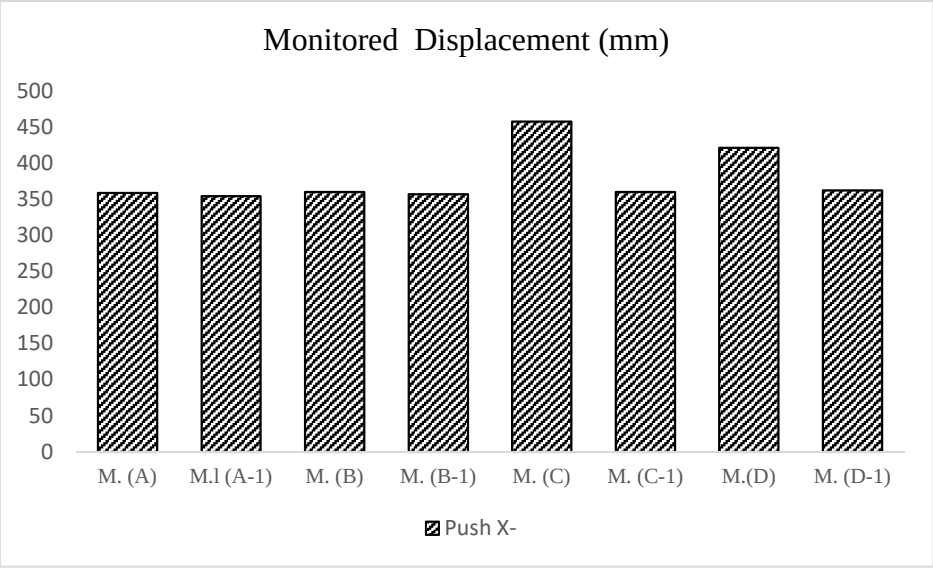


Figure 7 - Monitored displacements of all models in a push-X negative

Figure 7 illustrates the monitored displacements at the performance point of all models with and without staircase in push X-. In model A, B, C and D that contain staircase the monitored displacements were larger than in model A.1, B.1, C.1, and D.1 that does not contain staircase by 1%, 1%, 27%, and 16%, respectively.

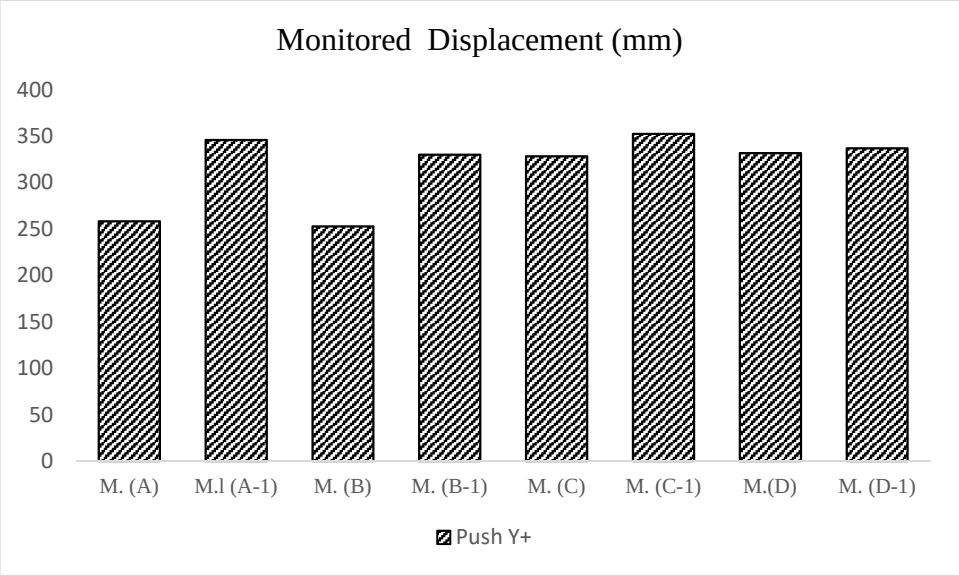


Figure 8 - Monitored displacements of all models in a push-Y positive

Figure 8 shows the monitored displacements at the performance point of all models with and without staircase in push Y+. In model A, B, C and D that contain staircase the monitored displacements were smaller than in model A.1, B.1, C.1, and D.1 that does not contain staircase by 25%, 23%, 7%, and 2%, respectively.

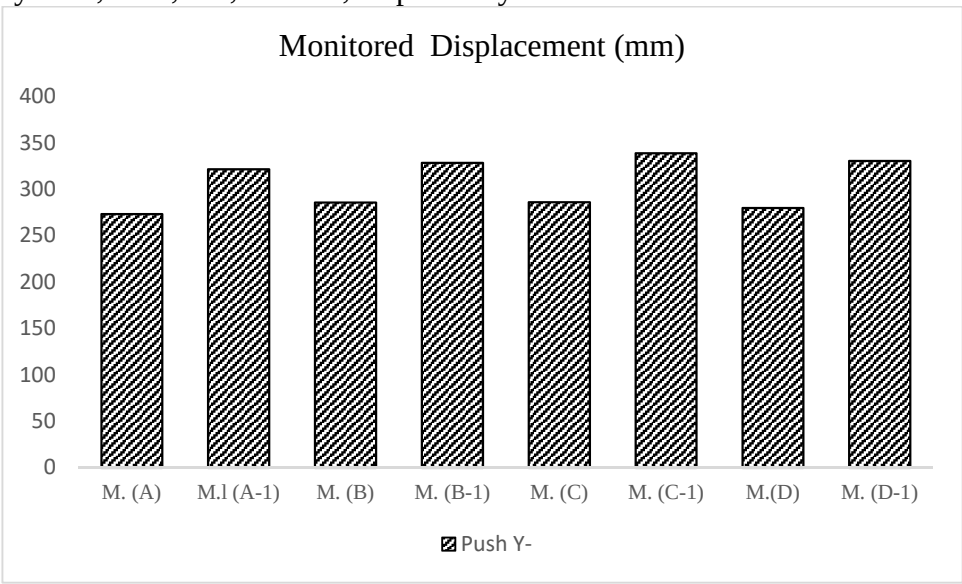


Figure 9 - Monitored displacements of all models in a push-Y negative

Figure 9 clarifies the monitored displacements at the performance point of all models with and without staircase in push Y-. In model (A), (B), (C) and (D) that contain staircase the monitored displacements were smaller than in model A.1, B.1, C.1, and D.1 that does not contain staircase by 15%, 13%, 15%, and 15%, respectively.

4.1.2. Shear Force

Shear forces of the models that contain staircase and models that do not comprise a staircase are compared at the performance point of the models.

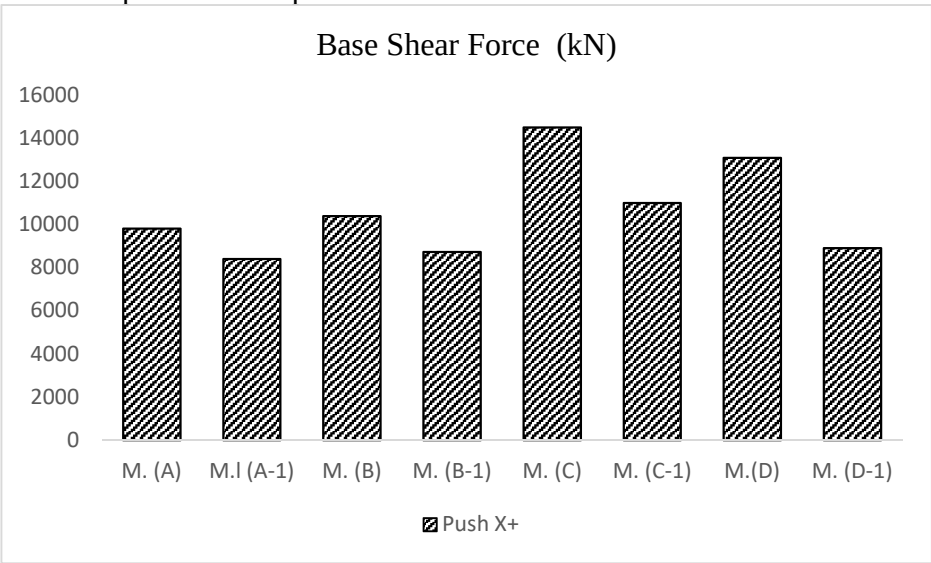


Figure 10 - Shear forces of all models in a push-X positive

Figure 10 illustrates the shear forces at the performance point of all models with and without staircase in push X+. In model A, B, C and D that include staircase, the shear forces were larger than in model A.1, B.1, C.1, and D.1 that do not comprise staircase by 17%, 19%, 32%, and 47%, respectively.

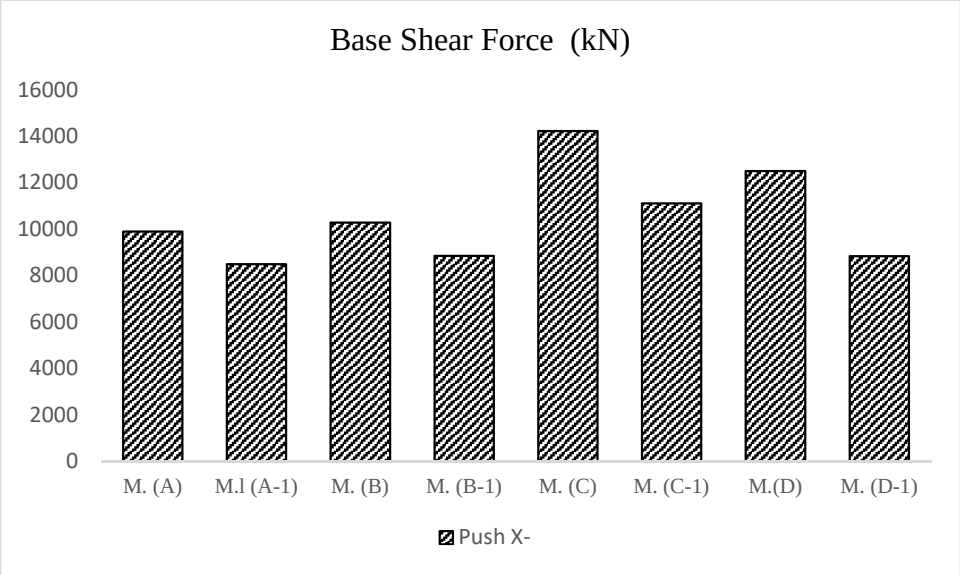


Figure 11 - Shear forces of all models in a push-X negative

Figure 11 displays the shear forces at the performance point of all models with and without staircase in push X negative. In model A, B, C and D that include staircase, the shear

forces were larger than in model A.1, B.1, C.1, and D.1 that do not contain staircase by 17%, 16%, 36%, and 41%, respectively.

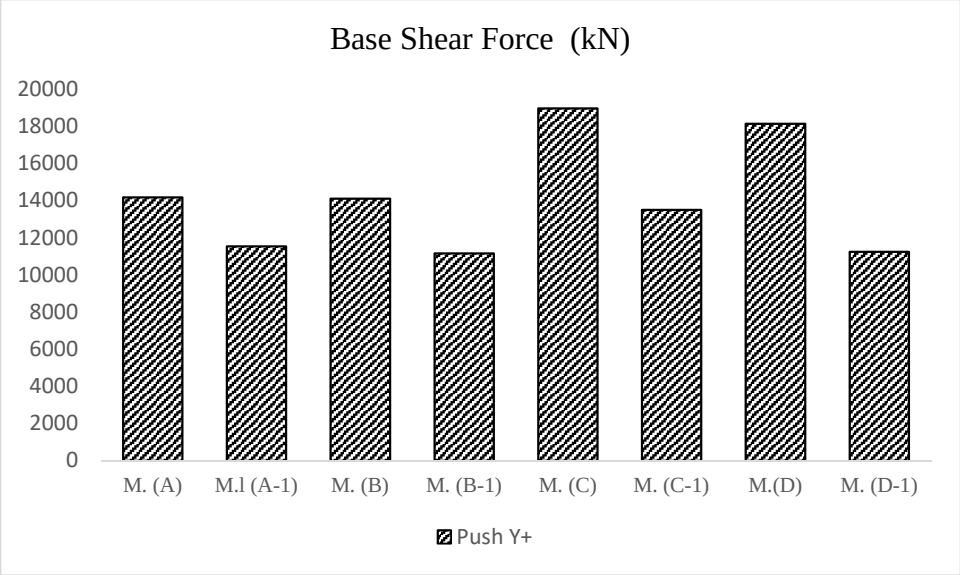


Figure 12 - Shear forces of all models in a push-Y positive.

Figure 12 presents the shear forces at the performance point of all models with and without staircase in push Y+. In model (A), (B), (C) and (D) that comprise staircase, the shear forces were larger than in model A.1, B.1, C.1, and D.1 that do not comprise staircase by 23%, 26%, 40%, and 61%, respectively.

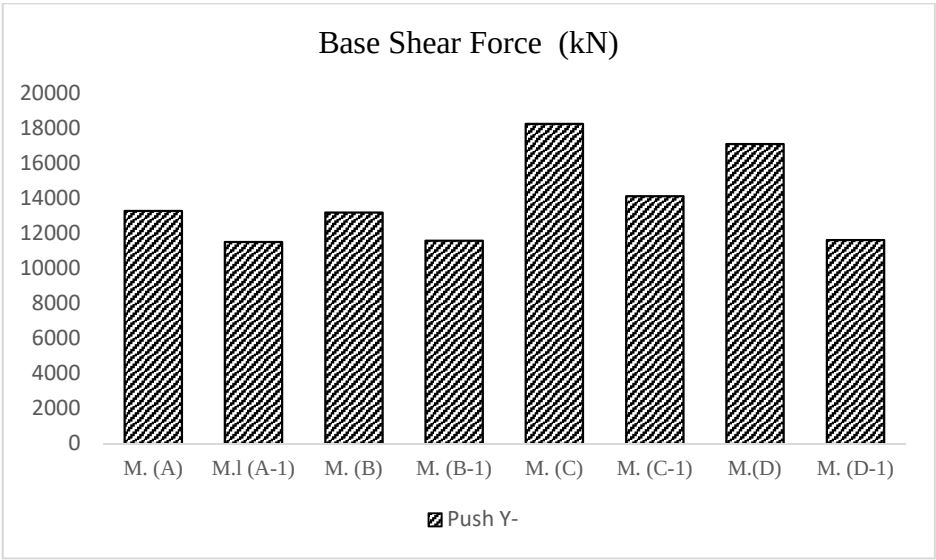


Figure 13 - Shear forces of all models in a push-Y negative

Figure 13 illustrates the shear forces at the performance point of all models with and without staircase in push Y negative. In model A, B, C and D that contain staircase, the shear

forces were larger than in model A.1, B.1, C.1, and D.1 that do not contain staircase by 15%, 14%, 29%, and 47%, respectively.

4.4. Time History Analysis Results

It was found that the Düzce earthquake has the biggest effects on the structural models, therefore its results will be discussed. A comparison between models that include staircase (model A, B, C, and D) and models that do not involve staircase (A.1, B.1, C.1, and D.1) in terms of formation of plastic hinges and formation of short columns.

4.2.1. Formation of Collapse Prevention Plastic Hinges

Table 2 shows the formation of collapse prevention plastic hinges of all models at time 27s of Düzce earthquake in both load cases which are non-linear dynamic time history in the X direction and non-linear dynamic time history in the Y direction.

Table 2 - Formation of collapse prevention plastic hinges in all Models

	Düzce Earthquake	
	Collapse prevention hinges (X)	**Collapse prevention hinges (Y)**
Model A	18	2
Model A-1	11	1
Model B	14	3
Model B-1	12	1
Model C	7	3
Model C-1	11	1
Model D	9	5
Model D-1	7	1

According to Table 2, the maximum occurrence of collapse hinges was in Model A 18 hinges under load in the X direction and 2 hinges under load in the Y direction. The minimum formation of collapse hinges was 7 hinges under load in the X direction and 1 hinge under load in the Y direction in Model D-1. It was observed in all models (that contain staircase) that the formation of collapse hinges was significantly smaller in the Y direction (staircase direction) than in the X direction. This indicates that the staircase location and its presence has influenced the formation of collapse plastic hinges.

4.2.2. Formation of Short Columns

The formation of short columns is due to additional shear forces is applied on staircase columns which carry the land slab. Shear forces of columns which carry the land slab of the staircase are displayed in Figure 14 to17.

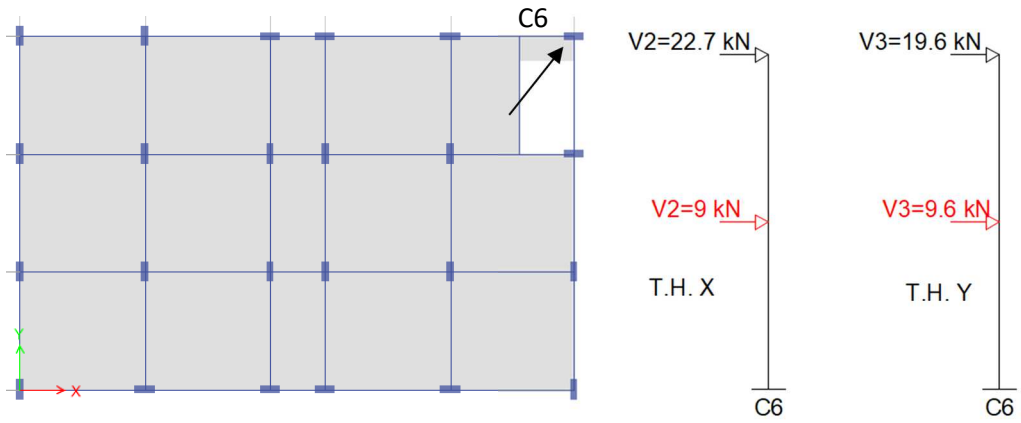


Figure 14 - Column C6 shear forces under non-linear dynamic time history in both orthogonal directions

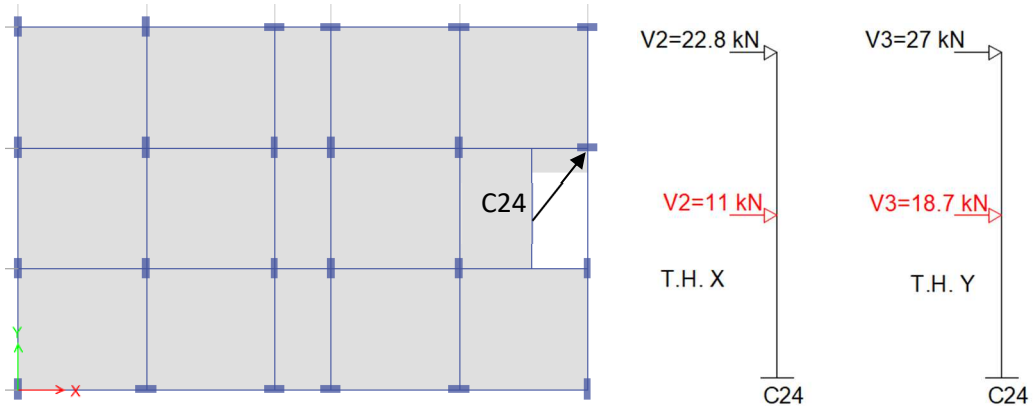


Figure 15 - Column C24 shear forces under non-linear dynamic time history in both orthogonal directions

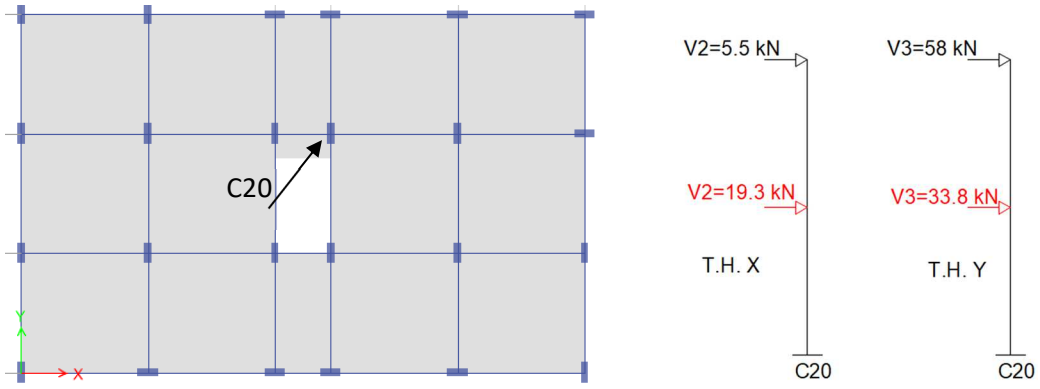


Figure 16 - Column C20 shear forces under non-linear dynamic time history in both orthogonal directions

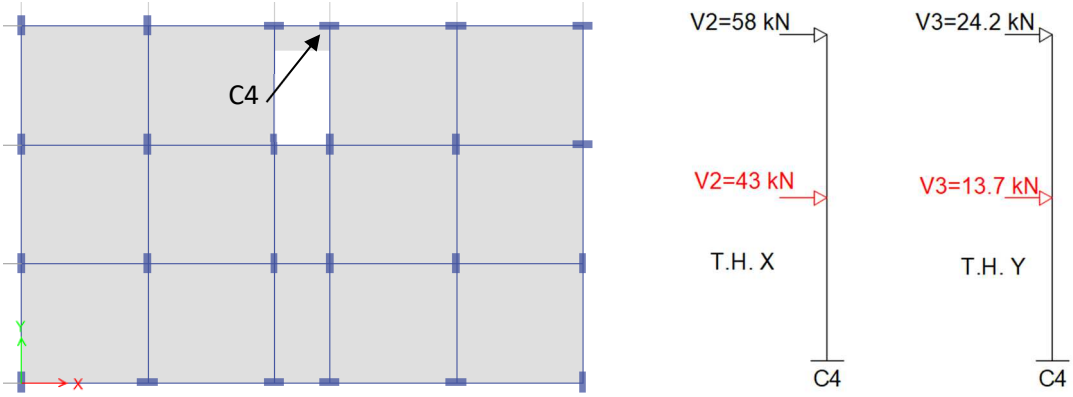


Figure17 - Column C4 shear forces under non-linear dynamic time history in both orthogonal directions

The stirrups reinforcement must be adequate to resist the additional shear forces. To achieve an adequate resistance there are two suggestions, 1) the maximum allowable spacing distance between the stirrups bars should not be more than 10 cm, 2) the minimum allowable diameter of bars should be 10 mm in other words, the confinement reinforcement zone of columns should be sufficient.

5. Conclusion

Based on the structural analysis by ETABS2016 software, major conclusions can be drawn from the present study are as follows:

Pushover analysis conclusions

• It was obtained that the monitored and spectral displacements of all models (model A, B, C & D) that contain staircase was larger than the monitored displacements of all models (model (A.1), (B.1), (C.1) & (D.1)) that do not involve staircase in both orthogonal directions.

• The base shear force was influenced by the staircase presence, however, the base shear force of all models (model A, B, C & D) that designed with considering staircase was significantly bigger than models (model (A.1), (B.1), (C.1) & (D.1)) that designed without considering staircase.

Time history analysis conclusions

• The formation of collapse prevention was affected by the staircase. The number of collapse prevention has decreased largely under non-linear dynamic load in Y direction comparing to the number under non-linear dynamic load in the X direction.

• Model C that contains a staircase in the middle of the structure had the minimum formation of collapse prevention when compared with models that contain a staircase.

In columns which carry staircase landing slab, there were additional shear forces acting on the middle of the columns. This leads to creating short columns during earthquakes. In

order to dissipate such a serious failures a sufficient confinement reinforcement region is necessary.

References

[1] Li, B., & Mosalam, K. M. (2012). Seismic performance of reinforced-concrete stairways during the 2008 Wenchuan earthquake. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, *27*(6), 721-730.

[2] Tapan, M., Comert, M., Demir, C., Sayan, Y., Orakcal, K., & Ilki, A. (2013). Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011, Edremit (Van) earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, *34*, 606-628.

[3] Council, B. S. S. (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. *Report FEMA-356, Washington, DC.*

[4] Haselton, C. B., Whittaker, A. S., Hortacsu, A., Baker, J. W., Bray, J., & Grant, D. N. (2012, September). Selecting and scaling earthquake ground motions for performing response-history analyses. In *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 4207-4217). Earthquake Engineering Research Institute.

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Bakımından TBDY-2019 ile DBYBHY-2007 Kıyaslaması

M. ÖZTÜRK[1], E.S. SELEKOĞLU[1], T. BARAN[1]

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye
Emails: mitatozturk@osmaniye.edu.tr, smyselekoglu@gmail.com, tarikbaran@osmaniye.edu.tr

Özet

Bu çalışmada TBDY-2019 ve DBYBHY-2007 eşdeğer deprem yükü yöntemi bakımından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için DBYBHY-2007'ye göre birinci derece deprem bölgesinde yer alan Osmaniye ve Sakarya illeri seçilmiştir. Her bir şehirde aynı özelliklere sahip yapı için analiz ve kontroller yapılmıştır. Yapı, periyotları, taban kesme kuvvetleri, göreli kat ötelemelerinin kontrolleri ve ikinci mertebe etkiler bakımından kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre hesaplanan taban kesme kuvveti değeri, TBDY-2019'a göre %10.40 oranında DBYBHY-2007'ye kıyasla Sakarya Merkez için daha fazladır. Osmaniye Merkez için ise aynı değer DBYBHY-2007'ye göre %41.11 azalmıştır. Yapının TBDY-2019'a göre Rayleigh yöntemi ile belirlenen x ekseni yönündeki 1. doğal titreşim periyodu DBYBHY-2007'e göre %36.11 artmıştır. Göreli kat öteleme miktarları bakımından Sakarya bölgesindeki yapı TBDY-2019'a göre sınır değerleri sağlayamamıştır. İkinci mertebe etkiler bakımından her iki yönetmeliğe göre, her iki bölge için de güvenli çıkmıştır. Sonuç olarak TBDY-2019'a göre tasarlanan yapı için, DBYBHY-2007'ye kıyasla aynı özelliği gösteren yerel zemin sınıfında fakat farklı ivme katsayılarına bağlı olarak, Osmaniye ilinde kesit boyutları açısından ekonomi sağlanabiliyorken, Sakarya ilinde tam tersi bir tablo ortaya çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Eşdeğer deprem yükü yöntemi, taban kesme kuvveti, periyot, göreli kat ötelemesi, ikinci mertebe etkiler

1. Giriş

Ülkemiz aktif deprem kuşağında yer almaktadır. Bu sebepten ötürü ülkemizde yıkıcı depremler olmakta ve bunun sonucunda can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Bu durum ülkemizde bulunan binaların yeterli derecede emniyete sahip olmadığını göstermektedir (Yanık, 2008). 1939 Erzincan depreminin yıkıcı etkileri sonucunda yapıların güvenliliğini artırmak amacıyla kapsamlı bir çalışma içerisine girilmiş ve 1940 yılında ilk deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Zamanla teknolojik ve bilimsel gelişmeler yönetmeliklerin yenilenmesi durumunu kaçınılmaz hale getirmektedir (Öztürk, 2018). Bu sebeple güncel olan her yönetmelik kendinden önceki yönetmeliğin teknolojik ve bilimsel yönden gelişmiş halidir (Ulucan & Demirel, 2007). Ülkemizin son deprem yönetmeliği olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019(TBDY-2019) 1 Ocak 2019 tarihinde ise yürürlüğe girmiştir. Yeni deprem yönetmeliği ile birlikte Türkiye Deprem Tehlike Haritası(TDTH-2018) da yayınlanmış ve bu harita ile deprem bölgesi kavramı değiştirilmiştir. Yeni sınıflama ile dört adet deprem yer

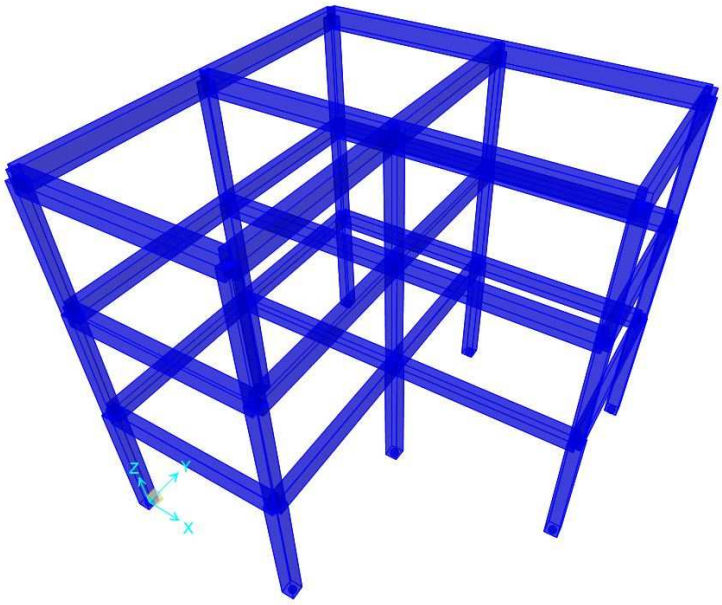
hareketi düzeyi tanımlanmış ve bunlarla ilgili bilgilere https://tdth.afad.gov.tr adresinden online olarak ulaşılabilmektedir.

Deprem sırasında yapıda taban kesme kuvveti oluşmaktadır. Oluşan bu taban kesme kuvveti yönetmelikler sayesinde bulunan yaklaşık bir değer olup bu değere bağlı yapı tasarımı eşdeğer deprem yükü yöntemi ile bu değer kullanılarak yapılmaktadır. Çeşitli çalışmalarda deprem yönetmelikleri taban kesme kuvveti bakımından incelenmiş ve karşılaştırılmıştır (Kara , 2011). TBDY-2019'un yürürlüğe girmesiyle birlikte zemin sınıfı ile yapının bulunduğu spesifik konuma özel yer ivmesi değerlerinin etkileşiminin kıyaslanması önemli olmuştur. Bu bakımdan farklı illerde farklı zemin sınıfları için spektral ivme değerleri ve zemin hakim periyotları bakımından TBDY-2019 ile Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2017(DBYBHY-2017) karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda TBDY-2019'un zayıf zemin grupları için daha güvenli olduğu bulunmuştur (Koçer, Nakipoğlu, Öztürk, Al-gahri, & Arslan, 2018). Birçok araştırmacı tarafından yeni bir yönetmeliğin çıkması eski yönetmelik ile farkların ortaya konması amacıyla karşılaştırılmıştır. Toplam eşdeğer deprem yükü bakımdan 1975 deprem yönetmeliği ile 2006 deprem yönetmeliğinin karşılaştırılması yapılmıştır (Ulucan & Demirel, 2007). Afyonkarahisar ili için eşdeğer deprem yükü bakımından TBDY-2019 ile DBYBHY-2007 kıyaslaması yapılmıştır (Başaran, 2018). Maksimum göreli kat ötelemeleri bakımından DBYBHY-2007 ile TBDY-2016 taslağının karşılaştırılması yapılmıştır (Erdem & Bikçe, 2017). Kırklareli ili için TBDY-2019 ile DBYBHY-2007 kıyaslaması farklı zemin sınıfları için elastik tasarım spektrumları bakımından yapılmıştır (Keskin & Bozdoğan, 2018). DBYBHY-2007 ve TBDY-2016 taslak yönetmeliğinin arasındaki farklar, benzerlikler ve tasarımsal farklılıklar karşılaştırılmıştır (Tunç & Tanfener, 2016). TBDY-2019'a göre bir okul binasının plan ve düşeydeki düzensizlik durumları irdelenmiştir (Çavdar & Yolcu, 2018).

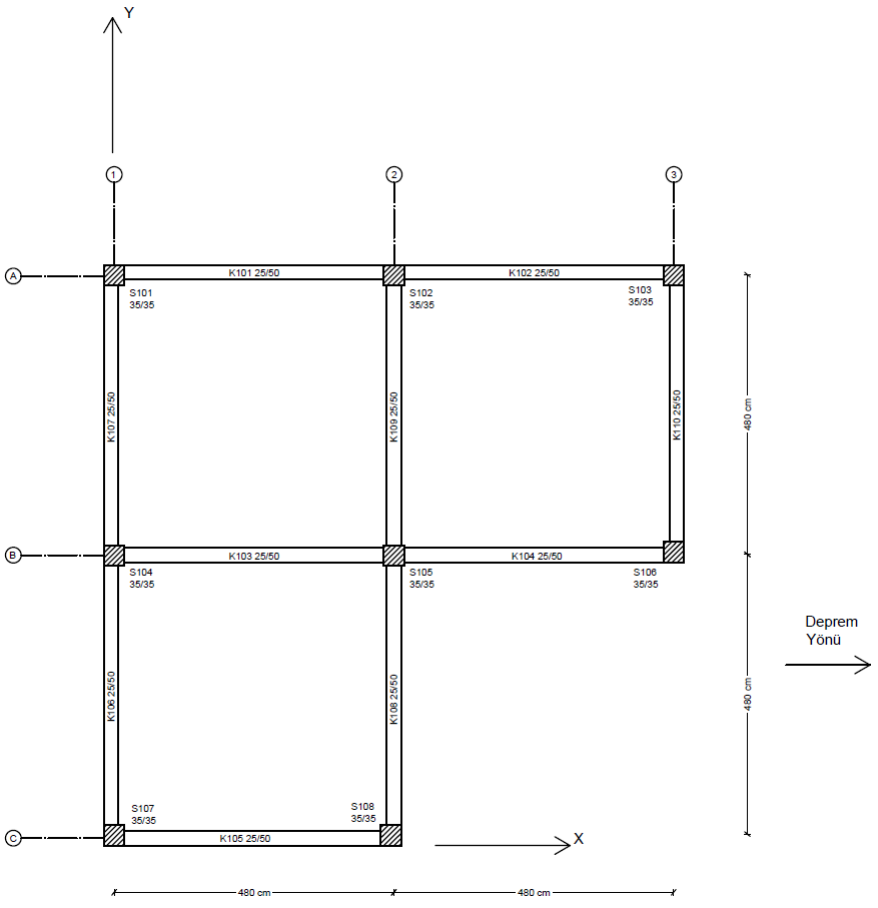
TBDY-2019 ile birlikte, DBYBHY-2007'ye göre aynı deprem bölgesinde bulunan yapıların farklı yer ivmesi etkisi altında olmaları mümkündür. Dolayısıyla yapıların bulundukları bölgeye göre değil, bulundukları konumlara göre elde edilen deprem etkileri ile çözümünün yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada Osmaniye ve Sakarya illeri TBDY-2019 ile DBYBHY-2007 deprem yönetmelikleri ile eşdeğer deprem yükü yöntemi, periyotları, taban kesme kuvvetleri, göreli kat öteleme kontrolleri ve ikinci mertebe etkileri bakımından karşılaştırılmıştır.

2. Yöntem

Bu çalışmada analizi yapılan yapı Yeni Deprem Yönetmeliğinin Analiz Bakımından Uygulamaları kitabından alınmıştır (Kıral, Kılıçlar Özdemir, R. Yerli, & Temel, 2000). Çalışmada kullanılan yapının 3D görünümü Şekil 1'de, 1.kat kalıp planı ise Şekil 2'de verilmiştir. Sayısal model üretilirken eleman uzunlukları eksenden eksene olacak şekilde modellenip, rijit birleşim bölgeleri dikkate alınmamıştır.



Şekil 1 – Yapı 3D görünümü



Şekil 2 – 1. kat kalıp planı

Çalışmada öncelikle analizlerde kullanılacak yapının TBDY-2019 ile eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliği TBDY-2019 Tablo 4.4 ile elde edilmiştir. TBDY-2019 Tablo 4.4'den bina için eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabilmesi için Tablo 4.4'de verilen düzensizlik kontrollerinin sağlanmaması durumunda da bu yöntemin kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Daha sonra Tablo 3.4 ile yapının değerlendirme/tasarım yaklaşımı ve performans hedefi belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler doğrultusunda TDTH-2018 üzerinden Osmaniye Merkez ve Sakarya Merkez için Tablo 1'de verilen değerler elde edilmiştir.

Tablo 1 - Türkiye Deprem Tehlike Haritasından okunan değerler

	Osmaniye Merkez	Sakarya Merkez
Enlem	37.07411259◦	40.77305676◦
Boylam	36.24641650◦	30.39474833◦
S_s(DD2) (g)	0.723	1.587
S_1(DD2) (g)	0.196	0.433
S_s(DD3) (g)	0.260	0.626
S_1(DD3) (g)	0.071	0.153

**Kısaltma ve semboller için bkz. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019*

Tablolarda hesaplanan değerler noktadan sonra üç haneye yuvarlanarak verilmiştir. F_s ve F_1 değerleri ilgili tablolardan enterpolasyon ile elde edilmiştir. Göreli kat ötelemeleri ve ikinci mertebe etkilerin kontrolü X yönünde %5 ek dış merkezlik için yapılmıştır. Göreli kat öteleme kontrolleri esnek derzsiz durum için yapılmıştır. Binanın X yönündeki hakim doğal periyodu($T_p^{(X)}$) yönetmelikte verilen Rayleigh yöntemi ile hesaplanmış ve değeri yönetmelikte verilen ampirik yöntem(T_{pA}) değerinin 1.4 katından daha küçük olduğu için TBDY-2019'un 4.7.3.2'de verilen şart sağlanarak işlemler yapılmıştır. Sap2000 programında periyot bulmak için yapılan analizde etkin kesit rijitliği çarpanı değerleri TBDY-2019 Tablo 4.2'den alınmıştır.

TBDY-2019'da yer alan denklem ve tablolardan hangi değerlerin okunduğu veya hesaplandığı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 – TBDY-2019 denklem ve tablolar

Terimler	Tablo veya Denklem	Terimler	Tablo veya Denklem
F_s	Tablo 2.1	$S_{aR}(T)$ (s)	Denklem 4.8
F_1	Tablo 2.2	$V_{tE}^{(X)}$ (kN)	Denklem 4.19
S_{DS} (g)	Denklem 2.1	BKS	Tablo 3.1
S_{D1} (g)	Denklem 2.1	DTS	Tablo 3.2
$T_p^{(X)}$ (s)	Denklem 4.26	BYS	Tablo 3.3
T_{pA} (s)	Denklem 4.27	R ve D	Tablo 4.1
T_A (s)	Denklem 2.3	$\delta_{i,max}$	Denklem 4.33
T_B (s)	Denklem 2.3	λ ve κ	Madde 4.9.1.4
$S_{ae}(T)$ (s)	Denklem 2.2	$\theta_{II,max}$	Denklem 4.35
$V_{tE}^{(X)}$ (kN) Sınır Değeri	Denklem 4.19	Hareketli yük katılım katsayısı	Tablo 4.3

**Kısaltma ve semboller için bkz. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019*

DBYBHY-2007'de yer alan denklem ve tablolardan hangi değerlerin okunduğu veya hesaplandığı Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 – DBYBHY-2007 denklem ve tablolar

Terimler	Tablo veya Denklem	Terimler	Tablo veya Denklem
$S_{ae}(T)$ (s)	Denklem 2.1	T_A (s)	Tablo 2.4
S(T) (s)	Denklem 2.2	T_B (s)	Tablo 2.4
$V_{tE}^{(X)}$ (kN)	Denklem 2.4	R	Tablo 2.5
$V_{tE}^{(X)}$ (kN) Sınır Değeri	Denklem 2.4	Hareketli yük katılım katsayısı	Tablo 2.7
$\delta_{i,max}$	Denklem 2.18	$T_p^{(X)}$ (s)	Denklem 2.11
θ_i	Denklem 2.20		

**Kısaltma ve semboller için bkz. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019*

3. Sonuçlar ve Tartışma

Yapının TBDY-2019'a göre ve DBYBHY 2007'ye göre periyot hesabında kullanılan fiktif deplasman değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4 - Fiktif deplasman değerleri

Kat No	TBDY-2019 d_{fi}(m)	DBYBHY 2007 d_{fi}(m)
3	0.0001019	0.0000545
2	0.0000759	0.0000410
1	0.0000348	0.0000196

**Kısaltma ve semboller için bkz. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019*

Tablo 4'te görüldüğü üzere fiktif deplasman değerleri TBDY-2019'da DBYBHY 2007'ye göre yaklaşık olarak 2 kat artmıştır. Bu artışın sebebi TBDY 2019'un Tablo 4.2'deki etkin kesit rijitlik çarpanı değerlerinin DBYBHY 2007'de olmamasından kaynaklanmaktadır. Fiktif yüklerdeki bu artış aynı yapı için farklı periyot değerleri elde edilmesine yol açmıştır. Yapının TBDY-2019'da verilen denklem ve tablolar sayesinde elde edilen değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5 – Eşdeğer deprem yükü analiz değerleri

Terimler	Osmaniye Merkez	Sakarya Merkez	DBYBHY-2007
F_s	1.223	1.000	-
F_1	2.208	1.865	-
S_{DS} (g)	0.883	1.587	-
S_{D1} (g)	0.433	0.811	-
D	3	3	-
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	ZD	Z3
$T_p^{(X)}$ (s)	0.735	0.735	0.54
T_{pA} (s)	0.554	0.554	-
T_A (s)	0.098	0.100	0.15
T_B (s)	0.490	0.505	0.60
$R_a(T)$	8	8	8
$S_{ae}(T)$ (s)	0.589	1.104	2.5
$S_{aR}(T)$ (s)	0.0736	0.138	0.125
$V_{tE}^{(X)}$ (kN)	145.246	272.282	246.631
$V_{tE}^{(X)}$ (kN) Sınır Değerleri	69.688	125.249	78.922

**Kısaltma ve semboller için bkz. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019*

Tablo 5'ten görüldüğü üzere hesaplarda kullanılacak periyot değeri yeni yönetmelikte eskisine göre %36.11 artmıştır. T_A ve T_B sınır periyot değerleri DBYBHY-2007'de zemin sınıfına göre sabit olarak seçilirken, TBDY-2019'da hem zemin sınıfına hem de yapının bulunduğu bölgedeki spektral ivme katsayısına göre belirlenmektedir. Bu yaklaşım ile birlikte yeni yönetmelikte T_A ve T_B değerlerinin hesabı daha detaylı yapılmaktadır. $T_p^{(X)}$ değeri DBYBHY-2007'de bodrum kat(lar) hariç kat sayısı 13'ten az olan binalar için sınırlama getirmemektedir. TBDY-2019 yönetmeliğinde ise kat sayısına bakılmaksızın $T_p^{(X)}$ değeri sınırlandırılmıştır. Sonuç olarak analizi yapılan binada DBYBHY-2007'ye göre $T_p^{(X)}$ değeri sınırlandırılmaz iken TBDY-2019'a göre sınırlandırılmaktadır.

DBYBHY 2007'ye göre T_A ve T_B değerleri arasında kalan periyot değeri lineer bölgede kalmaktadır. TBDY 2019'a göre ise periyot değeri T_B değerinden büyük olduğu için lineer bölgede yer almamaktadır.

Tablo 5'te görüldüğü üzere DBYBHY 2007'ye göre TBDY 2019'da Sakarya'da yer alan yapının taban kesme kuvveti %10.40 daha fazla, Osmaniye'de ise %41.11 daha düşük çıkmıştır. Taban kesme kuvveti değeri yapının taşıyıcı elemanının boyutlandırılmasında kullanılan bir değer olduğu için DBYBHY 2007'ye göre TBDY 2019'da Sakarya Merkez için taşıyıcı eleman boyutlarının büyüyeceği, Osmaniye Merkez için ise küçüleceği aşikardır.

Taban kesme kuvveti sınır değerleri kıyaslanacak olursa; Osmaniye ili için taban kesme kuvveti %40.11 azalmasına rağmen sınır değeri %11.70 azalmıştır, Sakarya ili için taban kesme kuvveti %10.40 artmasına rağmen sınır değeri %58.70 artmıştır. Bu durumdan anlaşılacağı üzere TBDY-2019 minimum olması gereken taban kesme kuvveti sınır değerlerini DBYBHY-2007'ye göre daha yüksek tutarak daha güvenli bölgede kalmıştır.

Tablo 6 - Kat deprem yükleri

Kat No	TBDY-2019 Osmaniye F_i(kN)	TBDY-2019 Sakarya F_i(kN)	DBYBHY-2007 F_i(kN)
3	60.437	113.296	102.623
2	55.167	103.418	93.675
1	29.642	55.568	50.333

Tablo 6'da verilen kat deprem yüklerinin, kat kütle merkezine X doğrultusunda +%5 eksantrisite ile yüklenmesi sonucunda elde edilen göreli kat hesap sonuçları Tablo 7'de verilmiştir. Göreli kat ötelemesi kontrolleri esnek derzsiz durum için kontrol edilmiştir.

Tablo 7 - Göreli kat ötelemelerinin kıyaslanması

Kat No	$\lambda\frac{\delta_{i,max}}{h_i}$ Osmaniye TBDY-2019	$\lambda\frac{\delta_{i,max}}{h_i}$ Sakarya TBDY-2019	0.008κ Sınır Değer TBDY-2019	$\frac{\delta_{i,max}}{h_i}$ DBYBHY-2007	Sınır değer TBDY-2007
3	0.00388	0.00707	0.008	0.00964	0.02
2	0.00607	0.01105	0.008	0.01526	0.02
1	0.00443	0.00805	0.008	0.01196	0.02

**Kısaltma ve semboller için bkz. DBYBHY-2007 ve TBDY-2019*

TBDY-2019 Osmaniye ve DBYBHY-2007 için göreli kat öteleme miktarları sınır değerlerden düşük çıkmıştır. Fakat TBDY-2019 Sakarya bölgesi için göreli kat öteleme miktarları 1. ve 2. Kat için sınır değerlerden büyük çıkmıştır. Bu durumda TBDY-2019'a göre Sakarya bölgesindeki yapının taşıyıcı sisteminin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

Tablo 8 - İkinci mertebe etkilerin kıyaslanması

Kat No	$\theta_{II,max}$ Osmaniye TBDY-2019	$\theta_{II,max}$ Sakarya TBDY-2019	$0.12\frac{D}{C_h R}$ Sınır Değer TBDY-2019	θ_i DBYBHY-2007	Sınır değer DBYBHY-2007
3	0.00529	0.00992	0.09	0.00479	0.12
2	0.01032	0.01937	0.09	0.00939	0.12
1	0.00946	0.01773	0.09	0.00926	0.12

Tablo 8'den anlaşılacağı üzere yapıda her iki bölgede de her iki deprem yönetmeliği için de ikinci mertebe etkilerin sınır değeri aşılmamaktadır. İkinci mertebe kontrollerinin sağlanamaması durumunda DBYBHY-2007'ye göre taşıyıcı sistem rijitliği artırılarak deprem hesabı yenilenmelidir. TBDY-2019'da ikinci mertebe kontrollerinin sağlanamaması durumunda tüm iç kuvvetler Denklem 4.37 ile hesaplanan ikinci mertebe büyütme katsayısı ile çarpılarak artırılmalıdır ve tasarımda dikkate alınabilir veya rijitlikler artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

4. Sonuç

Bu çalışmada TBDY-2019 ile DBYBHY-2007'nin eşdeğer deprem yükü yöntemi bakımından karşılaştırılması Osmaniye ve Sakarya illeri için yapılmıştır. Yapının göreli kat ötelemeleri kontrolü ve ikinci mertebe etkileri araştırılmıştır. TBDY-2019 ile birlikte deprem bölgesi kavramı kalkmıştır. TBDY-2019'da yapının spesifik konumuna bağlı okunan yer ivmesi değerleriyle DBYBHY-2007'de yapılan hesap daha da özelleştirilmiştir. Farklı şehirlerde bulunan aynı yapının her iki yönetmelikçe kıyaslanması sonucunda TBDY-2019'da DBYBHY-2007'ye göre yapının hesabında kullanılacak periyot değeri artmıştır. Fakat Sakarya için taban kesme kuvveti değeri artarken, Osmaniye için bu değer azalmıştır. Ayrıca TBDY-2019'a göre Sakarya'da bulunan yapı göreli kat öteleme kontrolünde yetersiz kalırken Osmaniye'deki yapı yeterliliği sağlamıştır. Yapı analizinin yapının bulunduğu konumdaki yer ivmesine bağlı olarak yapılması, yapının DBYBHY-2007'ye kıyasla Osmaniye ili için kesit küçülmesine, Sakarya ili için ise kesit büyümesine neden olmuştur.

Kaynaklar

Başaran, V. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY2019) Göre Afyonkarahisar İçin Deprem Yüklerinin Değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1028-1035.

CSI, (2015) "CSI Analysis Reference Manual." *CSI: Berkeley (CA, USA): Computers and Structures INC*: 528.

Çavdar, Ö., & Yolcu, A. (2018). Mevcut Bir Okul Binasının Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Yapısal Düzensizliklerinin İncelenmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 153-164.

Erdem, M., & Bikçe, M. (2017). Maksimum Azaltılmış Göreli Kat Ötelemelerinin Güncel (DBYBHY2007) ve Yeni Yönetmelik Taslağına (TBDY2016) Göre Mukayesesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 253-262.

https://tdth.afad.gov.tr. (2018).

Kara , E. (2011). Deprem Yönetmeliklerinin Taban Kesme Kuvveti Hesap Yöntemleri Bakımından İncelenmesi Ve Karşılaştırılması. Sakarya.

Keskin, E., & Bozdoğan, K. (2018). 2007 Ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 74-90.

Kıral, E., Kılıçlar Özdemir, E., R. Yerli, H., & Temel, B. (2000). *Yeni Deprem Yönetmeliğinin Analiz Bakımından Uygulamaları (Çözümlü Örnekler).* Adana: TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Adana Şubesi.

Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-gahri, M., & Arslan, M. (2018). Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin Tbdy 2018 Ve Tdy 2007'Ye Göre Karşılaştırılması. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 43-58.

Öztürk, M. (2018). 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası İle İlgili İç Anadolu Bölgesi Bazında Bir Değerlendirme. *Selçuk- Teknik Dergisi*, 31-42.

T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. 2007."Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik." 26511(1): 1–194.

Tunç , G., & Tanfener, T. (2016). 2007 ve 2016 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliklerinin Örneklerle Mukayesesi. *3. Ulusal Yapı Kongresi Ve Sergisi Teknik Tasarım, Güvenlik Ve Erişilebilirlik .* Ankara: Tmmob Mimarlar Odası Ankara Şubesi.

T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. 2018. "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar." 30364(1): 395.

Ulucan, Z., & Demirel, B. (2007). Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Hesabı Bakımından 1975 Deprem Yönetmeliğ ile 2006 Deprem Yönetmeliğinin Karşılaştırılması . *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 133-138.

Yanık, A. (2008). *Mevcut Deprem Yönetmeliğiile Yürürlükten Kaldırılan Deprem Yönetmeliğinin Karşılaştırılması Ve Mevcut Bir Binanın İncelenmesi*. Trabzon.

iSTE-CE'2019- International Conference on Innovation, Sustainability, Technology and Education in Civil Engineering
13-15 June, 2019, Iskenderun, Hatay / TURKEY

DESIGN OF DOUBLE TEE MOMENT CONNECTIONS WITH EUROPEAN STEEL SHAPES

Hamza Alpaslan[1], Alirıza İlker Akgönen[2*]

[1,2] Department of Civil Engineering, Kahramanmaras Sutcu Imam University, Kahramanmaras, Turkey

Emails: *ilkerakgonen@ksu.edu.tr, aslanhamza1991@gmail.com

Abstract

Double Tee Moment Connections are widely used for Special Moment Frames in USA and these connections are accepted as pre-qualified moment connections which means satisfactory performance capacity was proved with experimental studies under earthquake load and take place in AISC 358-16. However, this connection type is not preferred in Turkey and does not take place in Turkish Building Design Code (TBDY-2018). In this study, it was aimed to illustrate design steps of high-performance Double Tee Moment Connections with European steel shapes and steel quality for utilization of Turkish and European structural engineers. All designed steps for both column side and beam side were explained and a numerical example was given. Effect of beam size diversity with a constant column size on T-stub thickness, stem thickness, bolt diameter and gage distance was determined and presented with charts.

Keyword(s): Double tee moment connection, connection stiffness, T-stub, double split tee.

1. Introduction

Due to inadequate performance of steel frame structures observed after the 1994 Northridge, USA, earthquake and the 1995 Kobe, Japan, earthquake, several investigations on steel connections have been carried out. As a result of these extensive researches, existing connection details were improved and new types of connections were developed such as Double Tee moment connection. This connection is one of the prequalified moment connections submitted in FEMA 350 [1] and AISC 358-16 [2]. Double Tee moment connection can be fabricated with built-up T-stub elements that has advantages in terms of freedom of sizing and material. However, a critical zone occurs between stem and flange of T-stub due to potential brittle failure of weld [4].

In this paper, the numerical example was presented for Double Tee moment connections in accordance with AISC 358-16 [2] design procedures using European steel shapes due to lack of detailed explanation of Double Tee moment connections for utilization of Turkish and European structural engineers. This study shows that all AISC design procedures are suitable to European steel shapes and all design steps were applied without any problem. On the other hand, effect of beam size on T-stub thickness, stem thickness, bolt diameter and gage distance was studied and shown with charts.

2. Previous research

Herrera et al. [3] carried out experimental and finite element studies in order to investigate the effect of Double Split Tee moment connections on seismic performance.

Experimental results show serious amount of over-strength with respect to predicted by design codes. Experimental and numerical study was performed under increasing monotonic tensile load. No damage was observed at the weld region. Bravo and Herrera [4] carried out an experimental program to study the performance of built-up T-stubs under cyclic loads to estimate its suitability for use in DST moment connections. FEM was validated with experimental study results. Most common failure mode was the fracture at T-stem net section in the experimental program. No serious damage was observed during experimental and numerical studies at the welding zone for fillet welds. Herrera et al. [5] compared the performance of built-up Tees with hot rolled Tees in Double Tee moment connections. In addition, parameters such as weld type, T-stub flange thickness, column web thickness were also examined. Studies show that the connection can successfully perform 0.04 rotation capacity without strength degradation under the cyclic load. The type of weld used at connection has no serious influence on the connection performance. Kong and Kim [6] examined the initial stiffness and ultimate moment of the double Tee moment connections. They developed the finite element models using ABAQUS software. Numerical models were verified with experimental tests in the literature. Various parameters such as material properties, flange thickness, web thickness, flange length and web height of T-stub, gage distance, column height and beam depth were investigated. An improved model for initial stiffness and ultimate moment was also proposed. Huang et al. [7] proposed a new model of DST moment connection with slotted holes in the T-stub stems. Four full-scale DST Moment connections were tested under cyclic loading and the test results were compared with the test results of reduced beam section connection. it was observed that the Double Tee moment connection exhibited satisfactory seismic performance. The slippage of the bolts in the slotted holes of T-stem can greatly increase the rotation capacity, ductility and energy dissipation of the DST connection to resist at high seismic zones.

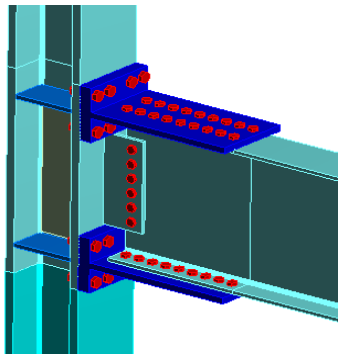


Figure 1- Double Tee moment connection

3. DESIGN STEPS

Double Tee moment Connection Design Example

A Full-strength Double Tee moment connection was designed in accordance with ANSI/AISC 358-16 procedure using the IPE 750x134 beam (S355) and HE 400 M column (S355). Design of beam side, column side, tension bolts, shear bolts, T-stubs and shear tab were explained step by step as follows.

Step 1: Calculate the probable maximum moment at the plastic hinge.

$$M_{pr} = C_{pr} * \ R_y * F_{yb} * Z_e = 1.15 * \ 1.1 * 355 * 4644 * 10^{-3} = 2085.5 \ KN.m \text{(Eq. 1)}$$

C_{pr}= factor to computation for peak strength

F_{yb}= specified minimum yield stress of the beam steel (MPa)

F_{ub}=specified minimum tensile strength of beam steel (MPa)

R_y= ratio of expected yield stress to the specified minimum yield stress

Z_e= plastic section modulus about the *x*-axis of the gross section of the beam at the location of the plastic hinge (mm^3)

Step 2: The shear bolt diameter can be determined as.

$$R_t * Z_{x.net} * F_u \geq R_y * Z_x * F_y \quad \text{(Eq. 2)}$$

(Solve for Z_{net}, assume shear bolts diameter 24 mm and two bolt holes)

$$y_{G.net} = 35.7\ cm \quad Z_{x.net} = 4377.94\ cm^3$$

$$Z_{net} \geq \frac{R_y * Z_x * F_y}{R_t * F_u} = \frac{1.1 * 4644 * 355}{1.1 * 510} = 3232.6\ cm^3 \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$1.1 * 4377.94 * 510 * 10^{-3} \geq 1.1 * 4644 * 355 * 10^{-3} \quad \leftrightarrow \quad 2456 > 1813.5 \ \ ok$$

R_t= ratio of expected tensile strength to the specified minimum tensile strength

$Z_{x.net}$= plastic section modulus of the net section of the beam at the location of the plastic hinge (mm^3)

Step 3: Compute the controlling shear strength per shear bolt

$$\phi r_{nv} = \begin{Bmatrix} \text{bolt shear: } \phi_n F_{nv} A_{vb} \\ \text{beam flange bearing: } \phi_d 2.4 d_{vb} t_{fb} F_{ub} \\ \text{T} - \text{stem bearing: } \phi_d 2.4 d_{vb} t_{st} F_{ut} \end{Bmatrix} \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$\phi r_{nv} = \begin{Bmatrix} \text{bolt shear: } 0.9 * \frac{\pi * 24^2}{4} * 640 * 10^{-3} = 260.6\ KN \\ \text{beam flange bearing: } 1.0 * 2.4 * 24 * 15.5 * 510 * 10^{-3} = 455.33\ KN \\ \text{T} - \text{stem bearing: } 1.0 * 2.4 * 24 * 29 * 510 * 10^{-3} = 851.9\ KN \end{Bmatrix}$$

$$\phi r_{nv} = min = 260.6\ KN$$

A_{vb} = Gross area of a shear bolt shank, (mm^2)

F_{nv} = nominal shear stress of a bolt from the AISC Specification,(MPa)

d_{vb} = diameter of the shear bolts between the T-stem and the beam flange,(mm)

ϕr_{nv} = nominal shear capacity of a shear bolt, (N/bolt)

t_{fb}= thickness of the beam flange (mm)

t_{st}= thickness of the T-stub stem (mm)

ϕ_d = 1.00, ϕ_n = 0.90

Step 4: Compute the probable number of shear bolts,n_{vb}, required in each beam flange:

$$n_{vb} \geq \frac{1.25M_{pr}}{d_b \phi r_{nv}} \geq \frac{1.25*2085.5}{0.75*260.5} = 13.34 \cong 14\ Bolts \qquad \text{(Eq. 5)}$$

Step 5: Determine the distance from the face of the column to the plastic hinge (S_h).

$$S_h = S_1 + L_{vb} \qquad \text{(Eq. 6)}$$

$$S_h = 165 + 456 = 621\ mm\ ,\ S_1 = SB + L_{ehb} = 114 + 51 = 165\ mm$$

$$L_{vb} = S_{vb}\left(\frac{n_{vb}}{2} - 1\right) = 76\left(\frac{14}{2} - 1\right) = 456\ mm \qquad \text{(Eq. 7)}$$

*S*1 = distance between the first row of shear bolts and the face of the column (mm)

S_{vb}= spacing between the shear bolts (mm)

Step 6: Compute the shear force in plastic hinge location at each end of the beam.

From connection design example 4.8 and 4.11 of the AISC Seismic Design Manual, the dead load is 12,26 KN/m and live load is 8,76 KN/m . The dead load here has been modified to account for the extra weight of the IPE 750x134 that was used in the place of the W24x76.

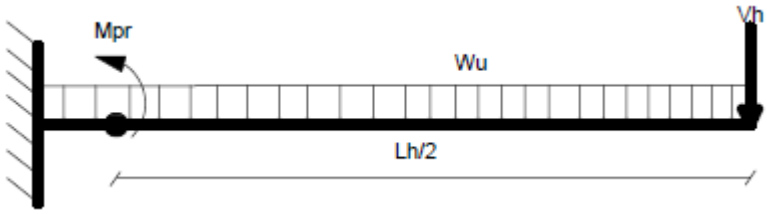


Figure 2- Free body diagram illustrating the calculation of Vh

$$V_h = \frac{2*M_{pr}}{L_h} - \frac{w_u*L_h}{4} \qquad \text{(Eq. 8)}$$

$$l_h = l_0 - d_c - 2S_h = 9000 - 432 - 2*621 = 7326\ mm$$

$$w_D = 12.48\ KN/m,\ w_L = 8.76\ KN/m$$

$$w_u = 1.2w_D + 0.5w_L = 1.2*12.48 + 0.5*8.76 = 19.36\ KN/m$$

$$V_h = \frac{2*2085.5}{7.326} - \frac{19.36*7.326}{4} = 533.88\ KN$$

V_h = Shear force in the beam at plastic hinge location. (N)

Step 7: Calculate the expected moment of the beam at the face of the column.

$$M_f = M_{pr} + V_h * S_h = 2085.5 + 533.88*0.621 = 2417.04\ KN.m \qquad \text{(Eq. 9)}$$

Step 8: Calculate the probable stem force in the T-stub, F_{pr}, due to M_f.

$$F_{pr} = \frac{M_f}{1.05*d_b} = \frac{2417.04}{1.05*0.75} = 3069.26\ KN \quad \text{(Eq. 10)}$$

Step 9: Determine the size of the T-stub required. The stem thickness of the T-stub shall be determined based on the limit states of gross section yielding and net section fracture (checked in this step) and compression due to flexural buckling (checked in Step 16).

Step 9a: Determine the whitmore width as.

$$W_{whit} = 2L_{vb}tan30^{\circ} + g_{vb} = 2 * 456 * tan30^{\circ} + 140 = 666.54\ mm \quad \text{(Eq. 11)}$$

g_{vb} = Gage distance of shear bolts in the T-stub (mm)

Step 9b: The minimum stem thickness,t_{st}, based on yielding of the T-stem is:

$$\mathrm{t_{st}} \geq \frac{\mathrm{F_{pr}}}{\min(\mathrm{W_t},\mathrm{W_{whit}})\varphi_d \mathrm{F_{yt}}} \geq \frac{3069.26*10^3}{307*1.0*355} = 28.16 \cong 29\ mm, \quad \text{(Eq. 12)}$$

Where $W_t = b_{fc} = 307\ mm$

F_{yt} = specified minimum yield stress of the T-stub steel (MPa)

W_T = width flange of the T-stub measured parallel to the column flange width (mm)

Step 9c: The minimum stem thickness, t_{st}, based on fracture of the T-stem is:

$$\mathrm{t_{st}} \geq \frac{\mathrm{F_{pr}}}{\varphi_n * \mathrm{F_{ut}} * [\min(\mathrm{W_t},\mathrm{W_{whit}}) - 2*(\mathrm{d_{vht}}+2\mathrm{mm})]} \quad \text{(Eq. 13)}$$

$$t_{st} \geq \frac{3069.26 * 10^3}{0.9 * 510 * [307 - 2 * (26 + 2mm)]} = 26.64\ mm$$

F_{ut} = specified minimum tensile stress of T-stub steel, (MPa)

d_{vht}= holes diameter of the stem in the T-stub for the shear bolts, (mm)

Step 9d: To ensure that compression buckling of the stem in the T-stub will not control, select the stem thickness such that:

$$t_{st} = \frac{(S_1 - t_{ft})}{9.60} = \frac{(165-60)}{9.60} = 10.94\ mm,\ \ t_{st} = t_{st.max} = 29mm \quad \text{(Eq. 14)}$$

F_{pr}, back-check: $F_{pr} = \frac{M_f}{d_b + t_{st}} = \frac{2417.04}{0.75+0.029} = 3102.75\ KN$

n_{vb}, back-check: $n_{vb} = \frac{F_{pr}}{\phi r_{nv}} = \frac{3102.75}{260.6} = 11.9 << 14\ bulon \quad ok$

*S*1 = distance from the first row of shear bolts to the face of the column, (mm)

t_{ft} = T-stub flange thickness, (mm)

Step 10: Determine the size of the tension bolts connecting the column flange to the T-stub.

$$d_{tb} \geq \sqrt{\frac{4F_{pr}}{n_{tb}\varphi_n \pi F_{nt}}} \geq \sqrt{\frac{4*3069.26*10^3}{8*0.9*\pi*800}} = 26.05 = 27\ mm \quad \text{(Eq. 15)}$$

F_{nt}= nominal tensile stress of tension bolt from the AISC Specification, (MPa)

n_{tb} = number of tension bolts connecting the column flange to the T-stub flange.

Step 11: Determine the preliminary configuration of the T-stub flange.

Step 11a: Compute the flange width of the T-stub, b_{ft}:

$$b_{ft} \geq g_{tb} + 2a \geq 170 + 2 * 40.5 = 251\ mm \quad < 307\ mm \qquad \text{(Eq. 16)}$$

$$g_{tb} \geq 2t_{fb} + t_{st} + d_{wrench} \geq 2 * 15.5 + 29 + 108 = 168\ mm \leftrightarrow g_{tb} = 170\ mm \qquad \text{(Eq. 17)}$$

$$a = 1.5 * d_{tb} \leq 1.25\, b \leftrightarrow a = 1.5 * 27 = 40.5 \leq 1.25 * 70.5 = 88.125\ mm \qquad \text{(Eq. 18)}$$

$$b = \frac{1}{2}(g_{tb} - t_{st}) = 0.5(170 - 29) = 70.5\ mm, \qquad \text{(Eq. 19)}$$

$$a' = a + 0.5\, d_{tb} = 40.5 + 0.5 * 27 = 54\ mm \qquad \text{(Eq. 20)}$$

$$b' = b - 0.5 d_{tb} = 70.5 - 0.5 * 27 = 57\ mm \qquad \text{(Eq. 21)}$$

b = distance between bolt line in the T-stub flange and effective T-stem. (mm)

g_{tb} = gage distance of the tension bolts in the T-stub, (mm)

Step 11b: Calculate the design strength of a single tension bolt, φr_{nt}:

$$\varphi r_{nt} = \varphi_n A_{tb} F_{nt} = 0.9 * \frac{\pi * 27^2}{4} * 800 * 10^3 = 412.24\ KN/bolt \qquad \text{(Eq. 22)}$$

A_{tb} = Gross area of a tension bolt shank.(mm^2)

Step 11c: Compute the required T-flange strength, T_{req}, in units of KN per tension bolt:

$$T_{req} = \frac{F_{pr}}{n_{tb}} = \frac{3102.75}{8} = 387.84\ KN \qquad \text{(Eq. 23)}$$

n_{tb}= number of tension bolts connecting the T-stub flange to the column face

Step 11d: compute the minimum flange thickness of the T-stub, t_{ft}, based on a mixed-mode failure:

$$t_{ft} \geq 2\sqrt{\frac{T_{req}(a' + b') - \varphi_{rnt}\, a'}{\varphi_d F_{yt} p}} \qquad \text{(Eq. 24)}$$

$$t_{ft} \geq 2\sqrt{\frac{387.84 * 10^3 (54 + 57) - 412.24 * 10^3 * 54}{1.0 * 355 * 76.75}} = 55.25\ mm \leftrightarrow t_{ft} = 60\ mm$$

$$p = \frac{2W_t}{n_{tb}} = \frac{2*307}{8} = 76.75\ mm \qquad \text{(Eq. 25)}$$

Step 12: Select a HE-shape from which the T-stubs will be cut. Base the selection on:
S_1, L_{vb}, (from step 5), t_{st}, (from step 9), b_{ft}, t_{st} (from step 11).

The beam depth to be used to create the T-stub must exceed

L_{vb} + 2*S1.

$$d_{b,T-stub} \geq L_{vb} + 2 * S_1 \quad \text{(Eq. 26)}$$

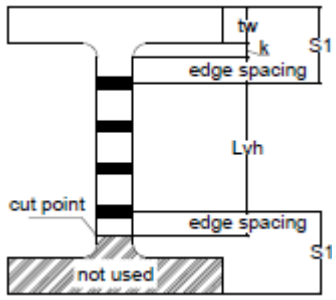


Figure 3- Required depth when selecting the beam to create a T-stub

Step 13: Check the Double Tee moment connection rotational stiffness to ensure that the connection is classified as fully restrained:

$$K_i \geq \frac{18\,EI_{beam}}{L_o} \geq \frac{18*200000*1507*10^6}{9000} = 6.03 * 10^{11} \quad \text{(Eq. 27)}$$

$$K_i = \frac{d_b^2 K_{ten} K_{comp}}{K_{ten} + K_{comp}} \quad \text{(Eq. 28)}$$

$$K_i = \frac{750^2 * 3095606.87 * 3106711.26}{3095606.87 + 3106711.26} = 8.72 * 10^{11} > 6.03 * 10^{11} \quad ok$$

$$K_{ten} = \left(\frac{1}{K_{flange}} + \frac{1}{K_{stem}} + \frac{1}{K_{slip}}\right)^{-1} \quad \text{(Eq. 29)}$$

$$K_{ten} = \left(\frac{1}{866068306} + \frac{1}{5045795.99} + \frac{1}{8084139.45}\right)^{-1} = 3095606.87$$

$$K_{comp} = \left(\frac{1}{K_{stem}} + \frac{1}{K_{slip}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{5045795.99} + \frac{1}{8084139.45}\right)^{-1} = 3106711.26 \quad \text{(Eq. 30)}$$

$$K_{flange} = \frac{12 n_{tb} EI_{ft} (a' \beta_a + 3b' \beta_b)}{b'^3 \beta_b (4a' \beta_a + 3b' \beta_b)}\, a \quad \text{(Eq. 31)}$$

$$K_{flange} = \frac{12 * 8 * 200000 * 1381500(54 * 4.11 + 3 * 57 * 3.79)}{57^3 * 3.79(4 * 54 * 4.11 + 3 * 57 * 3.79)} 40.5 = 866068306$$

$$I_{ft} = \frac{pt_{ft}^3}{12} = \frac{76.75 * 60^3}{12} = 1381500\ mm^4$$

$$\beta_a = 1 + \frac{12EI_{ft}}{Gpt_{ft}a'^2} = 1 + \frac{12*200000*1381500}{79300*76.75*1381500*54^2} = 4.11 \quad \text{(Eq. 32)}$$

$$\beta_b = 1 + \frac{12EI_{ft}}{Gpt_{ft}b'^2} = 1 + \frac{12*200000*1381500}{79300*76.75*60*57^2} = 3.79 \quad \text{(Eq. 33)}$$

$$K_{stem} = \frac{t_{st} E (W_t - b_{fb})^2}{L_{stem}\left[(W_T - b_{fb}) + b_{fb} \ln\left(\frac{b_{fb}}{W_T}\right)\right]} \quad \text{(Eq. 34)}$$

$$K_{stem} = \frac{29 * 200000(307 - 15.5)^2}{672\left[(307 - 15.5) + 15.5 * \ln\left(\frac{15.5}{307}\right)\right]} = 5045795.99$$

$$K_{slip} = \frac{P_{slip}}{\Delta_{slip}} = \frac{1560562.28}{0.19304} = 8084139.45 \quad \text{(Eq. 35)}$$

$$P_{slip} = n_{vb} * a * 0.70 * F_{nt} * A_{vb} * \mu \quad \text{(Eq. 36)}$$

$$P_{slip} = 14 * 40.5 * 0.70 * 800 * \frac{\pi * 24^2}{4} * 0.5 = 1560562.28\ N$$

I_{beam} = moment of inertia for strong axis of the beam,(mm^4)

L_o = theoretical length of the connected beam measured between the working lines of the adjacent columns. (mm)

L_{stem} = length of T-stub stem, (mm), Δ_{slip} = 0.0076 in. (0.19 mm)

α = 1.00 for ASTM F3125 Grades A325, A325M and F1852 bolts

= 0.88 for ASTM F3125 Grades A490, A490M and F2280 bolts

Step 14: Compute the maximum force in the stem of the T-stub due to M_f. Using the actual stem thickness, the actual stem force, F_f, that is to be carried by the T-stubs.

$$F_f = \frac{M_f}{d_b + t_{st}} = \frac{2417.04}{0.75+0.029} = 3102.75\ KN \quad \text{(Eq. 37)}$$

Step 15: Back-check the shear bolts strength with the actual stem force F_f. Use φr_{nv} from Step 3 to confirm that the number of shear bolts, n_{vb}, estimated in Step 4 is adequate to resist the actual flange force, F_f.

$$\varphi R_n = \varphi r_{nv} * n_{vb} \geq F_f \leftrightarrow \varphi R_n = 260.6 * 14 = 3648.4\ KN > 3102.75\ KN \quad ok \quad \text{(Eq. 38)}$$

Step 16: Back-check the strength of the stem of the T-stub using the maximum flange force of the beam. Back-check that the gross section yielding, net section fracture, and flexural buckling strengths of the T-stub are adequate to resist the maximum flange force, F_f.

$$\varphi R_n \geq F_f$$

Step 16a: Gross section yielding capacity

$$\varphi R_n = \varphi_d * F_{yt} * \min(W_t, W_{whit})\, t_{st} \quad \text{(Eq. 39)}$$

$$\varphi R_n = 1.0 * 355 * 307 * 29 * 10^{-3} = 3160.57\ KN > 3102.75\ KN$$

Step 16b: Net section fracture capacity

$$\varphi R_n = \varphi_n * F_{ut} * [\min(W_t, W_{whit}) - 2(d_{vht} + 2mm)]t_{st} \quad \text{(Eq. 40)}$$

$$\varphi R_n = 0.9 * 510 * [307 - 2(26 + 2mm)]29 * 10^{-3} = 3341.06\ KN > 3102.75\ KN$$

Step 16c: Stem flexural buckling capacity

$$\frac{KL}{r} = 2.60\ (\frac{S_1 - t_{ft}}{t_{st}}) = 2.60\ \left(\frac{165-60}{29}\right) = 9.41\ < 25\ ok \quad \text{(Eq. 41)}$$

$$\varphi R_n = \varphi_d * F_{yt} * \min(W_t, W_{whit})\, t_{st} \quad \text{(Eq. 42)}$$

$$\varphi R_n = 1.0 * 355 * 307 * 29 * 10^{-3} = 3160.57\ KN\ > 3102.75\ KN$$

If $\frac{KL}{r} \leq 25$ then $\leftrightarrow\ \varphi R_n = \varphi_d * F_{yt} * \min(W_t, W_{whit})\, t_{st}$ (Eq. 43)

If $\frac{KL}{r} > 25$ thenφR_n is determined using the provisions in Section E3 of the AISC Specification using *KL*/*r* as determined previously and taking ϕ equal to, φ_n.

Step 17: Back-check the strength of the T-stub flange. The strength of the T-stub flange shall be computed as:

$$\varphi R_n = n_{tb} \varphi T \quad \text{(Eq. 44)}$$

$$\varphi T = \left\{ \begin{array}{c} \varphi T1 = \frac{(1+0.609)}{4*53.03} * 76.75 * 1.0 * 355 * 60^2 * 10^{-3} = 744.02\ KN \\ \varphi T2 = \frac{412.24*82}{82+53.03} + \frac{76.75*1.0*355*60^2}{4(82+53.03)} * 10^{-3} = 431.94\ KN \\ \varphi T3 = 412.24\ KN \end{array} \right\} \quad \text{(Eq. 45)}$$

$$\varphi T = min = 412.24\ KN$$

$$a' = a + \frac{1}{2}\, d_{tb} = 68.5 + 0.5 * 27 = 82\ mm \quad \text{(Eq. 46)}$$

$$b' = b - \frac{1}{2}\, d_{tb} = 66.53 - 0.5 * 27 = 53.03\ mm \quad \text{(Eq. 47)}$$

$$a = 0.5 * (b_{ft} - g_{tb}) \leq 1.25\, b \quad \text{(Eq. 48)}$$

$$a = 0.5 * (307 - 170) = 68.5\ mm \leq 1.25 * 66.53 = 83.16\ mm$$

$$b = \frac{1}{2}\left(g_{tb} - t_{st,eff}\right) = 0.5(170 - 36.94) = 66.53mm \quad \text{(Eq. 49)}$$

$$t_{st,eff} = k_1 + \frac{t_{st}}{2} = 22.44 + \frac{29}{2} = 36.94\ mm \quad \text{(Eq. 50)}$$

$$\delta = \left(1 - \frac{d_{tht}}{p}\right) = \left(1 - \frac{30}{76.75}\right) = 0.609 \quad \text{(Eq. 51)}$$

$$p = \frac{2W_t}{n_{tb}} = \frac{2*307}{8} = 76.75 \quad \text{(Eq. 52)}$$

d_{tht}= holes diameter in T-flange for the tension bolts. (mm)

Step 18: Check the tear-out and bearing strength of the beam flange and T-stub. Bearing and tear out of the shear bolts shall be checked in a manner consistent with Chapter J of the AISC Specification. For these computations, bearing and tear-out are considered to be ductile failure modes.

For the shear bolts nearest the column:

T-stub bearing:

$$\varphi R_n = \varphi * 2.4 * d_{vb} * t_{st} * F_{ut} = 1.0 * 2.4 * 24 * 29 * 510 * 10^{-3} = 851.9\ KN \quad \text{(Eq. 53)}$$

T-stub tear through:

$$\varphi R_n = \varphi * 1.2 * l_c * t_{st} * F_{ut} = 1.0 * 1.2 * 50 * 29 * 510 * 10^{-3} = 887.4\ KN \quad \text{(Eq. 54)}$$

$$l_c = 76 - (24 + 2) = 50\ mm$$

Beam flange bearing:

$$\varphi R_n = \varphi * 2.4 * d_{vb} * t_{fb} * F_{ub} = 1.0 * 2.4 * 24 * 15.5 * 510 = 455.33\ KN \quad \text{(Eq. 55)}$$

Beam flange tear through:

$$\varphi R_n = \varphi * 1.2 * l_c * t_{fb} * F_{ub} = 1.0 * 1.2 * 38 * 15.5 * 510 * 10^{-3} = 360.47\ KN \quad \text{(Eq. 56)}$$

$$l_c = 51 - 0.5(24 + 2) = 38\ mm$$

Governing capacity: $\varphi R_n = 360.47$ KN

For shear bolts interior to the connection:

Beam flange tear through:

$$\varphi R_n = \varphi * 1.2 * l_c * t_{fb} * F_{ub} = 1.0 * 1.2 * 50 * 15.5 * 510 * 10^{-3} = 474.3\ KN$$

$$l_c = 76 - (24 + 2) = 50\ mm$$

Governing capacity: $\varphi R_n = 455.33$ KN

For shear bolts farthest from the connection:

T-stub tear through:

$$\varphi R_n = \varphi * 1.2 * l_c * t_{st} * F_{ut} = 1.0 * 1.2 * 38 * 29 * 510 * 10^{-3} = 674.424KN$$

$$l_c = 51 - 0.5 * (24 + 2) = 38\ mm$$

Beam flange tear through:

$$\varphi R_n = \varphi * 1.2 * l_c * t_{fb} * F_{ub} = 1.0 * 1.2 * 50 * 15.5 * 510 * 10^{-3} = 474.3\ KN$$

$$l_c = 76 - (24 + 2) = 50\ mm$$

Governing capacity: $\varphi R_n = 455.33$ KN

The following is the actual capacity from the bearing and tear-out evaluation:

$$\varphi R_{n,\ total} = 2 * 360.47 + 10 * 455.33 + 2 * 455.33 = 6184.9\ \text{KN} > F_f = 3102.76KN$$

All connections satisfied the bearing and tear-out capacity check.

Step 19: Check block shear of the beam flange and the T-stub. Block shear of the T-stub and beam flange shall be checked according to Chapter J of the AISC Specification. For the

objective of this design, the block shear failure shall be considered a ductile failure mode and $\varphi_d = 1$ shall be used.

Considering beam flange block shear:

$$\varphi R_n = R_n = 0.60 * F_{ut} * A_{nv} + U_{bs} * F_{ut} * A_{nt} \leq 0.60 * F_{yt} * A_{gv} + U_{bs} * F_{ut} * A_{nt} \quad \text{(Eq.57)}$$

$$A_{nt} = (g_{vb} - d_{vh}) * t_{bf} = (140 - 26) * 15.5 = 1767\ mm^2 \quad \text{(Eq.58)}$$

$$A_{gv} = 2 * \left(edge\ spacing + \left(\frac{n_{vb}}{2} - 1\right) * bolt\ spacing\right) t_{bf} \quad \text{(Eq.59)}$$

$$A_{gv} = 2 * \left(51 + \left(\frac{14}{2} - 1\right) * 76\right) * 15.5 = 15717\ mm^2$$

$$A_{nv} = 2(gross\ length\ in\ shear - length\ of\ bolt\ holes) * t_{bf} \quad \text{(Eq.60)}$$

$$A_{nv} = 2\left(\left(edge\ spacing + \left(\frac{n_{vb}}{2} - 1\right) * bolt\ spacing\right) - \left(\frac{n_{vb}}{2} - 0.5\right) * \left(d_{vb} + \frac{1}{8}\right)\right) t_{bf}$$

$$A_{nv} = 2 * \left(\left(51 + \left(\frac{14}{2} - 1\right) * 76\right) - \left(\frac{14}{2} - 0.5\right) * (24 + 2)\right) * 15.5 = 10478\ mm^2$$

$$\varphi R_n = R_n = 0.60 * 510 * 10478 * 10^{-3} + 1.0 * 510 * 1767 * 10^{-3} = 4107.44\ KN$$
$$\leq 0.60 * 355 * 15717 * 10^{-3} + 1.0 * 510 * 1767 * 10^{-3} = 4248.89\ KN$$

$$\varphi R_n = \varphi_n R_n = 0.9 * 4248.89 = 3824\ KN > F_f$$

All DST connections satisfied this check.

Step 20: Determine the configuration of the shear connection to the beam web.

Step 20a: SB=114 mm, L_{eh}=51 mm**,** $L_{sc,\ max} = d_b + t_{st} - b_{ft}$ =750 +29 – 260 = 519 mm (Eq.61)

Diameter of web bolts = 22 mm , e_x = SB +L_{eh} =114 + 51 = 168 mm (Eq.62)

$L_{sc,\ max}$ = The room left for a shear plate

e_x = Eccentricity of shear bolt group from weld at column face

Step 20b: Compute the capacity of web shear bolts

$$\varphi r_{nw} = \phi_n * \left(\frac{\pi}{4}\right) * (d_{wb})^2 * (F_{nv}) = 0.9 * \left(\frac{\pi}{4}\right) * (22)^2 * (640) * 10^{-3} = 218.96\ KN \quad \text{(Eq.63)}$$

$$V_f = V_h + w_u * s_h = 533.89 + 19.356 * 0.621 = 545.91\ KN$$

$$C_{min} = \frac{V_f}{\varphi r_{nw}} = \frac{545.91}{218.96} = 2.5\ bolts \ \leftrightarrow\ C_{min} = 5\ bolts \quad \text{(Eq.64)}$$

Step 20b1: Compute the capacity of the shear bolts within the shear connection

$$\varphi R_n = \varphi r_{nw} * C = 218.96 * 5 = 1094.8\ KN \quad \text{(Eq.65)}$$

Step 20b2: Compute the force on the most critically loaded shear bolt

$$r_{uw} = \frac{V_f}{C} = \frac{545.91}{5} = 109.18\ KN \quad \text{(Eq.66)}$$

Step 20b3: Compute actual height, L_{sc}, shear connection

$$\text{Lsc} = 2L_{ev} + s_{wb}(n_{wb} - 1) = 2 * 51 + 76 * (5 - 1) = 406\ mm \quad \text{(Eq.67)}$$

Step 20c: Determine the thickness of the shear tab connection:

Rupture:

$$t_{sc} \geq \frac{V_f}{\varphi_n * 0.6 * F_{ysc} * [L_{sc} - n_{wb} * (d_{wh} + 2mm)]} \geq \frac{545.91 * 10^3}{0.9 * 0.6 * 510 * [406 - 5 * (24 + 2mm)]} = 7.18\ mm \quad \text{(Eq.68)}$$

Yielding: $t_{sc} \geq \frac{V_f}{\varphi_d * 0.6 * F_{ysc} * L_{sc}} \geq \frac{545.91 * 10^3}{1.0 * 0.6 * 355 * 406} = 6.31\ mm$ (Eq.69)

Bearing: $t_{sc} \geq \frac{r_{uw}}{\varphi_d * 2.4 * d_{wb} * F_{usc}} \geq \frac{109.18 * 10^3}{1.0 * 2.4 * 22 * 510} = 4.05\ mm$ (Eq.70)

Tear-out: $t_{sc} \geq \frac{r_{uw}}{\varphi_d * 1.2 * L_c * F_{ysc}} \geq \frac{109.18 * 10^3}{1.0 * 1.2 * 39 * 355} = 6.57\ mm$ (Eq.71)

$$L_c = l_{eh} - 0.5(d_{wh}) = 51 - 0.5 * 24 = 39\ mm$$

The thickness of shear tab: $t_{sc} \leq (\frac{d_{wb}}{2}) + 2 \leq \left(\frac{22}{2}\right) + 2 = 13\ mm$, Choose t_{sc} =13 mm

Step 20d: Check bearing and tear-out of the web of beam:

Bearing:

$$\varphi R_n = \varphi_d * 2.4 * d_{wb} * t_{wb} * F_{ub} = 1.0 * 2.4 * 22 * 12 * 510 = 323.136\ KN \quad \text{(Eq.72)}$$

Tear-out:

$$\varphi R_n = \varphi_d * 1.2 * l_c * t_{wb} * F_{ub} = 1.0 * 1.2 * 39 * 12 * 510 * 10^3 = 286.416\ KN \quad \text{(Eq.73)}$$

Step 20e: Determine the size of the weld between shear tab and the column flange:

$$C = 3.09 + \frac{(2.66 - 3.09)}{(0.4 - 0.3)}(0.4064 - 0.3) = 2.632 \qquad a_{sc} = \frac{e_x}{L_{sc}} = \frac{165}{406} = 0.4064 \quad \text{(Eq.74)}$$

$$D_{min} = \frac{V_f}{0.9 * C * 1.00 * height\ of\ plate} = \frac{545.91}{0.9 * 2.632 * 1.00 * 406} = 0.567\ mm \quad \text{(Eq.75)}$$

Minimum weld size =$D_{min} = w = 5mm$

Step 20f: Check block shear for the beam:

$$\varphi R_n = 0.60 * F_{ub} * A_{nv} + U_{bs} * F_{ub} * A_{nt} \leq 0.60 * F_{yb} * A_{gv} + U_{bs} * F_{ub} * A_{nt} \quad \text{(Eq.76)}$$

$$\varphi R_n = 0.60 * 510 * 5028 * 10^{-3} + 1.0 * 510 * 456 * 10^{-3} = 1771.13KN$$
$$\leq 0.60 * 355 * 6324 * 10^{-3} + 1.0 * 510 * 456 * 10^{-3} = 1579.57KN$$

$$\varphi R_n = R_n = 1579.57KN$$

$$A_{nt} = (l_{eh} - 0.5 * (d_{wh} + 2) * t_{bf} = (51 - 0.5 * (24 + 2) * 15.5 = 456\ mm^2 \quad \text{(Eq.77)}$$

$$A_{gv} = \left(\frac{d_b}{2} + \frac{l_{sc}}{2} - l_{ev}\right) t_{wb} = \left(\frac{750}{2} + \frac{406}{2} - 51\right) * 12 = 6324\ mm^2 \quad \text{(Eq.78)}$$

$$A_{nv} = \left(\frac{d_b}{2} + \frac{l_{sc}}{2} - l_{ev} - \left(n_{wb} - \frac{1}{2}\right)(d_{wb} + 2)\right) t_{wb} \quad \text{(Eq.79)}$$

$$A_{nv} = \left(\frac{750}{2} + \frac{406}{2} - 51 - (5 - \frac{1}{2})(22 + 2)\right) 12 = 5028\ mm^2$$

Step 21: Check lateral beam bracing requirements. According to the Seismic Provisions Section 9.8, both beam flanges must be laterally braced at intervals not to exceed:

$$L_{b,max} = 0.086 r_y * \left(\frac{E}{F_y}\right) \qquad L_{b,max} = 0.086 * 5.3 * 10 * \left(\frac{200000}{355}\right) = 2567.9\ mm \quad \text{(Eq.80)}$$

The limiting length: $L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 * 5.3 * 10 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 2214\ mm$ (Eq.81)

Step 22: Check adequate strength for the column.

Step 22a: Check panel-zone of the column web for shear strength:

$$P_c = F_y * A = 355 * 325.8 * 10^2 * 10^{-3} = 11566\ KN \quad \text{(Eq.82)}$$

From page 4-64 of the AISC Seismic Provisions, $P_r = V_f = 545.91\ KN$

If $P_r \leq 0.75 P_c$ **:** $P_u = 0.6 F_y d_c t_{wc} \left[1 + \frac{3 b_{fc} t_{fc}^2}{d_b d_c t_{wc}}\right]$ (Eq.83)

$$P_u = 0.6 * 355 * 432 * 21 * \left[1 + \frac{3*307*15.5^2}{750*432*21}\right] * 10^{-3} = 2350.84\ KN$$

$$\emptyset P_u = 0.90 * 2350.84 = 2115.76\ KN\ < F_f$$

Doubler plate is needed. $V_{u,DP} = 3102.76 - 2115.76 = 987\ KN$

Minimum thickness of the doubler plate: $t_{DP} \geq \frac{(d_z + w_z)}{90} = \frac{779+352}{90} = 12.27\ mm$ (Eq.84)

$$d_z = d_b + t_{st} = 750 + 29 = 779\ mm \quad \text{(Eq.85)}$$

$$w_z = d_c - 2t_{ft} = 432 - 2 * 40 = 352 mm \quad \text{(Eq.86)}$$

Doubler plate yielding capacity: $t_{DP} \geq \frac{V_{u,DP}}{\emptyset * 0.6 * F_y * d_c} = \frac{987}{1.0*0.6*355*432} = 10.73\ mm$ (Eq.87)

Doubler plate buckling capacity: $t_{DP} \geq \frac{w_z}{2.45}\sqrt{\frac{Fy}{E}} = \frac{352}{2.45}\sqrt{\frac{355}{200000}} = 6.05\ mm$ (Eq.88)

Doubler plate thickness $t_{DP} = 15\ mm$

Doubler plate width $x_1 = d_c - 2t_{fc} - 2 * r = 432 - (2 * 40) - (2 * 27) = 298 \cong 300\ mm$

Doubler plate length $h = d_b - 2 * t_{fc} = 750 - 2 * 15.5 = 719 \cong 720\ mm$

Fillet welds: Using equation 4.4-7 from the steel design guide series 13 [8],

$$W_{min} = \frac{0.9*0.6*F_y t_{eff}}{0.75*0.6*F_{EXX}}\sqrt{2} = \frac{1.7*F_y*t_{peff}}{F_{EXX}} = \frac{1.7*355*12.57}{485} = 15.64\ mm \quad \text{(Eq.89)}$$

Minimum weld thickness 1/4 = 7 mm

Step 22b: Control the column web for the connected beam flange:

Check web yielding strength:

$$\emptyset P_n = \emptyset_d\left[5\left(k + t_{ft}\right) + t_{st}\right]F_{yc}t_{wc} \quad \text{(Eq.90)}$$

$$\emptyset P_n = 0.9 * [5(67 + 60) + 29] * 355 * 21 * 10^{-3} = 4950.12\ KN$$

Check web crippling strength:

$$\emptyset P_n = \emptyset_n 0.80 t_{wc}^2 \left[1 + 3\left(\frac{N}{d_c}\right)\left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yc}t_{fc}}{t_{wc}}} \quad \text{(Eq.91)}$$

$$\emptyset P_n = 0.9 * 0.80 * 21^2 \left[1 + 3\left(\frac{44.5}{432}\right)\left(\frac{21}{40}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{200000*355*40}{21}} = 4126.57\ KN$$

Continuity plate thickness t_s: t_s= 15.5 mm

Continuity plate width w_s,: $w_s = (b_{fc} - t_{ws})/2$ =(307 – 21)/2 =143 mm

Continuity plate length L_s, = $d_b - 2*t_{fb}$ = 750 – 2* 15.5 =719 mm

Use 4 continuity plate 719x143x15.5

Check the thickness of the weld using equation 4.3-6 from the steel design guide series 13, [8]
Connecting transverse stiffeners to the column flange:

$$W_{min} = \frac{0.9*F_{yst}t_s}{0.75*1.5*0.6F_{EXX}\sqrt{2}} = \frac{0.943F_{yst}t_s}{F_{EXX}} = \frac{0.943F_{yst}t_s}{F_{EXX}} \quad \text{(Eq.92)}$$

$$W_{min} = \frac{0.943 * 355 * 15.5}{485} = 10.7\ mm$$

Connecting transverse stiffeners to the column web: The unbalanced load in the web:

$$V_{u,DP} = 987\ KN$$

$$\emptyset R_n = 2(\emptyset)(0.707)(0.6)(F_{EXX})(w)\left(L - 2(clip)\right) \quad \text{(Eq.93)}$$

$$\emptyset R_n = 2(0.75)(0.707)(0.6)(485)(w)\left(352 - 2(1)\right) * 10^{-3} = 108.01w$$

$$987 = 108.01w \quad \leftrightarrow w = 9.14\ mm$$

Continuity plates weld thickness: w = 11 mm

Step 22c: Control the column flange for flexural yielding using yield line theory:

$$t_p = \sqrt{\frac{F_f}{\left[(m+n+p)\left(\frac{1}{o}+\frac{1}{q}\right)+(m+n)\left(\frac{1}{o}+\frac{1}{q}\right)+2\right]F_{yc}}} \quad \text{(Eq.94)}$$

$$t_p = \sqrt{\frac{3102.76*10^3}{\left[(35+76+32)\left(\frac{1}{45}+\frac{1}{70.5}\right)+(35+76)\left(\frac{1}{45}+\frac{1}{70.5}\right)+2\right]*355}} = 27.87\ mm\ <<\ t_{fc} = 40\ mm\ \ ok$$

The supplied column flange thickness is more than the computed plastic flange thickness.

Results of Design Steps for other specimens are shown in the table below:

DST1 = Column HE 400 M x Beam IPE 750 x 134

DST2 = Column HE 400 M x Beam IPE 600

DST3 = Column HE 400 M x Beam IPE 400, DST4 = Column HE 400 M x Beam IPE 300

Table 1- Comparison results of the numerical study of the four connection type

STEPS	DST1		DST2	DST3	DST4
	RESULT		RESULT	RESULT	RESULT
step 1	M_{pr} =	2085.5	1577.15	586.94	282.02
step 2	d_{vb} =	24	22	22	16
step 3	$Ø_{rnv}$ = min	260.58	218.96	218.96	115.81
step 4	n_{vb} =	14	16	10	12
step 5	S_h =	621	693	455	365
step 6	V_h =	533.89	405.09	117.79	36.2
step 7	M_f =	2417.05	1857.88	640.54	295.23
step 8	F_{pr} =	3069.27	2949.01	1525.09	937.24
step 9	t_{st} =	29	27	15	10.7
step 10	d_{tb} =	27	27	20	22
step 11	b_{ft} =	251	255	210	174
step 12					
step 13	K_i =	8.72E+11	4.87E+11	1.445E+11	6.37E+10
step 14	F_f =	3102.76	2958.4	1547.19	950.21
step 15	ϕR_n =	3648.07	3503.3	2189.56	1389.74
step 16	ϕR_n =	3160.57	3051.6	1525.79	1166.14
step 17	ϕR_n =	3297.92	3297.92	1809.56	1094.78
step 18	ϕR_n =	6184.87	7046.57	4948.02	2907.5
step 19	$\phi R_n = R_n$ =	4107.44	5616.3	2563.97	1561.79
step 20	R_n =	1579.57	1296.86	591.98	365.72
step 21	L_p =	2214.06	1946.7	1650.1	1399.45
step 22	t_p =	27.88	27.37	19.57	16.16

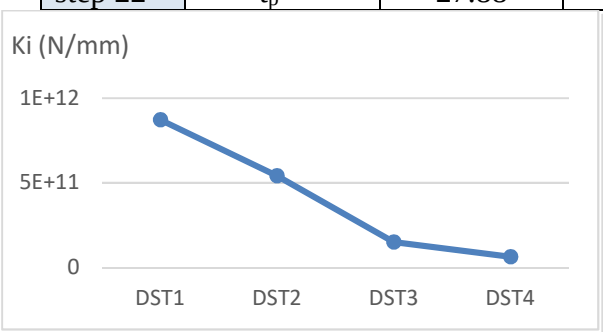


Figure 4-1 - Stiffness chart of four models

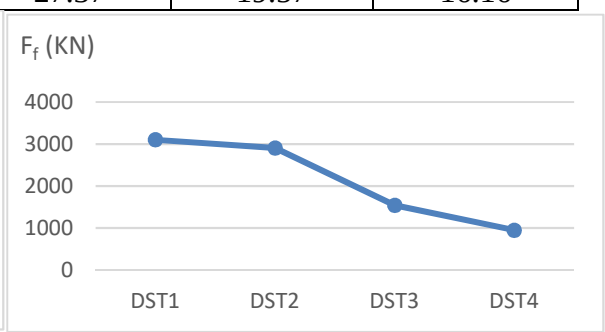


Figure 4-2 - Beam flange Force chart

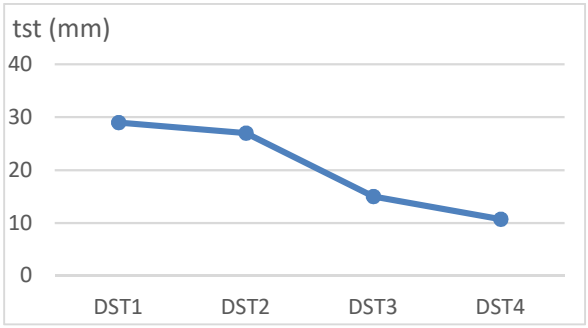


Figure 4-3 - T-stub stem thickness chart

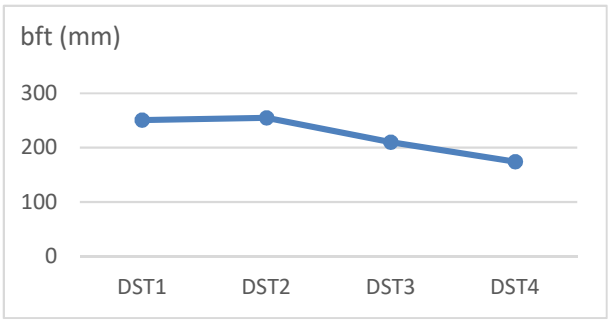


Figure 4-4 - Flange width of the T-stub chart

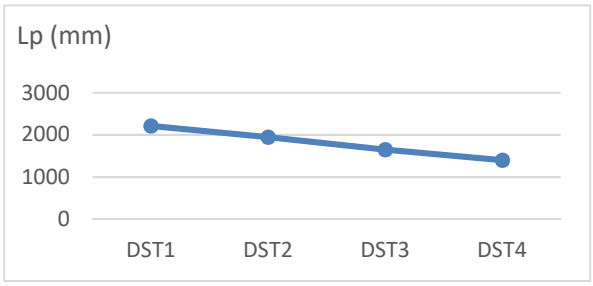


Figure 4-5 - Lateral beam bracing chart

.

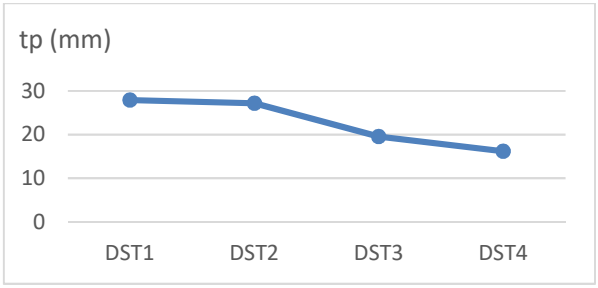


Figure 4-6 - the column flange thickness for flexural yielding chart

4. CONCLUSIONS

Four Double Tee moment connections with different beam profiles were investigated under distributed load. Beam size effect on design steps were visualized by graphics. Following conclusions can be made.

Stiffness of connection is seriously affected by beam size. Stiffness variation was determined between IPE750 and IPE300 around 27% as shown in figure 4-1. Larger beam size reduces lateral displacement of moment frame. Force of beam flange is also seriously affected by beam size. Flange force decreased between IPE750 and IPE300 around 69% as shown in figure 4-2. Due to decreased tension force at beam flange, required number of bolt or required bolt diameter decreases for shear and tension bolts. When the diameter of shear bolt decreases, plastic hinge location of beam gets closer to column face. Closer hinge location to column face causes decrease of shear force and moment affecting to column panel zone. Smaller beam sections remove the need of continuity plate and doubler plate which results serious labour work and cost. T-stub stem thickness decreased between IPE750 and IPE300 around 63% as shown in figure 4-3. With beam size there are also other parameters which were affected in different proportions such as flange width of T-stub, lateral beam bracing and the column flange thickness for flexural yielding: 31%, 37%, and 40%, respectively. Proper selection of beam size has important role on structural design. Unnecessary usage of large beam size causes increases of total weight and cost of construction.

References

1. FEMA. (2000). “Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings”. *Report No. FEMA-350*, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
2. AISC 358 (American Institute of Steel Construction). (2016). “Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel moment Frames for Seismic Applications.” *ANSI/AISC 358-16*, Chicago, IL.

3. Ricardo A. Herrera, Miguel Bravo, Gustavo Gomez, Gonzalo Aedo (2012). Performance of built-up T-stubs for Double Tee moment connections.
4. Miguel A. Bravo, Ricardo A. Herrera (2014). Performance under cyclic load of built-up T-stubs for Double T moment connections.
5. Ricardo Herrera, Constanza Salas, Juan Felipe Beltran, Eduardo Nunez (2017). Experimental performance of double built-up T moment connections under cyclic loading.
6. Zhengyi Kong, Seung-Eock Kim (2017). Numerical estimation for initial stiffness and ultimate moment of T-stub connections.
7. Jizhuo Huang, Jialin Wang, Wei Chen, Zhibin Wang (2017). Cyclic performance of double tee connections with short slotted holes.
8. American Institute of Steel Construction, INC. (2000) Steel Design Guide Series 13.

Do not Hesitate Be Brave Against Nonlinear Structural Behavior PARTI : Fundamental Concepts and Definitions

Tugrul TALASLIOĞLU[1], Nuri BINGOL[2], S. Arda DAL[3]

[1,2,3] Department of Civil Engineering, Osmaniye Korkut Ata Unv., Turkey
Emails: ttalaslioglu@osmaniye.edu.tr, sinaardadal1@gmail.com, nuribingol80@ gmail.com

Abstract

The first part of this study proposes to emphasize the fundamentals of nonlinearity-based structural behavior. In this regard, the basic concepts and definitions that are utilized to model a nonlinear structural analysis are highlighted in a way of increasing the examining complexity from the primary level. Consequently, this study contributes a fast acceleration for the new users in understanding the new nonlinear structural model.

Keyword(s): material nonlinearity, geometric nonlinearity

1. Introduction

This study only purpose to introduce the basic concepts and definitions in the nonlinearity context, thereby omitting the investigation of available nonlinearity-related studies in the literature.

Mechanic is a branch of science that examines the moving and stationary states of objects under the influence of forces [1-7]. The mechanic is examined under 4 fundamental headings: theoric, applied, computational and experimental. Theoretical mechanic solves the problem by using the basic rules of science. Applied mechanics applies theoretical knowledge to science and engineering problems. The computational mechanic can solve the physical problem by using numerical methods and model-based simulation. In addition, the major subdivisions of computational mechanic are nano-mechanic, micro-mechanic and continuum mechanic. While nano-mechanic is related to physical phenomena at the molecular and atomic level, micro-mechanic is related to physical phenomena of granular or crystalline structure. On the other hand, continuity mechanic simulates the physical event by using macro-level modeling by using the continuity models in the microstructure that is accepted as homogenized. Due to this attractive characteristic of continuity mechanic, it is frequently used in the solution of solid, fluid and physic problems. Experimental mechanic simulates and applies the information obtained from the experiment in order to develop or improve any model.

Depending on the static and dynamic behaviors in mechanical problems, different solution methods are used in their simulations. Static or semi-static (quasi-static) based solution methods are used to simulate the mechanical problems which are independent of the time parameter. In the simulation of mechanical problems, which show dynamic behavior, inertial force solution methods are involved into their models.

Discretization method is the most important stage in the model based-analogy of mechanical problems. In discretization methods, finite element method is mostly utilized. In addition, finite difference, boundary element, finite volume are included in the discretization methods. Boundary element method is defined as the combination of boundary integral methods and finite element concepts. Particularly, the finite element method is more attractive one due to its ability of separating a complex problem into sub-problems which are easier to comprehend and solve the main problem by solving and combining the sub problems. Finite element method was first used in the aircraft and aerospace industry for the purpose of stress analysis. As a result of the studies on the principles of the method, the field of application has expanded. Thus, it becomes to be widely used in different fields from biomechanics to nuclear technology with advancing computer technology. Nowadays, finite element method is preferred mostly for the studies conducted for structural analysis. Finite element method utilizes either a physical model or a physical model along with a mathematical model. Therefore, in the physical model, the discretization-based approach utilizes the physical system parameters in a way of using either directly or indirectly in a way of involving a mathematical model. What is important is the overlap of the results of the physical system and the discrete solution.

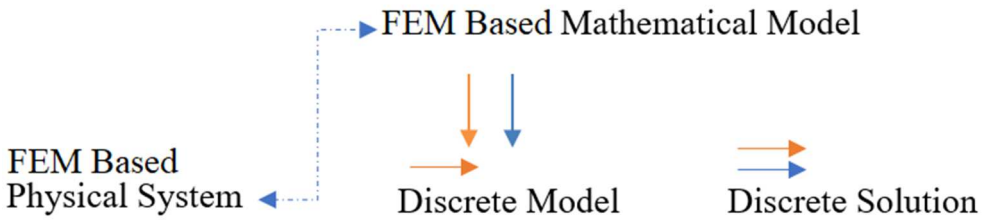


Figure 1 Finite element model

The engineering problem is a typical physical problem. In the modeling of the physical problem, the discretization process can be done directly or indirectly in a way of involving a mathematical model. Therefore, the discrete model can be derived directly from the physical model and indirectly in a way of involving the mathematical model. If the physical problem is done by mathematical or direct discretization, the use of finite element is quite common. Furthermore, in both of the disparities, if there is a mathematical model, it is also said that there exists the continuity mechanic approach for the solution of physical problem. For example, only direct discretization model is used in aircraft modeling. I tis possible that an airplane is designed by modeling many different discrete systems. For this purpose, a direct type discrete modeling based finite elements can be utilized without needing any mathematical model. In Figure 1, we use dashed lines when switching from a mathematical model to a discrete model, which is why we need a mathematical model when modeling a plane. For example, if the manufactured aircraft will be used for agricultural purposes, it is not necessary to use a mathematical based discretization model. Thus, it is possible that the production of our aircraft is to be done in our city. However, if it is required any approval permission which is only obtained by passing some tests before going to international air traffic, then it is compulsory to use a mathematical based

model. In this context, if the mathematical model is not used in the discretization model of the physical problem, the parameters of the physical problem are not needed in the mathematical model containing a differential equation that manages the physical problem. It can be sufficient to use a simple equation that can link the experiments and results with each other. For example, if the manufactured aircraft is to be used for agricultural purposes, a differential equation that manages a relation based on a ground-saturation can be sufficient as a discretization model. However, if we are doing a mathematical model-based discretization, it is very important to use parameters that govern the physical event in its mathematical model. The parameters must be associated with each other. Because, if the manufactured aircraft will be introduced to international air traffic, a differential equation that manages its use in the discretization model should consist of parameters that govern the physical event.

In fact, these two discretization models are complementary to each other. In physical model and mathematical model, the discrete model is generally obtained by using finite element method. For example, if the manufactured aircraft is to be transported to international air traffic, the margin of error (such as comfort) is taken into account. If the mathematical model is used in decoupling, the concept of comfort can be used as an important parameter in the production of aircraft.

2. Nonlinearity Types in The Structural Behaviors

The nonlinear behavior is briefly referred to as "nonlinearity". There are 3 types of nonlinearity source in structural mechanics: material nonlinearity, boundary conditions-related nonlinearity and geometric nonlinearity. Material linearity refers to the nonlinearity of the relationship between force and displacement. The behavior of such systems is not directly expressed by a linear equation. Many metals have a linear elastic character at low strain values, thereby keeping their modulus of elasticity of the material at a constant value. However, at high stress values, metals begin to show a nonlinear tendency and have an inelastic behavior called plasticity. The boundary conditions-related nonlinearity occur when the boundary conditions change throughout the analysis. Geometric nonlinearity is related to deformations that occur in the geometry of the model during analysis. It occurs when displacements affect the response of the structure. This may be caused by conditions such as major deformations (including rotations), initial stresses etc. In this context, the definition of nonlinearity types as dependent on the basic parameters (stress, strain etc.) will be left to the next section.

3. Nonlinearity Concepts and Definitions in The Structural Behaviors

An equilibrium path plays an important role in explaining the nonlinear structural analysis. This concept contributes to the graphical representation in the form of response diagrams. The most commonly used figure with this representation is the load deflection-response diagram. Many basic concepts can be shown and interpreted in terms of physical, mathematical or computational terms.

Every point in the equilibrium path is called equilibrium point. An equilibrium point is a graphical representation of equilibrium condition (see Figure 2). The origin of the response diagram (zero load, zero deviation) is called reference state because it is a position where the loads and deviations are to be measured. Certain points of the equilibrium path have a special importance in applications, and these points are referred to by specific names, such as critical, bifurcation, turning and limit points. The Critical point occurs when either an equilibrium point is located on the equilibrium path where the tangent is horizontal, parallel to the axis of deviation, or two or more points of equilibrium pass through. The bifurcation point occurs when it is located on the equilibrium path where the tangent is vertical, parallel to the load axis. The limit point is a critical point that causes to stop any further progression on the equilibrium path in, other words, the collapse of structural system.

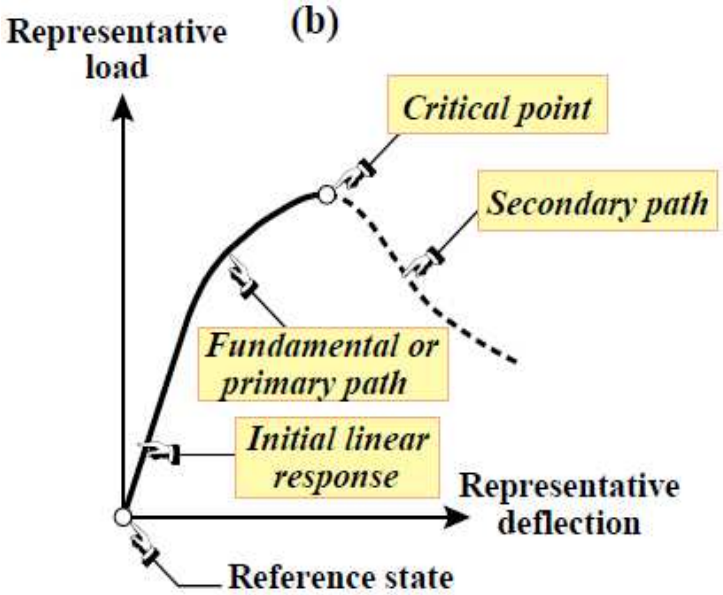


Figure 2 Diagram distinguishing fundamental from secondary equilibrium path.

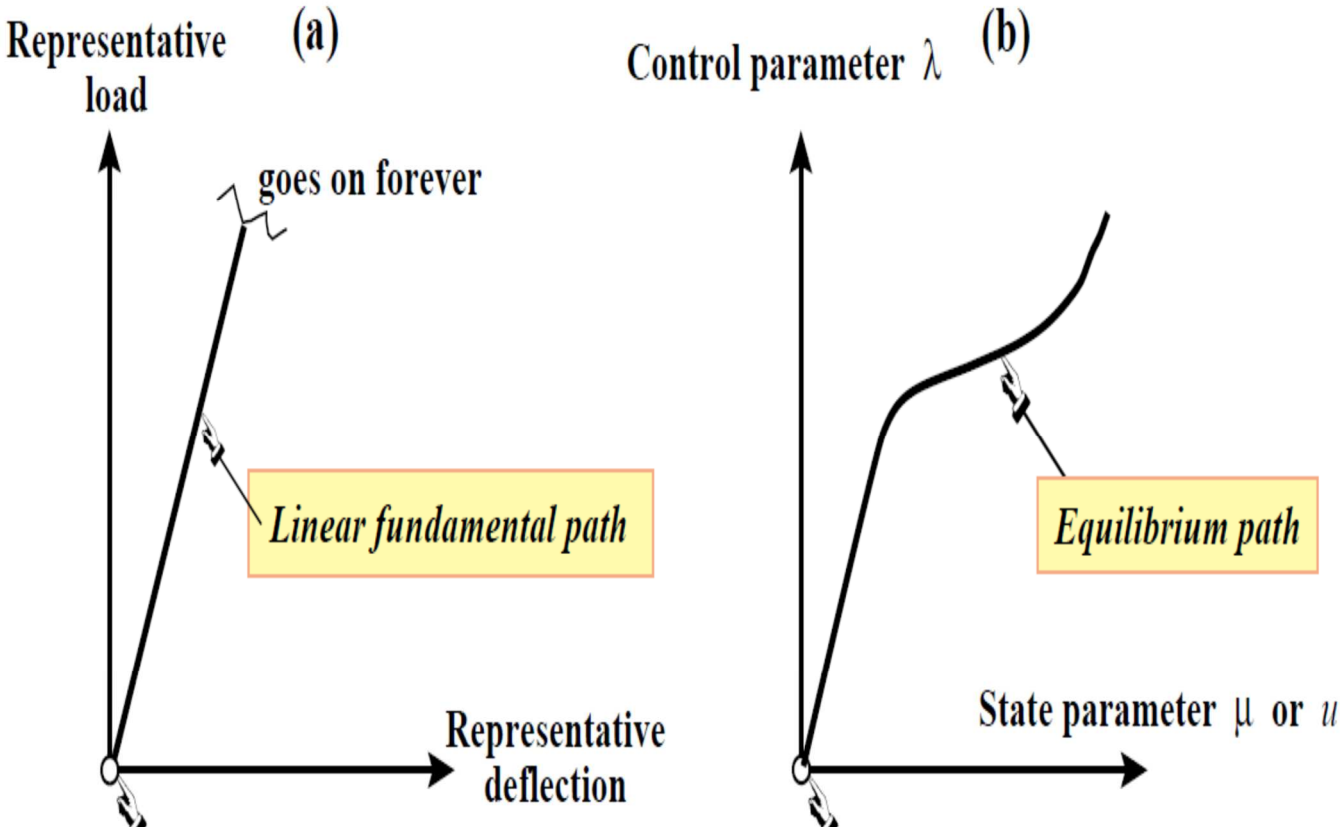


Figure 3 Two response diagram specializations: (a) linear response; (b) parametrized form.

The linear structure can be simulated by a simple mathematical model characterized by a linear basic equilibrium path for all possible loading and deflection variable options. This is schematically shown in Figure 3 (a). It is not difficult to estimate the results of such behaviors. A linear structure can be recovered to any load or displacement level. There are no critical points in the linear structure. The response to different load systems can be achieved with super position. Removal of all loads brings the structure to the reference position. The requirements for such a model to be applied are: perfect linear elasticity for any deformation, infinite small deformations. When the load-displacement curve is parameterized, the linear primary equilibrium path must now be expressed by the primary equilibrium path. Because, the primary equilibrium path may not show linear behavior. Therefore, the primary equilibrium path is expressed by the control (λ) and status parameters (u or μ) instead of the load and displacement (see Figure 3 (b)). In practice, a load factor is used as the control parameter. The status parameter is displayed by the displacement. Therefore, the load-deflection response is a form of the control-state response. The response diagrams in Figure 4 show three types of "monotonic" responses: "Linear, hardening and softening".

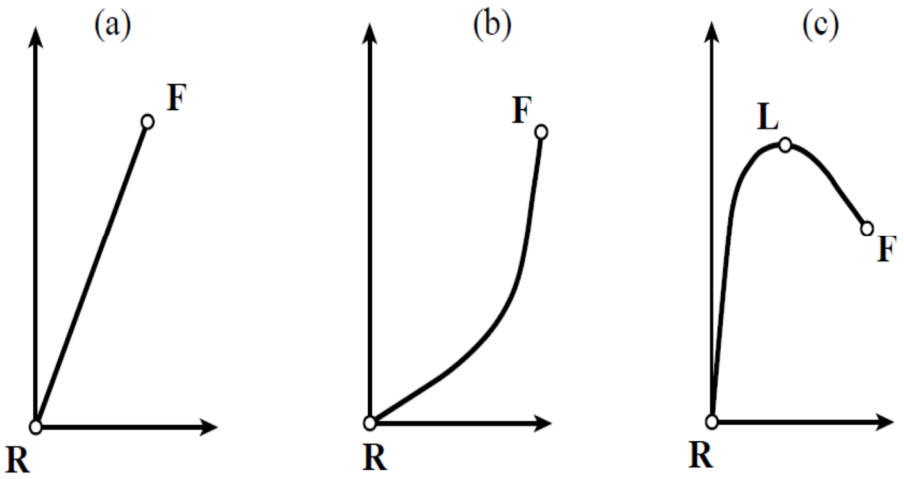


Figure 4 Basic flavors of nonlinear response: (a) Linear until brittle failure (b) Stiffening or hardening; (c) Softening.

In these diagrams, the symbols F and L, respectively, describe the failure and limit points. The response shown in (a) shows the characteristics of some high strength composite materials including linear, pure crystals, glassy, and also fiber-like materials up to fracture. The response shown in (b) is typical for cable, mesh and inflatable structures, which can be termed collectively stress structures. The stiffening effect comes from the geometry "adaptation" to the applied loads. A response as in (c) is more common than the previous two for building materials. A linear response is followed by a softening regime that may occur suddenly (yield, shift) or gradually.

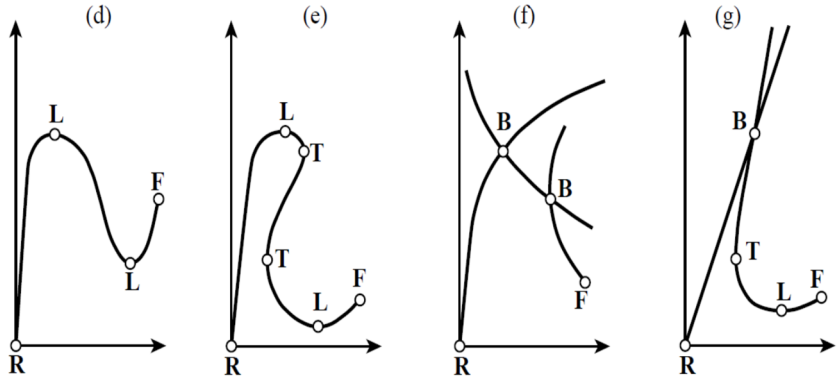


Figure 5 More complex response patterns: (d) snap-through, (e) snap-back, (f) bifurcation, (g) bifurcation combined with limit points and snap-back

The response diagrams in Figure 5 show four types of complex diagram responses. Here, B and T denote bifurcation and turning points, respectively. The response shown in (d) is called as snap-through. It combines softening and hardening after the second restriction point. The response branch between the two boundary points has a negative stiffness. Therefore, it is called unstable. If the structure is subjected to a constant load, the structure is dynamically separated

when the first boundary point is reached. Such a response is typical for such slightly curved structures, for example shallow domes. The response shown in (e) is called as snap-back. The equilibrium between the two turning points can be stable and consequently physically realizable. This response is seen by the truss-type dome, folded and thin-shell structures, where the "moving arch" effects occur following the first limit point, for example, cylindrical shells with free edges and supported by end diaphragms. The response in (f) and (g) is named buckling. More than one response path is possible at such points. The structure travels in the sense that it is dynamically preferred (in the sense of having a lower energy) over the others. The bifurcation points can be formed in a sufficiently thin structure that exhibits the compressive stresses. The bifurcation, limit and turning points can occur in many combinations as shown in (g).

In the establishment of stress-displacement and equilibrium equations, while the structure is deformed, the nonlinear structure behavior in which the changes in the cross-sectional area is considered is called geometric nonlinearity (see Figure 6). The basic examples of geometric nonlinearity are thin structures in aerospace, construction and mechanical engineering applications, tensile structures such as cables and inflatable membranes, metal and plastic forming, stability analysis of all types, etc. The material nonlinearity occurs depending on the current deformation state and the past deformation history. The basic applications based on the material nonlinearity are concerned with the nonlinear elasticity, plasticity, viscoelasticity, creep, or non-elastic velocity states of physical systems. The displacement nonlinearity is managed by the boundary conditions and deformations of structural systems. One of the application examples based on the material nonlinearly is the contact problem.

Strain is defined as ratio of displacement on the material to its length. Stress is caused by internal forces in response to any cross section of a material under the influence of external forces or moments. The relationship between stress and strain is expressed by the constitutive equations. Constitutive equations are the relationship between kinetic and kinematic variables, such as between stress and strain, used to describe the behavior of the material under the influence of force, electromagnetic field, heat, and so on. The relationship between strain and displacement is expressed by kinematic equations. The relationship between internal forces and stress is expressed by the equilibrium equations.

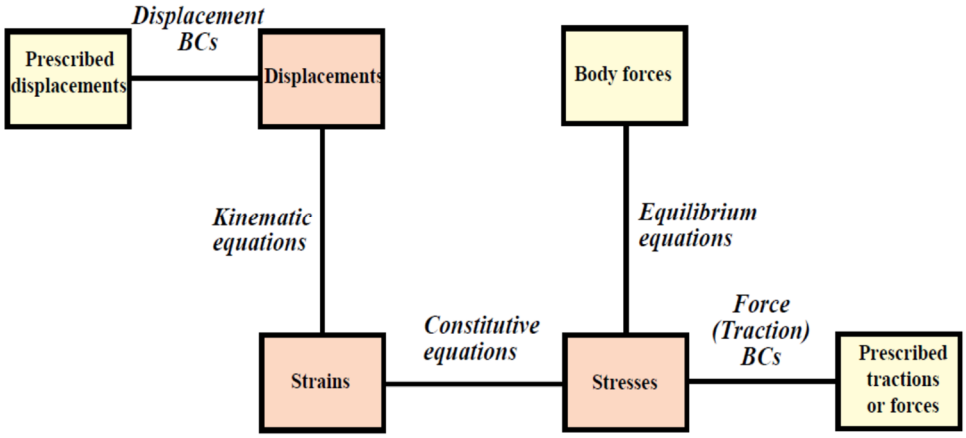


Figure 6 Fields in solid continuum mechanics and connecting relationships

4. Conclusion

This study presents the basic concepts and definitions used in nonlinear problem using a series of sketches. Thus, the following items are highlighted:

i) The nonlinearity issue is explained depending on the physical and mathematical concepts
ii) The basic nonlinear types are laid down.
iii) The fundamental definitions widely utilized in the nonlinear context are described using the several sketches.
iv) The working mechanisms of material and geometric nonlinear behaviors are also described depending on the basic mechanical relations, for example kinematic, equilibrium equations and their basic elements, for example stress, strain etc.

The second part of this study purposes to application of these nonlinearity types for a typical structural system with two bars and single spring.

Reference(s):

1. Crisfield MA, Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures: Essentials, John Wiley and Sons Inc., England, 1991.
2. Crisfield MA, Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures: Advanced Topics, John Wiley and Sons Inc., England, 1997.
3. Nayfeh AH and Pai PF, Linear and Nonlinear Structural Mechanics, John Wiley and Sons Inc., England, 2004.
4. Wriggers P, Nonlinear Finite Element Methods, Springer, 2008.
5. Ted Belytschko, Wing Kam Liu, Brian Moran, Khalil Elkhodary, Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures, Wıley, 2014.
6. Prem Kythe, Dongming Wei, An Introduction to Linear and Nonlinear Finite Element Analysis: A, Birkhäuser, 2003.
7. Adnan Ibrahimbegovic, Nonlinear Solid Mechanics: Theoretical Formulations and Finite Element, Springer, 2009.

Do not Hesitate Be Brave Against Nonlinear Structural Behavior PARTII : Applications

Tugrul TALASLIOĞLU[1], Tarik KOCER[2]

Department of Civil Engineering, Osmaniye Korkut Ata Unv., Turkey
Emails: ttalaslioglu@osmaniye.edu.tr, tarikkocer.80@ gmail.com

Abstract

The basic definitions and issues that are utilized to model the nonlinear structural analysis are covered in the first part of this study. The second part of this study is concerned with the application of two fundamental nonlinear concepts named geometric and material nonlinearities for a case example with a single degree of freedom. Particularly, it is noted that the material nonlinearity is only considered omitting its effect in the variation in the cross-sectional properties. Furthermore, a graphic-based solution approach is proposed neglecting the well-known complex solution methods. Consequently, one of the main nonlinearity concepts named *residue* is easily investigated through the illustrations depicted by the proposed graphic-based solution approach.

Keyword(s): material nonlinearity, geometric nonlinearity, residue

1. Introduction

In this study, the nonlinearity types are examined in a way of associating with the residue concept since the concept of residue is considered due to having a big importance in the constitution of rigidity matrices of structural systems. The basic definitions and assumptions relating to nonlinearity of material and geometric nonlinearity was described in the previous work. Thus, a simple structural system with a single linear spring is tackled to solve the geometric nonlinearity and material nonlinearity problems in this study. Linear and geometric nonlinearity effects are analyzed with a graphical-based solution approach [1-9]. In all of these examples, the strain was considered as axial engineering strain. If we write the term residual in terms of force, it is taken into consideration as the difference between the internal force and the external force. All of these samples are obtained by graphical-based analysis and sketched for their residual graphics. Depending on the residue, the total force residual form is in the static equilibrium as:

$$r(u, \Lambda) = 0 \qquad \text{(Eq.1)}$$

In Eq. (1), *u* is defined as “state variable” and used to indicate the degree of freedom of the structural system. *Λ* is defined as “control parameter” and used to show “load transfer coefficient” in the structural behavior. In general, all states except for static equilibrium are managed by the balanced force residual form as:

$$r(u, \Lambda) = p(u) - f(u, \Lambda) \qquad \text{(Eq.2)}$$

In Eq. (2), p (u) f (u, Λ) are defined as “internal force”, “external force”. If the structural system is conservative, in other words, there is no energy loss in the system, then the residual form is considered a partial derivation of the potential energy according to the state vector. In the study, the fundamentals of nonlinear structure behavior are explained using “residual form” and “Potential energy” principles. In particular, the nonlinear structure behavior problems are generally solved using quasi-static based solution techniques. However, in order to examine the residual form concept, it is preferred to use a graphical-based solution approach instead of quasi-static based solution techniques. In the light of this topic, the following application example includes solutions including ‘linear’, “geometric” and “geometric and material nonlinearity”. On the basis of the application, the term Λ in f (u, Λ) will be defined using the control parameter called “load parameter” λ.

2. Application Example

In this section, a typical structural system with two bars and single linear spring is considered for three cases based on the linear, geometric and material nonlinearity (see Figure 1 and 2). The abbreviations utilized in this example are given in Table 1.

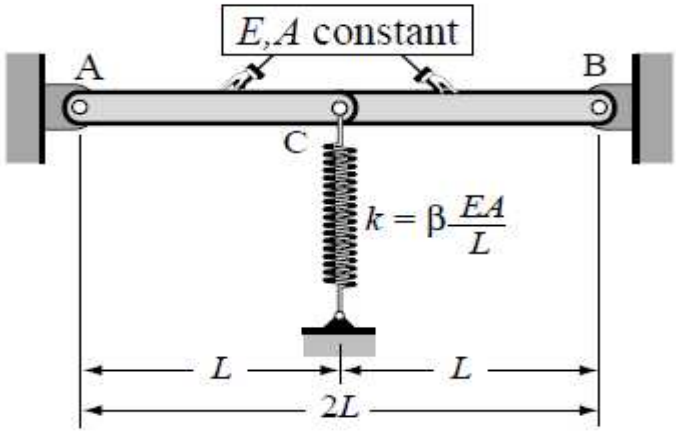


Figure 1 A Sketch for Application Example

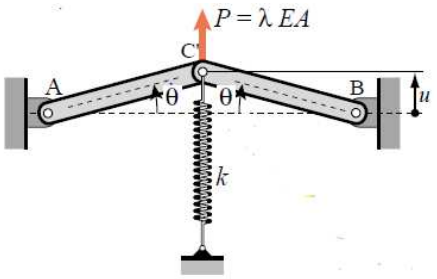


Figure 2 The Deformed State of Application Example

Table 1 The Abbreviations and Values of Variables used in Application Example

u	Deflection	-
P	External force	λ*E*A
θ	Deflection angle	-
μ	Dimensionless state variable	u/L
L_d	Deflected bar length	$L\sqrt{1+\mu*\mu}$
δ	Bar elongation	$L\sqrt{1+\mu*\mu}$ -1
k	Spring constant	β (EA/L)
$\mathcal{E}$	Axial engineering strain	$\sqrt{1+\mu*\mu}$ -1
σ	Axial stress	E* $\mathcal{E}$
$F_{AB}=F_{BC}$	Bar force	A* E* $\mathcal{E}$
F_s	Spring force	β*E*A* μ
β	Dimensionless Rigidity Constant	0.1,0.2,…,1.0
λ	Parameter of load	0,1-5,0

2.1 Case 1: Linear Behavior

The structural analysis of application example is examined under the linear behavior. Considering Eq. 1 and assuming sin (θ) = θ and cos (θ) = 1, the residual form is constituted as:

$$\tan(\theta) = \frac{u}{L} = \frac{\theta}{1} = \mu \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$2Fb^* \sin(\theta) + F_s = P \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$r = 2EA^*\left[\frac{\sqrt{L^2-u^2}}{L} - 1\right]^* \mu + \beta^* E^* A^* \mu - \lambda^* E^* A = 0 \quad \text{(Eq. 5)}$$

$$2\left(\sqrt{1+\mu*\mu} - 1\right)^* \mu + \beta^* \mu - \lambda = 0 \quad \text{(Eq. 6)}$$

While the residual form obtained from nonlinear case is shown in Figure3, the variation between the dimensionless state variable μ and control parameter λ is displayed for geometric nonlinearity case in Figure 4.

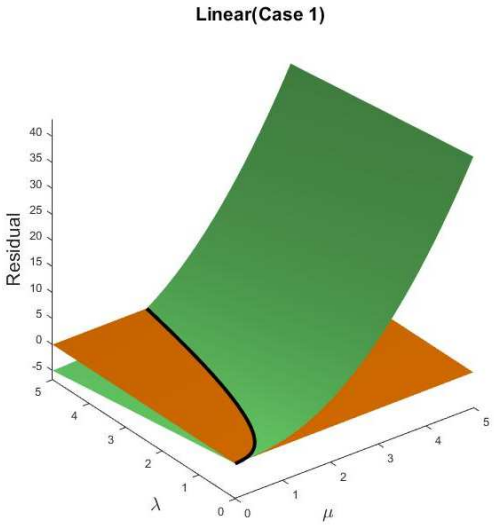


Figure 3 The Residual Form Obtained from Linear Case

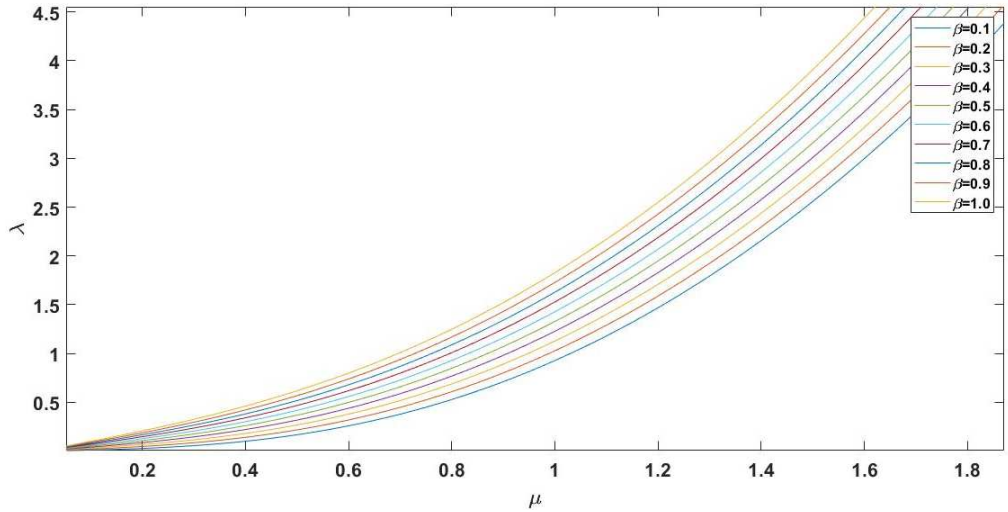


Figure 4 The Variation between the dimensionless state variable μ and control parameter λ for Linear Case

2.2 Case 2: Nonlinear Behavior, Geometric Nonlinearity

The structural analysis of application example is examined for geometric nonlinear behavior. Considering Eq. 1, the residual form is constituted as:

$$\sin(\theta) = \frac{u}{Ld} = \frac{\mu}{\sqrt{1+\mu*\mu}} \quad \text{(Eq. 7)}$$

$$2Fb*\sin(\theta) + F_s = P \quad \text{(Eq. 8)}$$

$$2EA*\left[\frac{\sqrt{L^2-u^2}}{L} - 1\right]* \frac{\mu}{\sqrt{1+\mu*\mu}} + \beta *E*A* \mu - \lambda*E*A = 0 \quad \text{(Eq. 9)}$$

$$r=2(\sqrt{1+\mu*\mu}-1)*\frac{\mu}{\sqrt{1+\mu*\mu}}+\beta*\mu-\lambda=0 \quad \text{(Eq. 10)}$$

While the residual form obtained from nonlinear case is shown in Figure5, the variation between the dimensionless state variable μ and control parameter λ is displayed for geometric nonlinearity case in Figure 6.

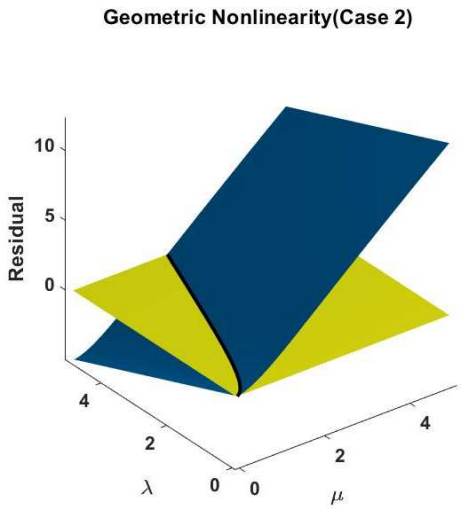


Figure 5 The Residual Form Obtained from Nonlinear Case 2

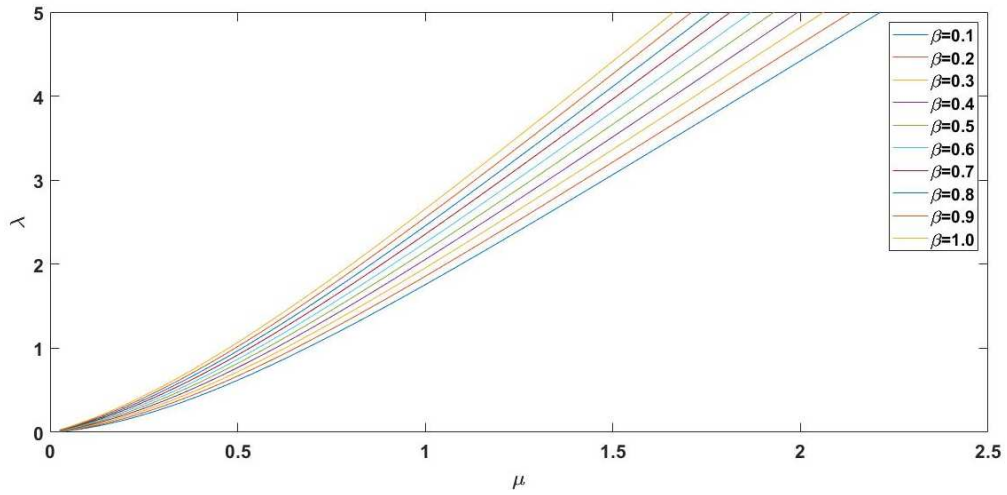


Figure 6 The Variation between the dimensionless state variable μ and control parameter λ for Nonlinear Case 2

The structural analysis of application example is examined for geometric and material nonlinear behavior. The material nonlinearity is tackled considering a bilinear stress-strain relation (see Figure 7). Considering Eq.1 the residual form is constituted as:

$$r=2(\sqrt{1+\mu*\mu}-1)*\frac{\mu}{\sqrt{1+\mu*\mu}}+\beta*\mu-\lambda=0 \quad \text{(Eq. 11)}$$

The stress-strain relation for bilinear behavior of material is utilized for the depiction of material nonlinearity (see Figure 7). While the residual form obtained from nonlinear case is shown in Figure 8, the variation between the dimensionless state variable μ and control parameter λ is displayed for geometric nonlinearity case in Figure 9.

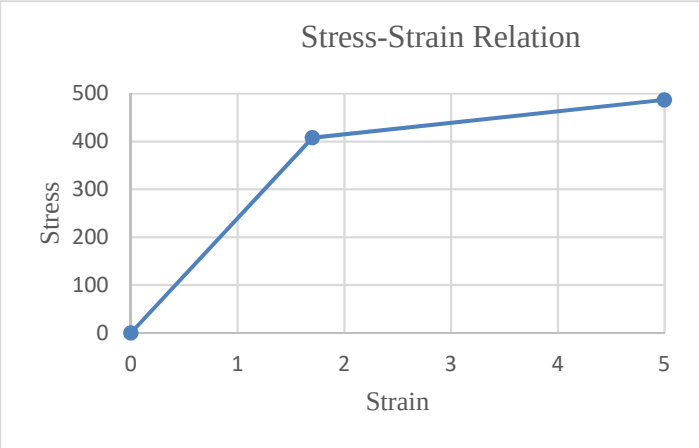


Figure 7 The Stress-Strain Relation for Material Nonlinearity (Case 3)

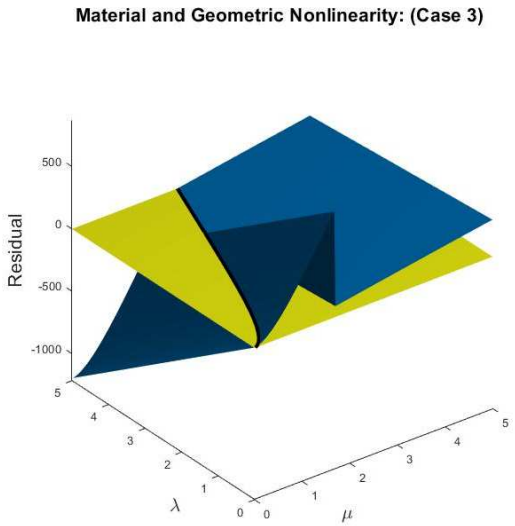


Figure 8 The Residual Form Obtained from Case 3, Geometric and Material Nonlinearity (Bilinear Relation)

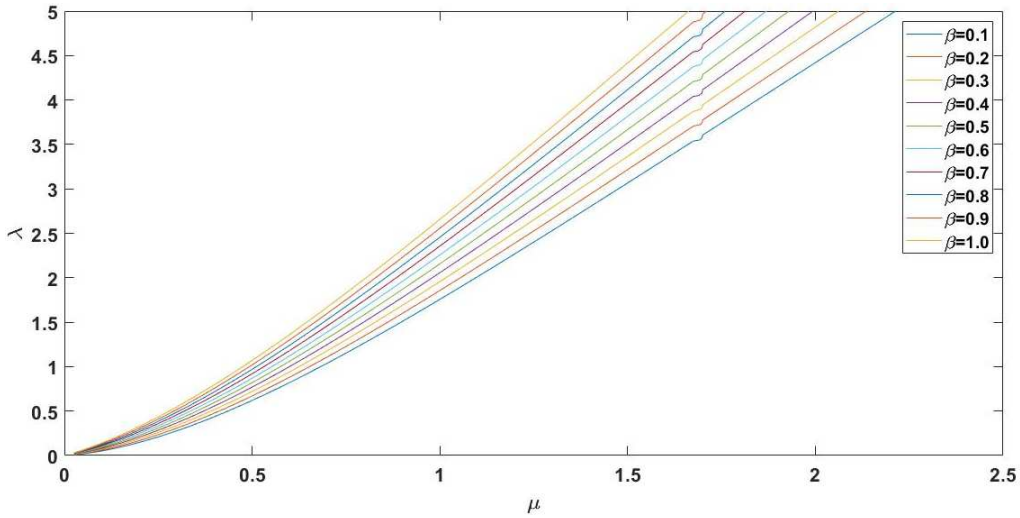


Figure 9 The Variation between the dimensionless state variable μ and control parameter λ for Nonlinear Case 3

2.4 Case 4: Nonlinear Behavior, Geometric and Material Nonlinearity (Trilinear Relation)

The structural analysis of application example is examined for geometric and material nonlinear behavior. The material nonlinearity is tackled considering a trilinear stress-strain relation (see Figure 10). While the residual form obtained from nonlinear case is shown in Figure11, the variation between the dimensionless state variable μ and control parameter λ is displayed for geometric nonlinearity case in Figure 12.

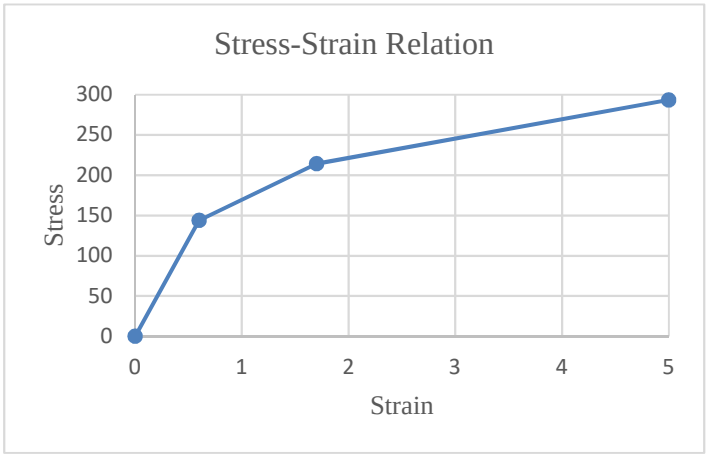


Figure 10 The Stress-Strain Relation for Material Nonlinearity (Case 4)

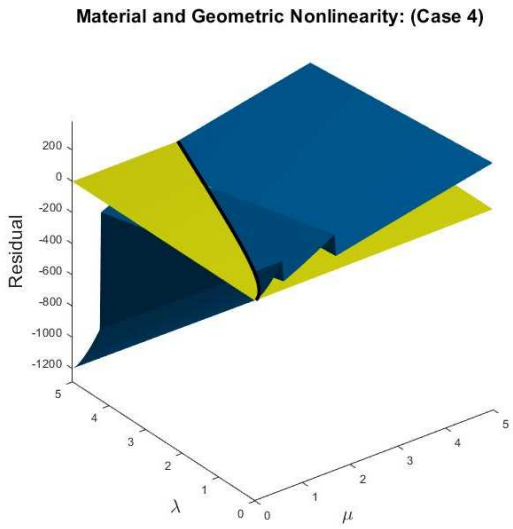


Figure 11 The Residual Form Obtained from Case 4, Geometric and Material Nonlinearity (Trilinear Relation)

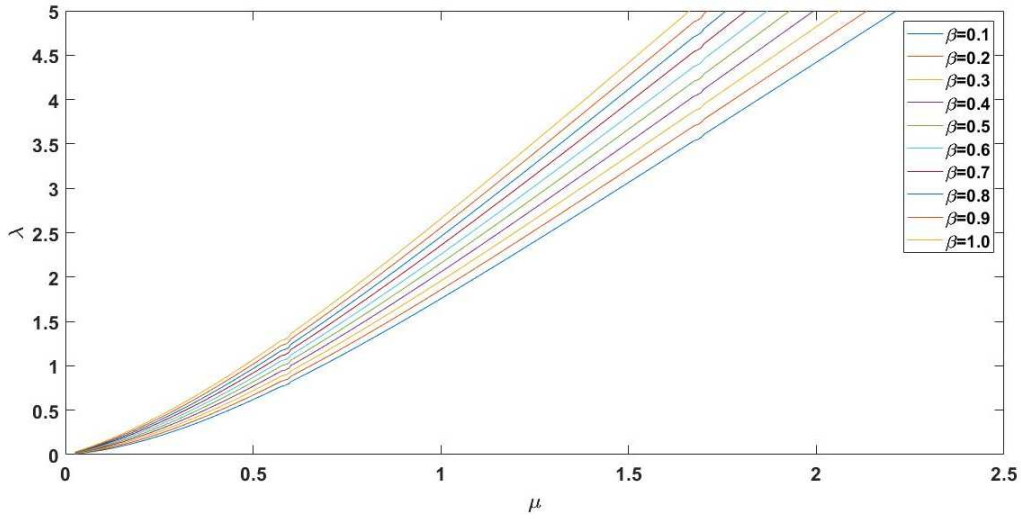


Figure 12 The Variation between the dimensionless state variable μ and control parameter λ for Nonlinear Case 4

3. Discussion of Results and Conclusion

This study is concerned with the examination of residual form considering linear, geometric and material nonlinearity. For this purpose, a typical application example is tackled and solved for the investigation of residual form. Thus, some results are drawn as:

1) The residual form varies depending on the consideration of nonlinearity types. Particularly, the variation in the value of Elastic Module cause to a serious variation in the residual form.

2) An increase in the dimensionless rigidity constant β leads to a decrease in the dimensionless deflection μ.

3) An increase in the Parameter of load λ leads to an increase in the dimensionless deflection μ.

4) A sudden variation in the value of Elastic Module cause to a sudden change in the relation between the parameters, μ and λ

5) The nonlinear behavior causes to an increase in the deflection of structural system.

As a conclusion, this study is devoted to examine the residual form for the different nonlinear behavior types considering the graphical-based solution approach. As a next study, the well-known solution techniques are utilized to solve this typical application example including the similar benchmark structural analysis application examples.

Reference(s):

1. Crisfield MA, Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures: Essentials, John Wiley and Sons Inc., England, 1991.
2. Crisfield MA, Non-Linear Finite Element Analysis of Solids and Structures: Advanced Topics, John Wiley and Sons Inc., England, 1997.
3. Nayfeh AH and Pai PF, Linear and Nonlinear Structural Mechanics, John Wiley and Sons Inc., England, 2004
4. Wriggers P, Nonlinear Finite Element Methods, Springer, 2008
5. J. N. Reddy, An Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis, Cambridge University Press,1997
6. Javier Bonet, Richard D. Wood, Nonlinear continuum mechanics for finite element analysis, Cambridge University Press, 1997
7. Y. M. Desai, T. I. Eldho, Finite Element Method with Applications in Engineering, Pearson, 2011
8. Thomas Apel, Olaf Steinbach, Advanced Finite Element Methods and Applications,Springer,2010
9. Nam-Ho Kim, Introduction to Nonlinear Finite Element Analysis,Springer,2014

Az Katlı Düzenli Çerçeveli Yapıların Periyot Hesabı İçin Bir Yaklaşım Önerisi (Oral/~~Poster~~)

Hacer Çolak[1], Hakan T. Türker[2], Hilmi Coşkun[3]

[1] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Türkiye
[2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye
[3] İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
Emails: hacercolak@kilis.edu.tr, hakantturker@uludag.edu.tr, hilmicoskun@iste.edu.tr

Özet

Periyot ifadesi yapıların en önemli dinamik karakteristiklerinden biridir ve literatürde periyot hesaplamasıyla ilgili çalışmalar önemli yer tutmaktadır. Bu çalışmada, çok katlı yapıların periyodunu hesaplayan periyot denklemleri elde edilmiştir. Önerilen formüller kat sayısına, kat yüksekliğine, kütlesine ve rijitliğe bağlı olarak binanın hakim periyodunu hesaplamaktadır. Önerilen denklemin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla iki ve üç katlı yapı modelleri oluşturulmuştur. Kesme tipi çerçeve modelleri için Özdeğer analizi ile, elastik kirişli çerçeve modelleri için Rayleigh yöntemi ile elde edilen hakim periyot değerleri teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımın gerçekçi yapı modellerinde de geçerliliğini test etmek için üç, beş ve yedi katlı yapı modelleri ele alınmıştır. Bu modellerin SAP2000 programı yardımıyla nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hakim periyotların teorik ve nümerik sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan yapı modelleri için sonuçların iyi uyum gösterdiği bu yaklaşımın gerçek yapı modelleri için de kabul edilebilir yakınsaklıkta sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelime(ler): Hakim periyot, Düzenli çerçeveli yapı, Yanal kat rijitliği

1. Giriş

Dinamik yükler etkisi altındaki yapı davranışı yapının dinamik karakteristik özelliklerine bağlıdır. Periyot yapıların önemli dinamik karakteristiklerindendir. Yapıların serbestlik derecelerine bağlı olarak birçok periyot ve bunlara karşı gelen mod şekilleri vardır. Yapının dinamik etkilerini hesaplamada birinci hakim periyot en baskın ve önemli olandır (Chopra, 2012). Bu sebeple, yapıların dinamik analizi için özellikle hakim periyotların kabul edilebilir yaklaşılıkla hesap edilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Goel ve Chopra (1997), Salama (2014) ve Sangamnerkar ve Dubey (2017) bina yönetmeliklerinde moment aktaran çerçeveli binalar için deprem kayıtlarıyla ölçülmüş verilerle elde edilen ampirik periyot denklemlerini regresyon analizleriyle geliştirerek periyot ifadeleri önermişlerdir. İncetaş ve Tanrıkulu (2001), binaların hakim periyodunun yaklaşık hesabı için çeşitli deprem yönetmeliklerinde verilen yaklaşık formülleri farklı taşıyıcı sistemlerle irdelemişlerdir. Dirioğlu (2005), çok katlı kesme tipi yapıların periyot hesabı için dalga hızını dikkate alarak bir yaklaşım önermiştir. Hsiao (2009), az katlı moment aktaran çerçeveli sistemlerin hakim periyot hesabı için indirgenmiş rijitlik matrisi tanımlayarak yaklaşık bir el hesabı

geliştirmiştir. Şahin (2013) çalışmasında periyodik kesme çerçeveli yapıların dinamik analizinde z-transform yöntemini uygulamıştır. Aninthaneni ve Dhakal (2016), düzenli çerçeveli binaların hakim periyodunu tahmin etmek için Macleod modelini düzenleyerek bir periyot tahmin denklemi önermiştir.

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan binaların hakim doğal titreşim periyodunu kat sayısına, kat yüksekliğine, kat kütlesine ve kat rijitliklerine bağlı olarak hesaplayan denklemler çıkartılmıştır. Önerilen periyot denkleminin geçerliliğini test etmek amacıyla 2, 3, 5 ve 7 katlı düzenli çerçeve modelleri oluşturulmuştur. Özdeğer analizi (problemi) ve Rayleigh yöntemi ile analitik olarak çözümleme yapılarak önerilen yöntem değerlendirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı çözüm yapan SAP2000 paket programı aracılığıyla gerçek yapı modelleri için nümerik analizler gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki bazı yanal rijitlik hesaplamaları önerilen periyot denklemlerinde kullanılarak SAP2000 sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Teorik ve nümerik olarak elde edilen hakim periyot sonuçları karşılaştırmalı bir biçimde irdelenmiştir.

2. Çerçeveli Sistemlerin Periyot Hesabına İlişkin Önerilen Yöntem

Tek katlı bir çerçevenin sönümsüz serbest titreşim durumunda sistemin doğal titreşim periyodu (T) kat kütlesi (m) ve rijitliğine (k) bağlı olarak Denklem (1) ile kolayca hesaplanabilir.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \qquad \text{(Denk. 1)}$$

Çok serbestlik dereceli sistemlerde ise kütle ve rijitlikler matrislerle ifade edildiğinden işlem yükü artar. Kat sayısı arttıkça çözüm daha zor ve karmaşık hale gelmektedir. Sistemin zemine mesnetlenme durumuna göre birinci katın rijitliği normal katlara göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada, çok katlı binaların hakim doğal titreşim periyot hesabına ilişkin önerilen periyot denklemleri kat sayısına, kat yüksekliğine, kütlesine ve rijitliğine bağlı olarak tanımlanmıştır. Kat yükseklikleri ile kat rijitliklerinin birinci kat ve diğer (normal) katlar için farklı, kat kütlelerinin tüm katlar için eşit olduğu kabulü ile elde edilen hakim doğal titreşim periyot ifadeleri Denklem (2) – (5) ile verilmiştir.

$$T_{1\_2katlı} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\sqrt{\frac{3-\mathrm{Cos}[\frac{\pi\beta}{1+\beta}]}{2\left(3+\psi-(1+\psi)\mathrm{Cos}[\frac{\pi\beta}{1+\beta}]-4\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{2+2\beta}]\right)}} \qquad \text{(Denk. 2)}$$

$$T_{1\_3katlı} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\sqrt{\frac{4+\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{2+\beta}]-\mathrm{Cos}[\frac{\pi\beta}{2+\beta}]}{5+\psi+2\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{2+\beta}]-(1+\psi)\mathrm{Cos}[\frac{\pi\beta}{2+\beta}]-8\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{4+2\beta}]^3}} \qquad \text{(Denk. 3)}$$

$$T_{1\_5katlı} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\sqrt{\frac{6+\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{4+\beta}]+\mathrm{Cos}[\frac{2\pi}{4+\beta}]-\mathrm{Cos}[\frac{\pi\beta}{4+\beta}]-\mathrm{Cos}[\frac{\pi(1+\beta)}{4+\beta}]}{(9+\psi+2\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{4+\beta}]+2\mathrm{Cos}[\frac{2\pi}{4+\beta}]-2\mathrm{Cos}[\frac{7\pi}{2(4+\beta)}]-(1+\psi)\mathrm{Cos}[\frac{\pi\beta}{4+\beta}]-2\mathrm{Cos}[\frac{\pi(1+\beta)}{4+\beta}]-10\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{2(4+\beta)}]-2\mathrm{Cos}[\frac{3\pi}{2(4+\beta)}]-2\mathrm{Cos}[\frac{5\pi}{2(4+\beta)}])}}$$

(Denk. 4)

$$T_{1\_7katlı} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\sqrt{\frac{8+\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{6+\beta}]+\mathrm{Cos}[\frac{2\pi}{6+\beta}]+\mathrm{Cos}[\frac{3\pi}{6+\beta}]+\mathrm{Cos}[\frac{\pi\beta}{6+\beta}]-\mathrm{Cos}[\frac{\pi(1+\beta)}{6+\beta}]-\mathrm{Cos}[\frac{\pi(2+\beta)}{6+\beta}]}{(13+\psi-14\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{2(6+\beta)}]+2\mathrm{Cos}[\frac{\pi}{6+\beta}]-2\mathrm{Cos}[\frac{3\pi}{2(6+\beta)}]+2\mathrm{Cos}[\frac{2\pi}{6+\beta}]-2\mathrm{Cos}[\frac{5\pi}{2(6+\beta)}]+2\mathrm{Cos}[\frac{3\pi}{6+\beta}]-2\mathrm{Cos}[\frac{7\pi}{2(6+\beta)}]-2\mathrm{Cos}[\frac{9\pi}{2(6+\beta)}]-2\mathrm{Cos}[\frac{11\pi}{2(6+\beta)}]-(1+\psi)\mathrm{Cos}[\frac{\pi\beta}{6+\beta}]-2\mathrm{Cos}[\frac{\pi(1+\beta)}{6+\beta}]-2\mathrm{Cos}[\frac{\pi(2+\beta)}{6+\beta}])}}$$

(Denk. 5)

Burada; $\beta=h_1/h$ ve $\psi=k_1/k$ olmak üzere h binanın normal kat yüksekliğini, h_1 birinci kat yüksekliğini, k normal kat yanal rijitliğini, k_1 birinci kat rijitliğini, m ise kat kütlesini simgelemektedir. Çıkartılan hakim doğal titreşim periyot denklemleri binanın kat kütlelerine ve rijitliklerine bağlı olduğundan, kütle ve rijitliklerin el hesaplamasına uygun olarak pratik ve doğru hesaplanması önemlidir. Yanal kat rijitlikleri, taşıyıcı sistemin yanal ötelenmeye karşı gösterdiği dirence bağlı olarak hesaplanmaktadır. Önerilen yöntemin değerlendirmesinde çerçeve sistemlerin yanal kat rijitliği hesabı için literatürde kabul görmüş bazı yaklaşımlar bu çalışmada ele alınmıştır.

3. Önerilen Periyot Denklemlerinin Doğrulanması

Önerilen periyot denklemleri binanın kat rijitliklerine ve kütlelerine bağlıdır. Binanın hakim doğal titreşim periyodunu doğru bulabilmek için rijitlik hesaplarını doğru hesaplamak gerekir. İlk olarak kesme tipi yapı modelli durumu dikkate alınarak özdeğer problemi olarak periyot hesaplaması ile elde edilen periyot değerleri önerilen denklem sonuçları karşılaştırılmıştır. Diğer örneklerde Rayleigh yöntemi ile elde edilen periyot değerleri önerilen periyot formülleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci doğrulama örneğinde yapının yanal rijitliğinin Muto yöntemi ile, periyodunun Rayleigh yöntemi ile bulunma durumu dikkate alınmıştır. Üçüncü doğrulama örneklerinde, SAP2000 programı ile periyotlar hesaplanmış ve önerilen periyot formülü ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Önerilen denklemlerdeki rijitlik hesapları, farklı rijitlik yaklaşımları ile bulunmuş ve sonuçlar SAP2000 sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

3.1. Kesme Tipi Yapı Modeli

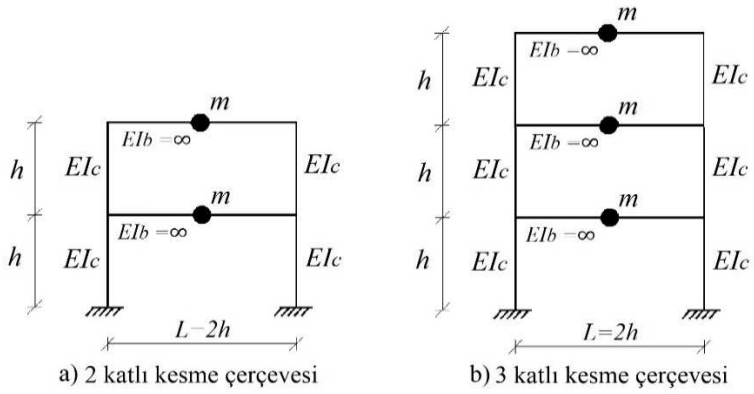
Kat kütlerinin kat seviyelerinde toplu olduğu, döşemenin düzlemi içerisinde rijit olduğu, kiriş ve kolon eksenel deformasyonları ile eksenel kuvvetin kolon rijitliğine etkisinin ihmali

kabulleri altındaki çerçeve sistemler kesme çerçevesi olarak modellenebilirler. Böyle sistemlerde kolonun yanal (ötelenme) rijitliği, iki ucu dönmeye karşı tutulmuş kolonun iki uç düğüm noktasının birbirine göre olan yatay yer değiştirmesine karşı gelen rijitlik olarak tanımlanır ve yanal kat rijitliği hesabında herhangi bir j'inci katta bulunan n adet kolona ait toplam rijitlik;

$$k_j = \sum_{i=1}^{n} \frac{12E\left(I_c\right)_i}{h_c^3} \qquad \text{(Denk. 6)}$$

ile hesaplanır. Burada E malzemenin elastisite modülü, I_c kolonun atalet momenti, h_c ise kat yüksekliğidir.

Önerilen periyot denklemlerinin kesme tipi yapı modelli durum doğrulaması için Şekil 1 ile gösterilen aynı kat kütlesine ve rijitliklerine sahip iki ve üç katlı çerçeve modelleri ele alınmıştır. Sonsuz eğilme rijitlikli kirişlerin 0,30x0,60 m kesitinde kolonlara bağlandığı modellerde kat yüksekliği 3 m ve açıklık 6 m'dir. Elastisite modülü $30x10^6$ kN/m^2, kat ağırlıkları 150 kN olan sistemde kat rijitlikleri Denklem (6) ile hesaplanmıştır.



Şekil 1 – Kesme tipi çerçeve örnek modelleri

İki katlı yapı modeli için kesme tipi yapı modeli dikkate alınarak elde edilen kütle ve rijitlik matrisi Denklem (7) ve (8) ile verilmektedir.

$$M = \begin{vmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{vmatrix} \qquad \text{(Denk. 7)}$$

$$K = \begin{vmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 + k_2 \end{vmatrix} \qquad \text{(Denk. 8)}$$

Serbest titreşim açısal frekansı (ω) Denklem (9) ile verilen çözümleme yapılarak elde edilmektedir.

$$\left|K-\omega^2 M\right|=0 \qquad \text{(Denk. 9)}$$

Özdeğer yöntemi ile analizi yapılarak hakim periyot değerleri ile ve önerilen denklemlerle elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 1 ile verilmiştir.

Tablo 1 –Kesme Tipi Çerçeve Modellerinin Periyot Sonuçları

Model	Özdeğer	Teorik	Fark (%)
2 katlı	0.209521	0.207212	1.101
3 katlı	0.290964	0.288857	0.724

Önerilen periyot denklemlerinin az katlı düzenli kesme tipi çerçeve modellerinde oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

3.2. Elastik Kirişli Çerçeve Modeli

Çerçeveli binaların hakim doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan analitik yöntemlerden biri de Rayleigh yöntemidir. Rayleigh yöntemi ile periyot hesabı Denklem (10) ile gösterilmiştir.

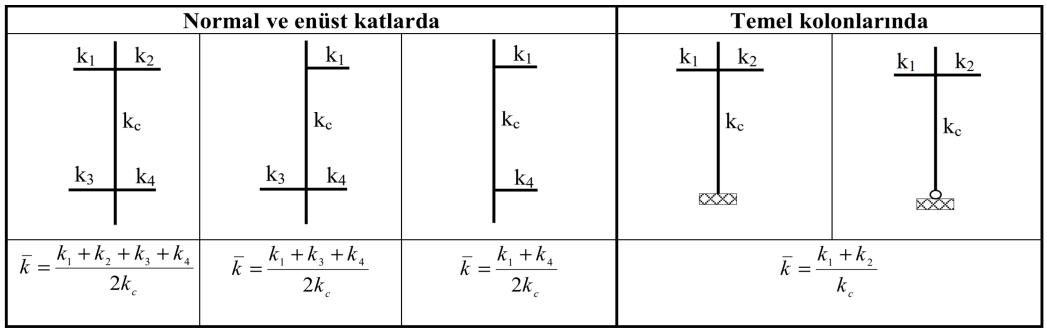
$$T_1=2\pi\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i\delta_i^2}{\sum_{i=1}^{N} F_i\delta_i}} \qquad \text{(Denk. 10)}$$

Burada m_i , δ_i ve F_i sırasıyla i'nci kat kütlesini, yanal yer değiştirmeyi ve yanal kuvveti ifade etmektedir. Çalışmanın bu kısmında Rayleigh yöntemi ile periyot hesabında yanal kat rijitliği hesabı kiriş ve kolonların rijitliklerine bağlı olarak tanımlanan Muto yöntemi ile yapılmıştır.

Muto yöntemi ile yanal rijitlik ifadesi;

$$k_{ij}=a\frac{12EI_{ij}}{h_i^3} \qquad \text{(Denk. 11)}$$

Şekil 2'de verilen kolonların çerçeve içinde bulunduğu konuma göre kiriş-kolon rijitlik oranları ($\bar{k}$) ile *a* düzeltme katsayıları tanımlanmıştır.



Şekil 2 – Muto (1965) yaklaşımında kolonun konumuna göre tanımlanmış kiriş-kolon rijitlik oranları

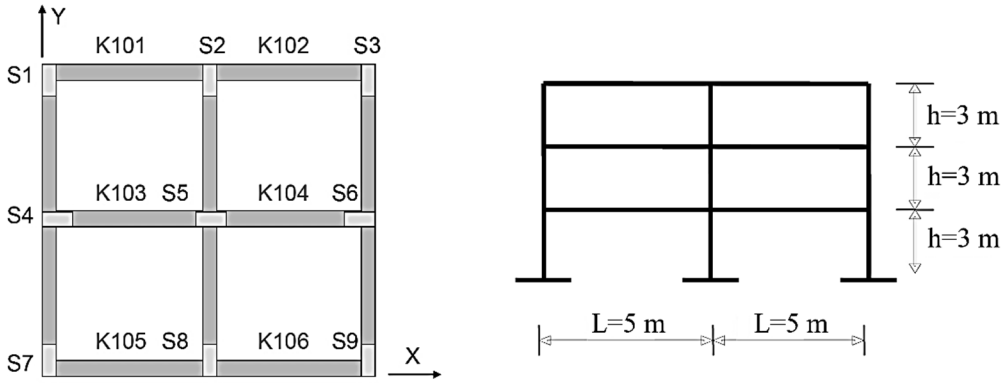
"$k_{1\text{-}4}=I_{1\text{-}4}/l_{1\text{-}4}$ " kirişlerin rölatif rijitlikleri ve "$k_c=I_c/h_c$ " kolon rölatif rijitliği olmak üzere; kolonun bulunduğu yere göre *a* düzeltme katsayısının tanımı Denklem (12) ile verilmiştir.

Ara kat kolonları için; $$a=\frac{\bar{k}}{\bar{k}+2}$$

Ankastre mesnetli kolonlar için; $$a=\frac{0.5+\bar{k}}{\bar{k}+2}$$ (Denk. 12)

I_i ; i kirişinin atalet momenti, l_i ; i kirişinin uzunluğunu, I_c ; kolon atalet momentini, h_c ; kolon yüksekliğini ifade etmektedir.

Önerilen yöntemin elastik kirişli çerçeve modelinde doğrulamasını yapmak için Şekil 3'te verilen aynı kat kütlesine sahip iki ve üç katlı çerçeve modeli oluşturulmuştur. Elastisite modülü $30x10^6$ kN/m^2, kolon kesitleri 0,30x0,60 m ve kiriş kesitleri 0,25x0,60 m'dir. Kat ağırlığı 4000 kN, açıklığı 5 m ve kat yükseklikleri 3 m olan çerçeve modelin X yönündeki hakim periyot değeri Rayleigh Yöntemi ile hesaplanmıştır. Kat rijitliği hesabında Muto Yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3 – Elastik kirişli çerçeve örnek modeli plan ve kesiti

Oluşturulan modellerin Rayleigh yöntemi ve önerilen denklemlerle elde edilen hakim periyot sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2 – Elastik Kirişli Çerçeve Modeli için Periyot Sonuçları

MODEL	Rayleigh	Teorik	Fark (%)
2 katlı	0.54259	0.51098	5.83
3 katlı	0.77342	0.74161	4.11

Önerilen periyot denklemlerinin az katlı düzenli elastik kirişli çerçeve modellerinde kabul edilebilir oranlarda sonuçlar verdiği görülmektedir.

3.3. Çerçeve Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Modellemesi

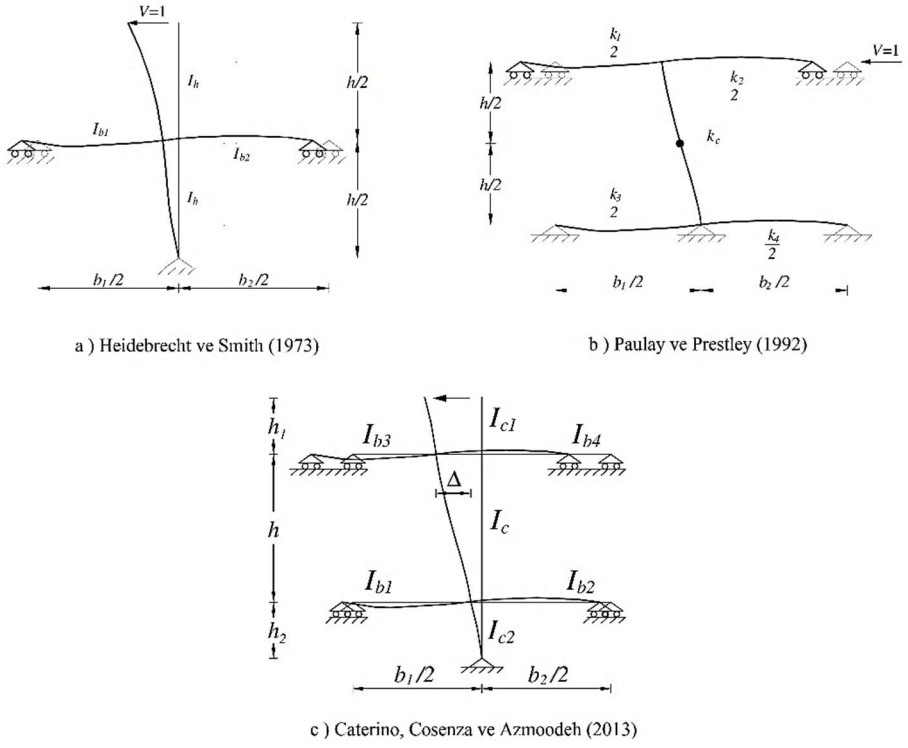
Önerilen denklemin doğrulaması için gerçek yapı modellerini temsil eden Şekil 4'te gösterilen farklı kat sayılarında düzenli çerçeveli bina modelleri oluşturulmuştur. Literatürde çerçeveli sistemlerin yanal kat rijitliği hesabında kiriş-kolon rijitliklerine bağlı kapalı formda önerilmiş bazı yaklaşımlar (Muto (1965), Heidebrecht ve Stafford Smith (1973), Paulay ve Priestley (1992), Caterino, vd. (2013)) ele alınmış ve önerilen periyot denklemlerinde kullanılmıştır. 3 – 5 ve 7 katlı olmak üzere farklı kat sayılarında oluşturulan modellerin periyot değerleri önerilen denklemlerle elde edilmiştir. Aynı modellerin SAP2000 programında serbest titreşim analizleri yapılarak elde edilen periyot değerleri teorik yaklaşımla karşılaştırılmıştır.

3.3.1. Yanal Kat Rijitliği Hesabı Yaklaşımları

Çerçeveli binalar için herhangi bir j'inci katta bulunan bir i kolonuna ait yanal rijitlik Denklem (13) ile hesaplanır. Hesaplanan kolon rijitlikleri toplanarak yanal kat rijitliği bulunur.

$$k_{ij} = \alpha_k \frac{12EI_{ij}}{h_i^3} \qquad \text{(Denk. 13)}$$

Burada α_k katsayısı düğüm noktasındaki birbirine bağlı kirişlerin kolon uçlarındaki dönme kısıtının derecesine bağlı bir parametredir. Bir kolonun yapının toplam yanal rijitliğine olan katkısını vermektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan ve literatürde kabul görmüş α_k katsayısı ile ilgili yaklaşımlar Şekil 4 ve Denklem (14) - (17) ile verilmiştir.



a) Heidebrecht ve Smith (1973)

b) Paulay ve Prestley (1992)

c) Caterino, Cosenza ve Azmoodeh (2013)

Şekil 4. Kat rijitliği hesabı yaklaşımlarında kullanılan yardımcı çerçeveler

Muto (1965) yaklaşımı (M65) α_k katsayısı;

$$\alpha_k = \frac{\bar{k}}{\bar{k}+2} \qquad \text{(Denk. 14)}$$

Heidebrecht ve Stafford Smith (1973) yaklaşımı (HS73) α_k katsayısı;

$$\alpha_k = \frac{1}{1+\dfrac{2I_h}{h\left(\dfrac{I_{b1}}{b_1}+\dfrac{I_{b2}}{b_2}\right)}} \qquad \text{(Denk. 15)}$$

Paulay ve Priestley (1992) yaklaşımı (PP92) α_k katsayısı;

$$\alpha_k = \frac{\bar{k}}{\bar{k}+2} \qquad \text{(Denk. 16)}$$

Caterino, Cosenza ve Azmoodeh (2013) yaklaşımı (CCA13) α_k katsayısı;

$$\alpha_k = \frac{1}{1-3\left(1+\dfrac{2h_1}{h_c}\right)\left[1-\left(1+\dfrac{EI_c(h_c+2h_2)}{A\left(2h_ch_1+h_c^2\right)}\right)\left(\dfrac{\dfrac{h_c}{EI_c}+\dfrac{1}{B}}{\dfrac{h_c}{EI_c}-\dfrac{EI_c}{ABh_c}}\right)\right]} \qquad \text{(Denk. 17)}$$

$$A=\left(\frac{EI_c}{h_c}+\frac{6EI_{b3}}{b_3}+\frac{6EI_{b4}}{b_4}\right) \quad , \quad B=\left(\frac{EI_c}{h_c}+\frac{6EI_{b1}}{b_1}+\frac{6EI_{b2}}{b_2}\right)$$

Denklem (17)'de kullanılan h_1 ve h_2 ifadeleri sırasıyla üst kat ve alt kat kolonlarının moment sıfır noktalarına olan mesafelerini göstermektedir. Bu değerler Muto (1965) çalışmasında verilen tablolar kullanılarak hesaplarda dikkate alınmaktadır.

3.3.2. Model Bilgileri

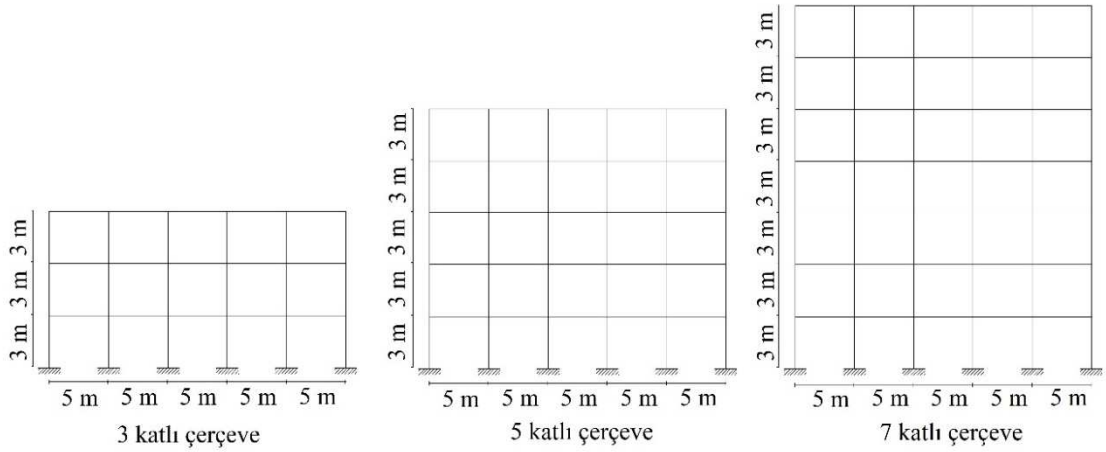
Önerilen periyot denklemlerinin değerlendirilmesi için oluşturulan modellere ait bilgiler Tablo 3'te ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Kiriş ve kolon kesitleri aynı olan farklı kat sayılarına sahip düzenli betonarme çerçeve sistem modelleri oluşturulmuştur.

Tablo 3. Modellere ait bilgiler

Elastisite Modülü (E)	2.85×10^7	kN/m^2
Ölü Yük (G)	5	kN/m^2
Hareketli Yük (Q)	3.5	kN/m^2
Kat Yüksekliği (h)	3	m
Açıklık Mesafesi (l)	5	m
Kat Sayısı (N)	**3 – 5 – 7**	

	Kirişler (cm)	**Kolonlar (cm)**
Eleman Boyutları	30x50	30x50

Tüm modellerde kat yükseklikleri 3 m ve açıklık mesafeleri 5 m olarak eşit alınmıştır. Kat sayıları 3, 5 ve 7 olmak üzere toplamda 3 adet çerçeve modeli oluşturulmuştur. Aynı malzeme kullanıldığından elastisite modülü her elemanda aynıdır. Kat kütleleri döşeme yüklerine göre hesaplanmıştır.



Şekil 5. Oluşturulan 3, 5 ve 7 katlı model kesitleri

Oluşturulan modeller hem önerilen periyot denklemleri ile teorik olarak, hem de SAP2000 programı yardımıyla nümerik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen hakim periyot değerleri karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.3.3. Analiz Sonuçları

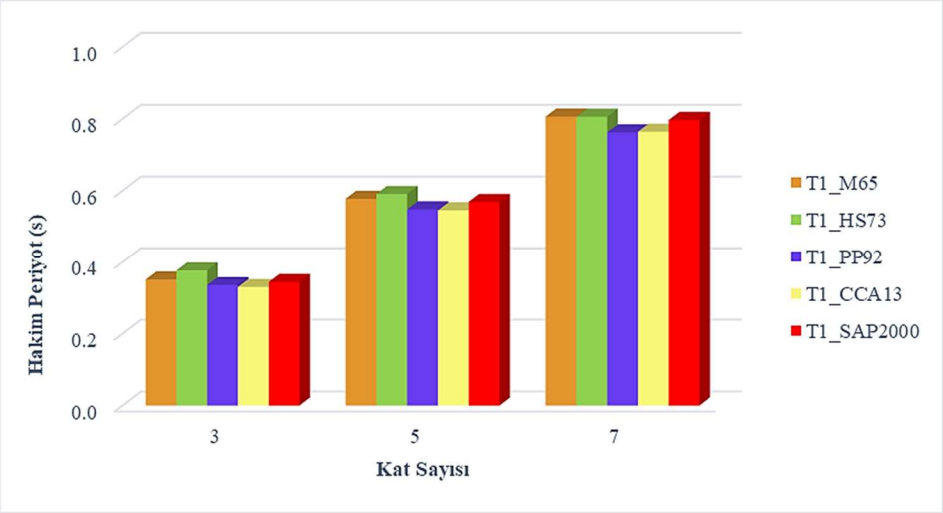
Bu çalışmada önerilen yöntem ile yapılan hesaplamalarda bina boyunca aynı kat kütleleri kullanılırken, birinci katın ve normal katın rijilikleri yanal rijitlik hesabı yaklaşımları ile hesaplanarak periyot denklemlerinde kullanılmıştır. Yalnızca CCA13 yaklaşımında her katın yanal rijitliği farklı elde edildiğinden normal kat rijitliği olarak orta katlar için hesaplanan kat rijitlikleri dikkate alınmıştır. Yapılan bu kabulle elde edilen periyot sonuçları her kat model için Tablo 4'te verilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 5'te bu sonuçların SAP2000 sonuçları ile hata oranları % olarak gösterilmiştir.

Tablo 4 – Bina Modelleri için Periyot Sonuçları

PERİYOT SONUÇLARI			
PERİYOT	**3 KATLI**	**5 KATLI**	**7 KATLI**
T_{1_M65}	0.351	0.577	0.806
T_{1_HS73}	0.376	0.591	0.806
T_{1_PP92}	0.335	0.548	0.762
T_{1_CCA13}	0.330	0.545	0.764
$T_{1\_SAP2000}$	0.344	0.569	0.797

Tablo 5 –Hata Oranları

SAP2000 İLE HATA ORANLARI (%)			
PERİYOT	**3 KATLI**	**5 KATLI**	**7 KATLI**
T_{1_M65}	-2.055	-1.488	-1.186
T_{1_HS73}	-9.484	-3.840	-1.105
T_{1_PP92}	2.432	3.695	4.361
T_{1_CCA13}	3.978	4.185	4.120



Şekil 6. Farklı kat sayılarındaki düzenli çerçeve modellerine ait hakim periyot sonuçları

Düzenli çerçeveli sistemler için önerilen ve birinci katın rijitlik etkisinin dikkate alındığı periyot denklemlerinin gerçek yapı modelleri için kabul edilebilir yakınlıkta sonuçlar verdiği görülmektedir. Birinci kat rijitliğinin ihmal edildiği (ψ=1) durumda kat rijitliği normal kat rijitliği olarak hesaplarda kullanıldığında hata oranlarının genel olarak bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Farklı kat sayılarındaki binalar için binaların periyot hesabında kabul edilebilir hata oranlarında sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda hesaplarda dikkate alınan kat rijitliğinin farklı tanımlanma durumlarında da hakim periyot sonuçları her kat yapı modeli için gerçek sonuca oldukça iyi yakınsaklık göstermiştir.

4. Sonuçlar

Çerçeve tipi taşıyıcı sisteme sahip binaların hakim doğal titreşim periyotdunu kat yükseklikleri, kat rijitliklerine ve kütlelerine bağlı olarak hesaplayan denklemler önerilmiştir. Önerilen denklemin geçerliliğini test etmek için yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde kullanılan el hesabına uygun yaklaşık yanal kat rijitliği yaklaşımının belirleyici parametre olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar üzerinde birinci kat rijitliğinin etkili olduğu ve hesaplamalarda dikkate alınması gerektiği kanaati oluşmuştur. Genel olarak sonuçların bu çalışma kapsamında verilen düzenli çerçeveli yapı modellerinde kabul edilebilir hata oranlarında yakınlık gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle kesme tipi çerçevelerde sonuçlar çok iyi uyum gösterirken, diğer genel çerçeve modellerinde de kabul edilebilir oranlarda sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Kaynaklar

Aninthaneni, P. K., & Dhakal, R. P. (2016). Prediction of fundamental period of regular frame buildings. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, *49*(2), 175–189.

Caterino, N., Cosenza, E., & Azmoodeh, B. M. (2013). Approximate methods to evaluate storey stiffness and interstory drift of RC buildings in seismic area. *Structural Engineering and Mechanics*, *46*(2), 245–267. https://doi.org/10.12989/sem.2013.46.2.245

Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of Structures Theory And Applications To Earthquake Engineering* (4th ed.).

Dirioğlu, E. (2005). *Çerçeve Tipi Yapilarin Birinci Temel Periyotlarinin Hesabi İçin Yaklaşik Yöntemler*. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Goel, R. K., & Chopra, A. K. (1997). Period Formulas for Moment-Resisting Frame Buildings. *Journal of Structural Engineering*, *123*(11), 1454–1461. https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1997)123:11(1454)

Heidebrecht, A., & Stafford Smith, B. (1973). Approximate analysis of tall wall-frame structures. *ASCE Journal of the Structural Division*, *99*, 199–221.

Hsiao, J. K. (2009). Computation of fundamental periods for moment frames using a hand-calculated approach. *Electronic Journal of Structural Engineering*, *9*, 16–28.

İncetaş, S., & Tanrıkulu, K. (2001). Binaların birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesi, 136–145.

Muto, K. (1965). Seismic Analysis of Reinforced Concrete Buildings. Tokyo, Japan: Shokoku-sha Publishing Co.,.

Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, ISBN: 978-0-471-54915-4. John Wiley & Sons Inc.: New York*. https://doi.org/10.1002/9780470172841.fmatter

Sahin, M. (2013). Application of z-Transform Method for Dynamic Analysis of Periodic Shear Structures. *Journal of Engineering Mechanics*, *140*(5), 04014022. https://doi.org/10.1061/(asce)em.1943-7889.0000707

Salama, M. I. (2014). Estimation of period of vibration for concrete moment-resisting frame buildings. *HBRC Journal*, *11*(1), 16–21. https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.01.006

Sangamnerkar, P., & Dubey, S. K. (2017). Equations to evaluate fundamental period of vibration of buildings in seismic analysis. *Structural Monitoring and Maintenance*, *4*(4), 351–364. https://doi.org/https://doi.org/10.12989/smm.2017.4.4.351

SAP2000, Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures, release 16.0, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA.

Ayarlanabilir Dönme Rijitliğine Sahip Mesnetlerle Tutulu Kirişler için Deney Düzeneği Oluşturulması (Sözlü)

Serkan Sağıroğlu[1], Hakan T Türker[2], Rüstem Sadri[3], Babür Deliktaş[4]

[1,2,3,4] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa/Türkiye
Emails: hakantturker@uludag.edu.tr, serkansagiroglu@uludag.edu.tr, rustemsadri@hotmail.com, bdeliktas@uludag.edu.tr

Özet

Yapı analizinde mesnetlerde dönmelerin genellikle tamamen tutulu veya tamamen serbest oldukları kabul edilir. Bu nedenle mesnetler, ankastre, sabit veya kayıcı olarak idealize edilmektedir. Gerçek yapılarda çoğu durumda mesnet davranışı ne tam rijit ne de tamamen serbest olmakta, yarı rijit bir davranış gösterebilmektedir. Bu çalışma kapsamında yarı rijit mesnetlenme durumunun yapısal davranışa etkisini irdelemek amacı ile yarı-rijit mesnetlenme durumuna sahip bir kiriş için deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu deney düzeneğinde mesnetlenme durumu, sabit mesnetten, rijit mesnet arası kolaylıkla değiştirilebilmekte, farklı dönme rijitliğine sahip mesnetlenme durumları elde edilebilmektedir. Dönme rijitliği kavramının fiziksel karşılığı deney düzeneği ile teorik karşılığı oluşturulan fiziksel modele dayalı çıkartılan teorik denklemlerle kolay ve anlaşılır bir şekilde gösterilmiştir. Deneylerin sonlu elemanlar modeli oluşturularak farklı mesnetlenme durumuna sahip kiriş deneyleri teorik sonuçlarla kıyaslanmış, yarı rijit mesnetlenme durumunun kiriş davranışına etkileri gösterilmiştir. Oluşturulan yarı rijit mesnetli kiriş düzeneğinin, düşey yük etkisindeki çerçeve kirişlerinin davranışını incelemek için de kullanılabileceği gösterilmiştir.

Keyword(s): Yarı rijit mesnet, elastik kiriş, dönme rijitliği, eğilme

1. Giriş

Yapısal analizlerde ankastre mesnet ile mesnetlendiği kabul edilen eleman (kiriş, kolon) uçlarının uygulamada hem imalat imkânlarından kaynaklanan sebeplerle hem de maliyetli olması sebebiyle dönmenin tam olarak tutulu olacak şekilde bağlanması çoğunlukla mümkün olmamaktadır. Örneğin, çelik çerçeveli yapıların analizi genellikle kiriş kolon bağlantılarında momentlerin kirişten kolona ihmal edilebilir bir dönme ile aktarıldığı yani rijit bağlantı olduğu veya ihmal edilebilir miktarda moment taşındığı yani mafsallı bağlantı olduğu dikkate alınarak yapılır. Bu varsayım bazı bağlantı çeşitleri için makuldür. Fakat bulonlu çelik bağlantılar düşünüldüğünde bu bağlantıların davranışlarının iki uç durumun arasında olduğu görülebilir. Bu nedenle üçüncü bir bağlantı çeşidi kısmi kısıtlanmış ya da kısaca yarı rijit bağlantı tanımı ortaya çıkmıştır (Köseoğlu,2013).

Benzer şekilde çerçevelerin analizinde, kolonların zemine ankastre bağlı oldukları kabulü sıkça yapılır. Ancak gerçekte, çerçeve kolonlarının temele bağlı noktaları sismik etkiler sebebiyle

ötelenme ve dönme gösterebilmektedir. Bu durumda, mesnet davranışı elastik yaylarıyla modellenebilir (Demirdağ, 2006).

Bir kirişin uç mesnetlerindeki dönme rijitliğinin alabileceği değerlere göre kirişler için bir sınıflandırma aşağıdaki gibi yapılabilir:

(a) Uçlardaki dönme rijitliğinin sıfır olması durumu: Bu durumda kiriş uçlarında sabit mesnetlerle mesnetlenmiş olacaktır (Şekil 1(a)).

(b) Uçlardaki dönme rijitliğinin sonsuz olması durumu: Bu durumda kiriş uçlarında ankstre mesnetlerle mesnetlenmiş olacaktır (Şekil 1(b)). Burada kiriş ucundaki dönme rijitliğinin sonsuz olması praktikte tam olarak uygulanamayabilir. Bu noktada belki de mesnetteki dönme rijitliğinin kirişin eğilme rijitliğine bir oranı ifade edilerek bu oranın belirli bir değerden daha büyük olması durumunda kiriş ucunun dönmesinin tutulu olduğu kabul edilebilir.

(c) Uçlardaki dönme rijitliğinin sıfır ile sonsuz arasında olması durumu: Bu durumda kiriş uçlarındaki dönme ne sabit mesnette olduğu gibi tamamen serbest ne de ankastre mesnette olduğu gibi tamamen tutuludur. Bu ara durum Şekil 1(c)'de gösterildiği gibi kirişin uçlarına yerleştirilmiş dönmeye karşı direnç gösteren elastik yaylar ile temsil edilebilir. Kiriş uçlarındaki bu yayların dönme rijitliği k_θ ile ifade edilirse, bu durumda k_θ kiriş ucunda bir birim dönme meydana getirebilmek için uygulanması gereken moment olarak tanımlanabilir. k_θ'nın küçük değerleri için kiriş uçları sabit mesnetle bağlı gibi davranırken, k_θ'nın büyük değerleri için kiriş uçları ankastre mesnetle bağlı gibi davranacaktır.

Şekil 1 – Farklı mesnetlenmiş kirişler (a) mafsal bağlı (b) ankastre bağlı (c) yarı-rijit bağlı

Yukarıdaki sınıflandırmada söz konusu olan iki ucundan mesnetli tek bir kiriş olabileceği gibi daha büyük bir yapının bir parçası olan ve uçlarında diğer yapı elemanları (kolon, aynı düzlemde veya diğer düzlemlerdeki kirişler) ile uç noktalarından bağlı bir kiriş de düşünülebilir. İlk durumda uçlardaki dönme rijitliği veya serbestliği mesnet tarafından sağlanırken, ikinci durumda kirişin uçlarındaki dönme rijitliğini o uca bağlı olan diğer elemanların rijitlikleri belirleyecektir.

Astaneh-Asl (1995) kiriş davranışını, kiriş uçlarındaki bağlantının dönme rijitliğinin kirişin eğilme rijitliğine oranına göre üç sınıfa ayırmıştır. Sınıflandırmada literatürde sıklıkla kullanılan kirişin uç dönme rijitliğinin kirişin eğilme rijitliğine olan oranı (*m*) kullanılmıştır.

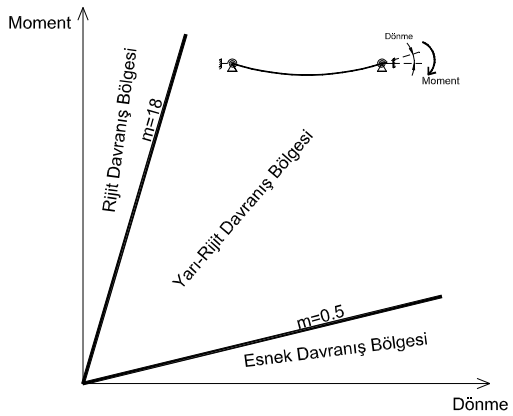
$$m = \frac{K_{birleşim}}{\left(\frac{EI}{L}\right)_{kiriş}} \qquad \text{(Denk. 1)}$$

Bu denklemde $K_{birleşim}$ kiriş uç bağlantısının dönme rijitliğini, $(EI/L)_{kiriş}$: kirişin eğilme rijitliğini göstermektedir. *m*'nin aldığı değere göre kirişler davranışı aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

Tablo 1 – Kiriş davranışının *m* değerine göre değişimi

m	Kiriş davranışı
m≥18	Rijit
18>m≥0.5	Yarı-rijit
m<0.5	Esnek

Kirişin uç dönme rijitliğinin kirişin eğilme rijitliğine olan oranına bağlı olarak moment-dönme ilişkisine ait üç bölge Şekil 2'de gösterilmiştir.



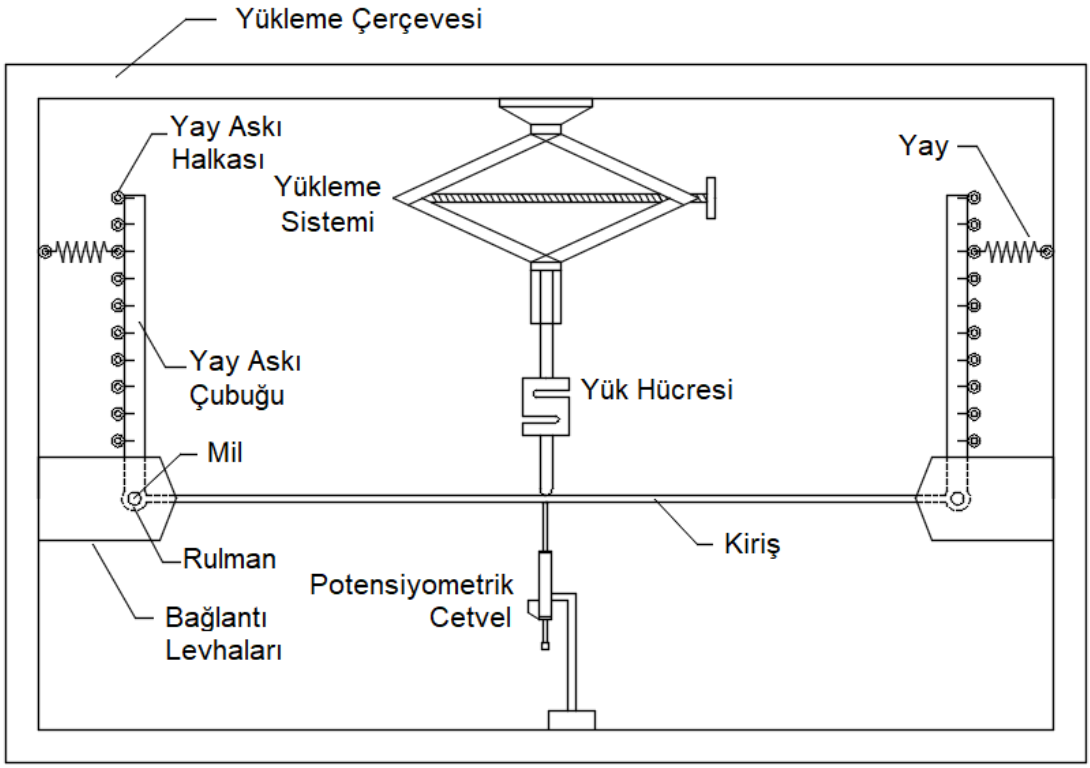
Şekil 2 - Kirişlerin rijit, yarı-rijit ve esnek davranış bölgeleri

Benzer şekilde Geschwindner ve Disque (2005) kiriş uç bağlantı rijitliklerini rijit, basit ve yarı rijit olmak üzere üç sınıfa ayırmışlardır. Kiriş ankastrelik uç momentinin %90 ve üzerinde bir oranında moment aktarabilen bağlantıları (veya birleşimleri) rijit, %10 ve altında bir oranında moment aktarabilen bağlantıları (veya birleşimleri) basit (mafsallı), bu iki sınır değer arasında bir oranda moment aktarabilen bağlantıları (veya birleşimleri) yarı-rijit olarak sınıflandırmışlardır.

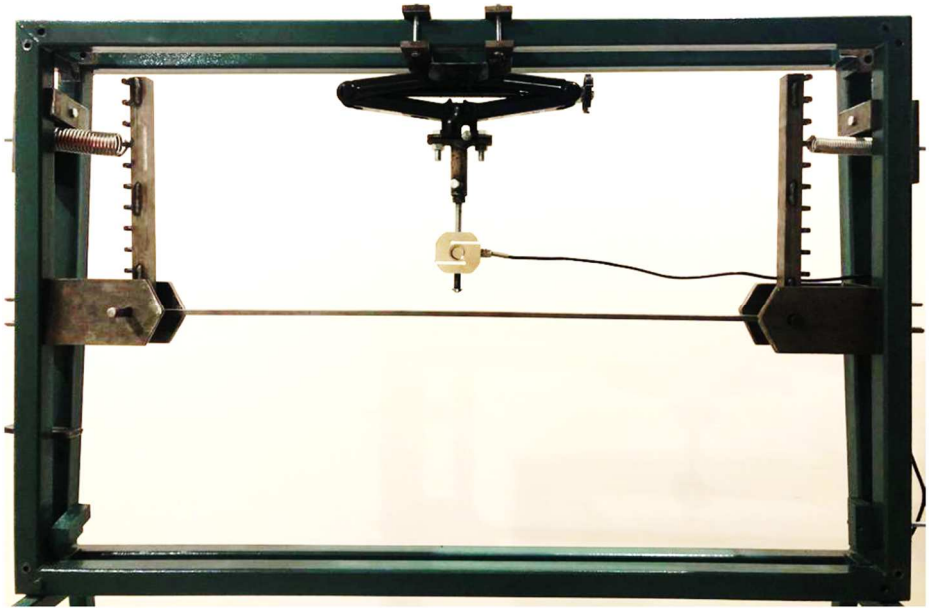
2. Deney Düzeneği

Bu çalışmaya konu olan deney düzeneği içten içe ölçüleri yaklaşık 120 cm x 75 cm olan bir yükleme çerçevesinin içinde oluşturuldu. Kiriş olarak 3 cm genişliğinde 0.8 cm yükseliğinde dikdörtgen kesite sahip çelik çubuk (lama) kullanıldı. Mafsal davranışını sağlamak için dış çapı 3 cm, iç çapı 1.5 cm olan rulman kullanıldı. İki adet rulman kiriş uçlarına kaynakla birleştirildi.

Kiriş uçlarındaki rulmanlara, yay askı çubukları olmak üzere, kiriş eksenine dik konumda olacak şekilde 3 cm genişliğinde ve 2.5 cm yüksekliğinde dikdörtgen kesite sahip çelik çubuklar kaynakla birleştirildi. Böylece aynı rulmana kaynaklanan kiriş ucu ile yay askı çubuğu ucu arasında rijit bağlantı sağlanmış oldu. Yükleme çerçevesine monte edilen bağlantı levhalarındaki miller kiriş uçlarındaki rulmanlardan geçirilerek, kiriş uçlarının yükleme çerçevesine bağlantıları sağlanmış oldu. Yay askı çubuklarındaki deformasyonların ihmal edilebilir olabilmesi için bu çubukların kesitleri kiriş kesitinden daha rijit olacak şekilde seçildi. Kiriş uçlarında bulunan rulmanların merkezi düzenekteki kiriş için mesnet noktası olarak kabul edilebilir. Yay askı çubuklarının üzerine rulmanın merkezinden belirli mesafelerde askı halkaları kaynaklandı. Deney düzeneğinin şematik çizimi ve fotoğrafı sırasıyla Şekil 3 ve 4'te verilmiştir.

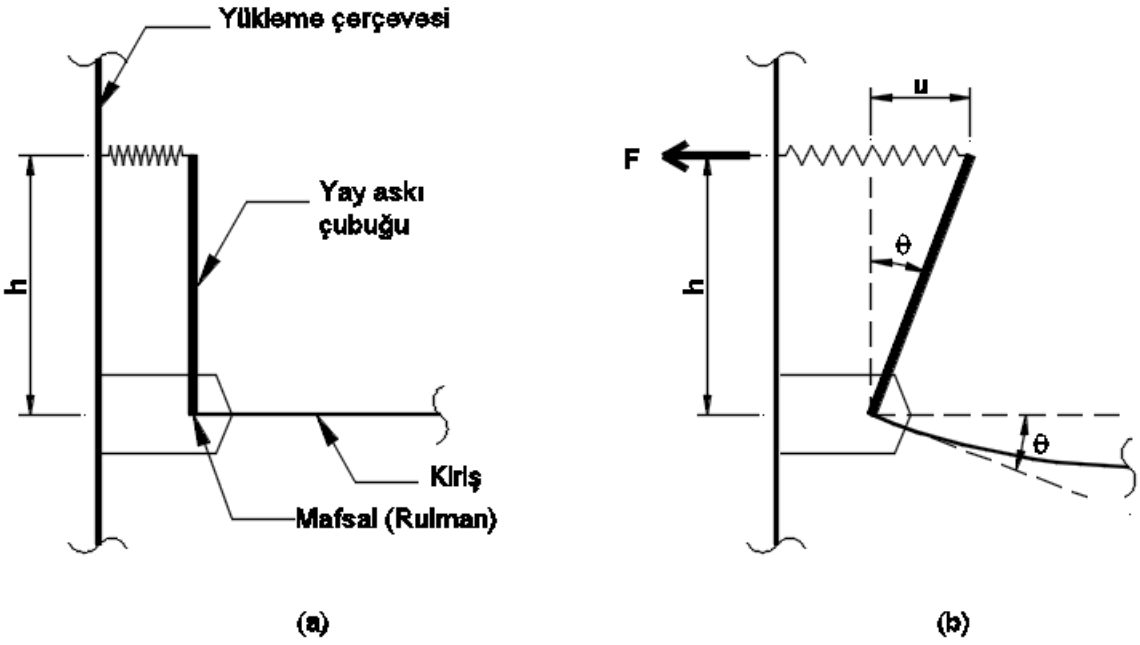


Şekil 3 – Deney düzeneğinin şematik çizimi



Şekil 4 - Deney düzeneği

Kiriş uçlarının yarı rijit olarak mesnetlenme durumunun yay askı çubuğu üzerindeki askı halkaları ile yükleme çerçevesi arasına takılacak doğrusal yaylar ile sağlanması amaçlandı. Bu doğrusal yayların rijitliği ve asıldığı konum kiriş ucuna sağlanan dönme rijitliğini belirlemiş oldu. Dönme rijitliğinin bahsedilen iki parametre cinsinden ifadesi aşağıda çıkarılmıştır.



Şekil 5 - Kiriş mesnet bölgesinin (a) şekil değiştirmemiş (b) şekil değiştirmiş hali

Şekil 5(a)'da kirişin yüklenmemiş dolayısıyla şekil değiştirmemiş hali gösterilmiştir. Bu halde yay askı çubuğu ile yükleme çerçevesi arasına bağlanan yayın herhangi bir kuvvet oluşmayacak

şekilde bağlandığı göz önünde bulundurulmalıdır. Kirişe yapılacak yükleme (örneğin açıklık ortasında yapılacak bir tekil yükleme) neticesinde sol mesnet ucunun alacağı şekil değiştirmiş hal Şekil 5(b)'deki gibi olacaktır. Kiriş ucu ve yay askı çubuğu birbirlerine mesnet noktasına rijit bağlı oldukları için kiriş ucundaki dönme açısı θ, yay askı çubuğundaki dönmeye (θ) eşit olacaktır. Kullanılan doğrusal yayın yay sabiti k_δ ve yaydaki uzama u ile gösterilirse, yayda oluşacak kuvvet:

$$F = k_\delta \times u \qquad \text{(Denk. 2)}$$

şeklinde yazılabilir. Dönme açısının küçük olduğu göz önünde bulundurulursa, yaydaki uzama (u):

$$u = \theta \times h \qquad \text{(Denk. 3)}$$

olarak yazılabilir. Bu durumda Denklem 2 aşağıdaki hali alır.

$$F = k_\delta \times \theta \times h \qquad \text{(Denk. 4)}$$

Kirişin mesnedinde oluşan moment, kiriş mesnedinin dönme rijitliği (k_θ) ile dönme açısının (θ) çarpımı kadar olacaktır. Bu moment yay kuvvetinin (F) mesnet noktasına göre momentine eşit olacaktır.

$$F \times h = k_\theta \times \theta \qquad \text{(Denk. 5)}$$

Bu ifadede F yerine Denklem 4'deki karşılığı yazılırsa:

$$k_\delta \times \theta \times h \times h = k_\theta \times \theta \qquad \text{(Denk. 6)}$$

bulunur. Gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$k_\theta = k_\delta \times h^2 \qquad \text{(Denk. 7)}$$

elde edilir. Böylece doğrusal yayın rijitliği ve asıldığı konum bilindiğinde, kiriş ucundaki dönme rijitliği Denklem 7 ile kolayca bulunabilir. Düzenekte yay kullanılmaması durumu mafsallı bağ (sabit mesnet) durumuna, yay yerine rijit çubuk kullanılması durumu ise rijit bağ (ankastre mesnet) durumuna karşılık gelecektir.

3. Teorik Altyapı

Düzgün yayılı yüke maruz, yarı rijit mesnetlere sahip kirişe ait elastik eğri denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$w(x) = \frac{q(L-x)x(-12\mathrm{EI}^2(L^2+Lx-x^2)+2\mathrm{EI}Lx(-3L+2x)K_{\theta 1}+L(-L+x)(2\mathrm{EI}(L+2x)+LxK_{\theta 1})K_{\theta 2})}{24\mathrm{EI}(4\mathrm{EI}(3\mathrm{EI}+LK_{\theta 2})+LK_{\theta 1}(4\mathrm{EI}+LK_{\theta 2}))} \qquad \text{(Denk. 8)}$$

Bu denklemde *w* deplasmanı, *x* kirişin sol ucundan olan konumu, *q* kiriş üzerindeki düzgün yayılı yük değerini, *L* kiriş uzunluğunu, *E* elastisite modülünü, *I* ataltet momentini, $K_{\theta 1}$ ve $K_{\theta 2}$ sırasıyla sol ve sağ mesnetteki dönme rijitliğini göstermektedir.

Bu denklem mesnet dönme rijitlikleri eşit alınarak iki ucu ankastre kirişin açıklık deplasmanı değerine bölünerek normalize edilebilir:

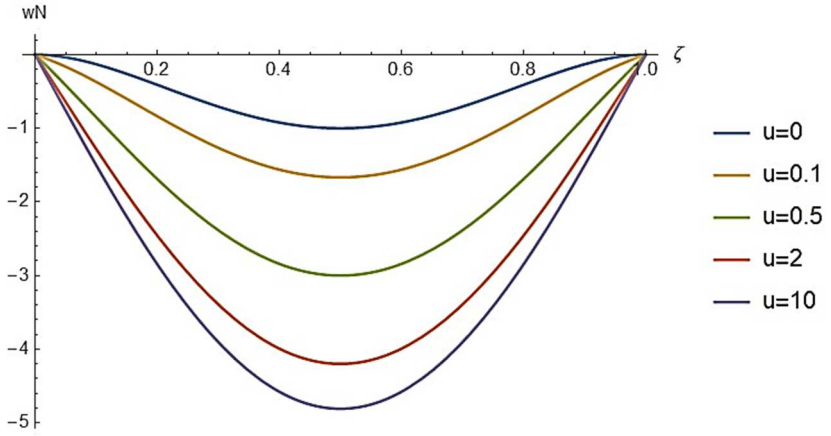
$$\mathrm{wN}(\zeta) = \frac{w(x)}{\frac{qL^4}{384\mathrm{EI}}} = \frac{16(-1+\zeta)\zeta((-1+\zeta)\zeta+2u(-1+(-1+\zeta)\zeta))}{1+2u} \qquad \text{(Denk. 9)}$$

Burada göreli konumu ifade eden ζ ve kiriş eğilme rijitliğinin mesnetin dönme rijitliğine oranını ifade eden *u* aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\zeta = \frac{x}{L} \qquad \text{(Denk. 10)}$$

$$u = \frac{\mathrm{EI}}{LK_\theta} \qquad \text{(Denk. 11)}$$

u'nun farklı değerleri için yukarıda Denk. 9'da verilen denklem kullanılarak elde edilen normalize edilmiş elastik eğriler Şekil 6'da görülebilir. Bu grafikte *u*'nun sıfır olması kirişin ankastre mesnetli olması durumuna karşı gelmektedir. *u* arttıkça mesnetteki dönme rijitliği azalmaktadır.

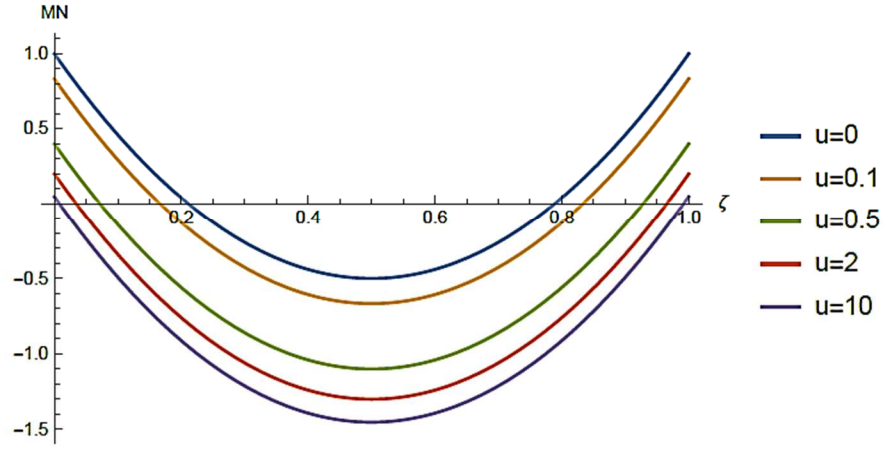


Şekil 6 – Farklı mesnet dönme rijitlikleri için normalize edilmiş elastik eğriler

Yarı rijit dönme rijitliğine sahip mesnetlerle bağlı kirişin moment fonksiyonunun (M), ankastre kirişin mesnet momentine bölünerek normalize edilmiş hali (MN) aşağıda verilmiştir.

$$\mathrm{MN}(\zeta) = \frac{M(x)}{\frac{qL^2}{12}} = \frac{1}{1+2u} + 6(-1+\zeta)\zeta \qquad \text{(Denk. 12)}$$

u'nun farklı değerleri için yukarıda Denk. 12'te verilen denklem kullanılarak elde edilen normalize edilmiş moment diyagramları Şekil 7'de görülebilir.

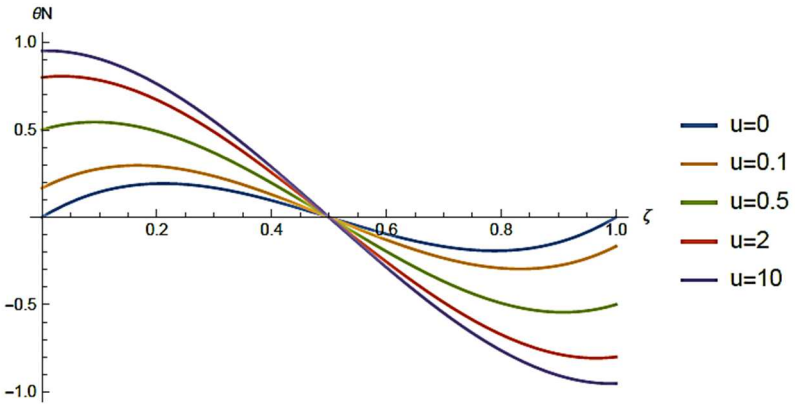


Şekil 7 – Farklı mesnet dönme rijitlikleri için normalize edilmiş moment diyagramları

Yarı rijit dönme rijitliğine sahip mesnetlerle bağlı kirişin mesnet dönmesinin (θ), basit kirişin mesnet dönmesine bölünerek normalize edilmiş hali (θN) aşağıda verilmiştir.

$$\theta N(\zeta) = \frac{\theta(x)}{-\frac{qL^3}{24EI}} = \frac{2(u+\zeta-3(1+2u)\zeta^2+2(1+2u)\zeta^3)}{1+2u} \qquad \text{(Denk. 13)}$$

u'nun farklı değerleri için yukarıda Denk. 13'te verilen denklem kullanılarak elde edilen normalize edilmiş dönme diyagramları Şekil 8'de görülebilir.



Şekil 8 – Farklı mesnet dönme rijitlikleri için normalize edilmiş dönme diyagramları

3. Deneysel Çalışma

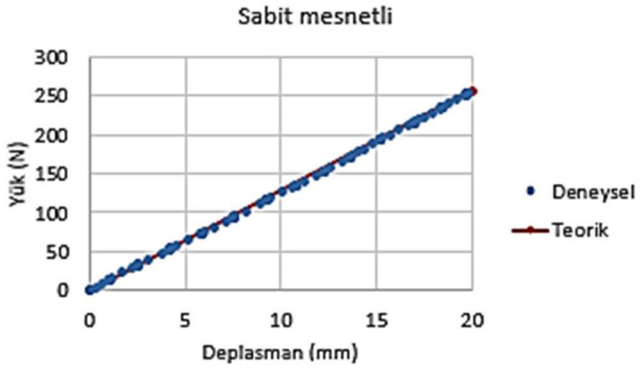
Yukarıda anlatılan deney düzeneği kullanılarak farklı mesnet özelliklerine sahip kirişlerin açıklık ortası tekil yükleme altında davranışları deneysel olarak gözlemlendi. Deneyler boyunca uygulanan kuvvet yük hücresi ile ve açıklık ortası deplasman potansiyometrik cetvel ile ölçülerek, bir veri toplama sistemi yardımıyla bilgisayara kayıt edildi. Mesnet şartları olarak Şekil 1'de gösterilen üç durum kullanıldı:

Deney 1: Her iki mesnedin de sabit mesnet olması durumu
Deney 2: Her iki mesnedin de ankastre mesnet olması durumu

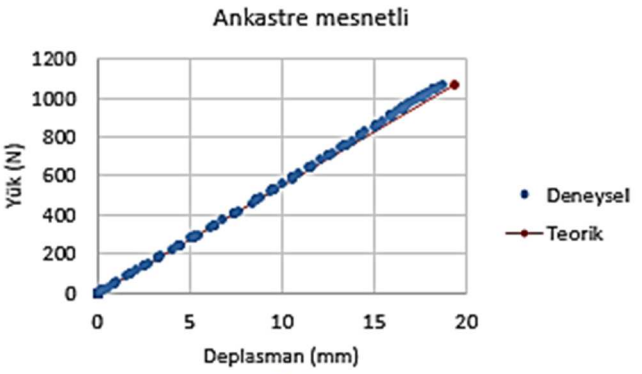
Deney 3: Her iki mesnedin de yarı rijit olması durumu

Deney 3'te sol ve sağ uçlarda farklı rijitliğe sahip yaylar kullanıldı. Kullanılan doğrusal yayların rijitlikleri yapılan deneyler neticesinde sol ve sağ yay için sırasıyla 40 N/mm ve 20 N/mm olarak bulundu. Bu değerlerin yayların asıldığı konumun mesnet noktasına olan uzaklığı olan 260 mm'nin karesi ile çarpımından (Denklem 7), kiriş mesnetlerinin dönme rijitlikleri sol ve sağ mesnet için sırasıyla $2{,}7.10^5$ Nmm/rad ve $1{,}35.10^5$ Nmm/rad olarak hesaplanmıştır.

Şekil 9 (a), (b) ve (c)'de sırasıyla yukarıda listelenen Deney 1, 2 ve 3' e ait elde edilen yük deplasman verileri, teorik denklemlerle elde edilen eğri ile birlikte sunulmuştur. Şekil 9'dan görüleceği üzere deneylerden elde edilen veriler teorik sonuçlar ile uyum içerisindedir.



(a)



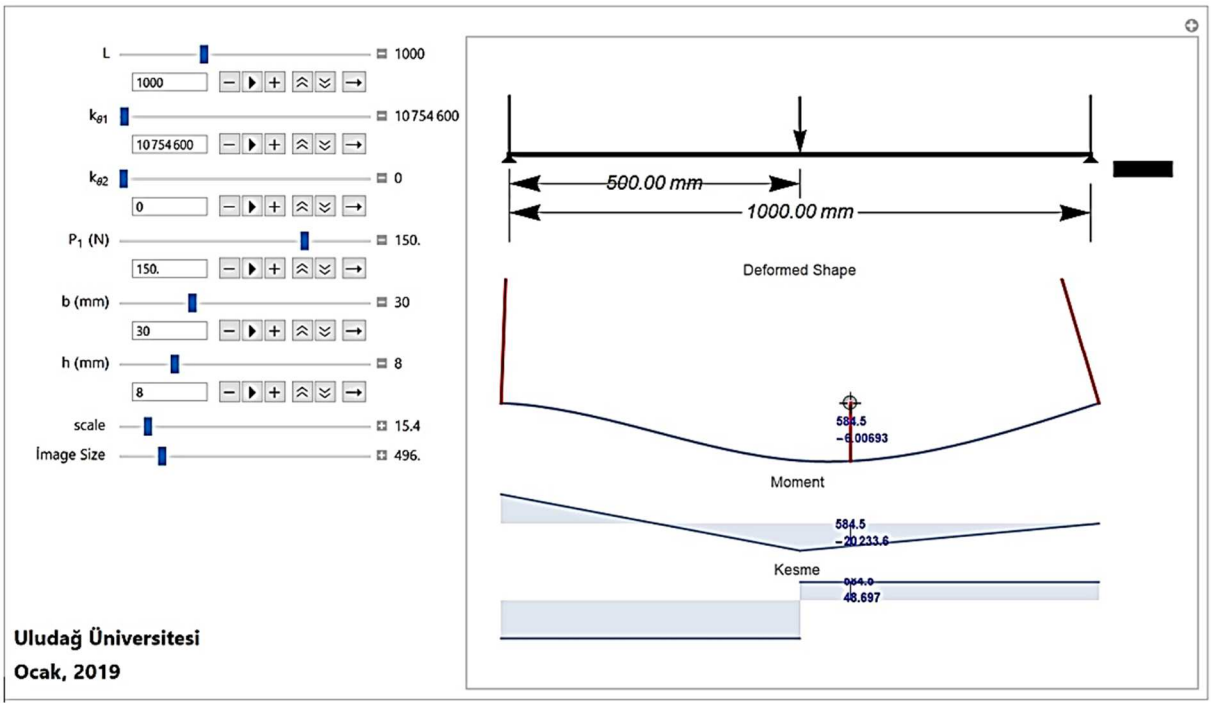
(b)

(c)

Şekil 9 – Deneysel ve teorik yük-deplasman eğrileri

4. Bilgisayar Yazılımı

Yukarıda anlatılan deney düzeneği ile uyumlu olacak şekilde bir yazılım geliştirildi. Yazılım geliştirilirken deney düzeneğinde gerçekleştirilen testlerin sonuçları ile kıyaslama yapabilmek, deney düzeneğinde hem değiştirilebilen hem de sabit olan parametrelerin değişimine olanak tanıyarak farklı şartlarda kiriş davranışını incelemek amaçlandı. Ekran görüntüsü Şekil 10'da verilen yazılımda kiriş uzunluğu, sol ve sağ mesnetin dönme rijitlikleri, uygulanan yük değeri, kiriş genişliği ve yüksekliği değiştirilebilmektedir. Girilen parametrelere göre kirişin şekil değiştirmiş hali verilen büyütme katsayısı ile büyütülerek çizilmekte, ayrıca kiriş boyunca istenilen herhangi bir noktadaki deplasman ve dönme değerleri okunabilmektedir. Elastik eğri ile birlikte kesme kuvveti ve moment diyagramları çizilmekte, yine kiriş boyunca istenilen herhangi bir noktadaki kesme kuvveti ve moment değerleri okunabilmektedir.



Şekil 10 – Geliştirilen yazılıma ait ekran görüntüsü

5.Sonuç

Bu çalışmada kiriş uç mesnetlenme şartı mafsal (sabit mesnet), rijit (ankastre mesnet) veya bu iki sınır durumun arasında olan kirişlerin davranışlarının deneysel olarak gözlemlenmesi ve irdelenmesi amacıyla bir deney düzeneği geliştirildi. Düzenek inşaat mühendisliği lisans ders planlarında yer alan statik, mukavemet, yapı statiği gibi temel derslerle birlikte lisansüstü seviyesinde ileri yapısal analiz gibi birden çok derste kullanılabilecek şekilde tasarlandı. Bu çalışmada öğrencilerin ders kitaplarında gördükleri ve derslerde öğrendikleri bilgileri interaktif

biçimde uygulayarak ve görerek anlamaları ve nihayetinde teorik hesaplarla elde ettikleri sonuçları gerçek bir yapı örneğinde ölçüm alarak elde ettikleri verilerle kıyaslayarak irdelemeleri amaçlanmıştır.

Çalışmada ayrıca farklı mesnet koşullarında kirişin elastik eğrisini ayrıca kiriş boyunca momentin değişimini veren denklemler türetildi. Deney sonuçlarının analitik sonuçlarla kıyaslaması yapıldığında ikisi arasında uyum gözlemlendi. Bunların yanı sıra kiriş boyu, mesnet rijitlikleri, uygulanan yük, kiriş genişliği ve yüksekliği gibi parametrelerin farklı değerleri için kirişin elastik eğrisini, moment ve kesme kuvveti diyagramlarını verecek bir bilgisayar programı geliştirildi. Bu programla öğrencilerin her bir parametrenin sonuçlara olan etkisini irdeleyerek davranışı daha iyi anlaması amaçlandı.

Kaynaklar

Astaneh-Asl, A. (1995). Seismic design of bolted steel moment-resisting frames. [Moraga, CA]: Structural Steel Educational Council.

Demirdag, O. and Catal, H. (2007). Earthquake response of semi-rigid supported single storey frames modeled as continuous system. Structural Engineering and Mechanics, 25(6), pp.767-770.

Geschwindner LF, Disque RO (2005) Flexible moment connections for unbraced frames subject to lateral forces-a return to simplicity. Eng J AISC 42(2):99–112

Köseoğlu A. (2013) Afinite element model for partially restrained steel beam tocolumn connections. Civil engineering. Ankara: Middle East Technical University.

Numerical Algorithms for System Identification of Benchmark Steel Bridge

Sertaç TUHTA[1], Furkan GÜNDAY[2], Hakan AYDIN[3]

[1,2,3] Department of Civil Engineering, Ondokuz Mayis University, Turkey

Emails: stuhta@omu.edu.tr, furkan.gunday@omu.edu.tr, hakanaydin@ilkadim.bel.tr

Abstract

In this paper, a new structural identification tool is proposed to identify the modal properties of structures. At last, after collecting modal responses from the available sensors, the mode shape vector for each of the decomposed modes in the system is identified from all obtained modal response data. To demonstrate the efficiency of the algorithm, a series of numerical, and laboratory studies were evaluated. The laboratory case study utilized the vibration response of a benchmark steel bridge. The modal properties of the benchmark steel bridge were computed using analytical approach for a comparison with the experimental modal frequencies. Results demonstrated that N4SID system identification method is efficient and accurate in identifying modal data of the structures.

Keyword(s): N4SID, System Identification, Modal data identification, Numerical Algorithms, Steel Bridge

1. Introduction

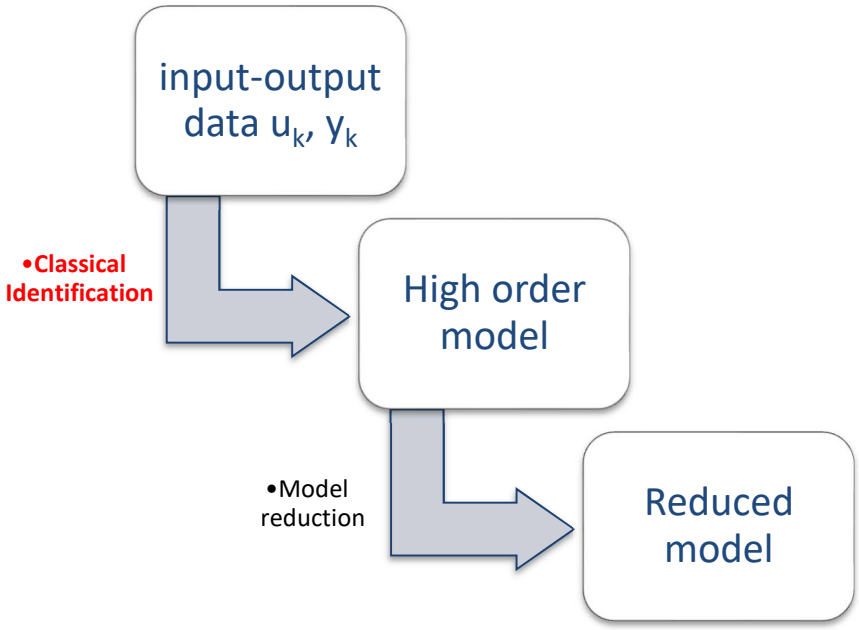
Most of structures located in regions prone to earthquake hazards suffer from various types of destruction caused by seismic loads. Under such earthquake occurring, the parts (especially the columns) of building structures suffer damage. Looking on the other side, especially considering the performance of such buildings under seismic occurrence, there is a great need to strengthen the columns even without changing their building masses; this clearly shows that there is a need to investigate the connection between technical repairing or strengthening procedures and the column capacity. In this understanding, more researches are being conducted to get required performance of structures under seismic loading, by means of looking at different point of view and directions. (Tuhta S., Gunday F., Aydın H., 2019).

System identification (SI) is a modeling process for an unknown system based on a set of input outputs and is used in various engineering fields. (Sirca and Adeli, 2012). Subspace system identification is introduced as a powerful black-box system identification tool for structures. The application of the method for supporting excited structures is emphasized in

particular. The black- box state- space models derived from the identification of subspace systems are used to estimate the modal properties (i.e. modal damping, modal frequency and mode shapes) of the structures (Kim, 2011).

In engineering structures, three types of identification are used: modal identification of parameters; structural-modal identification of parameters; control model identification methods. In the frequency domain the identification is based on the unique value decomposition of the spectral density matrix and it is denoted Frequency Domain Decomposition (FDD) and its further development Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) (Kasimzade ve Tuhta, 2012).

In the time domain there are three different implementations of the Stochastic Subspace Identification (SSI) technique: Unweight Principal Component (UPC); Principal component (PC); Canonical Variety Analysis (CVA) are used (Kasimzade ve Tuhta, 2012).



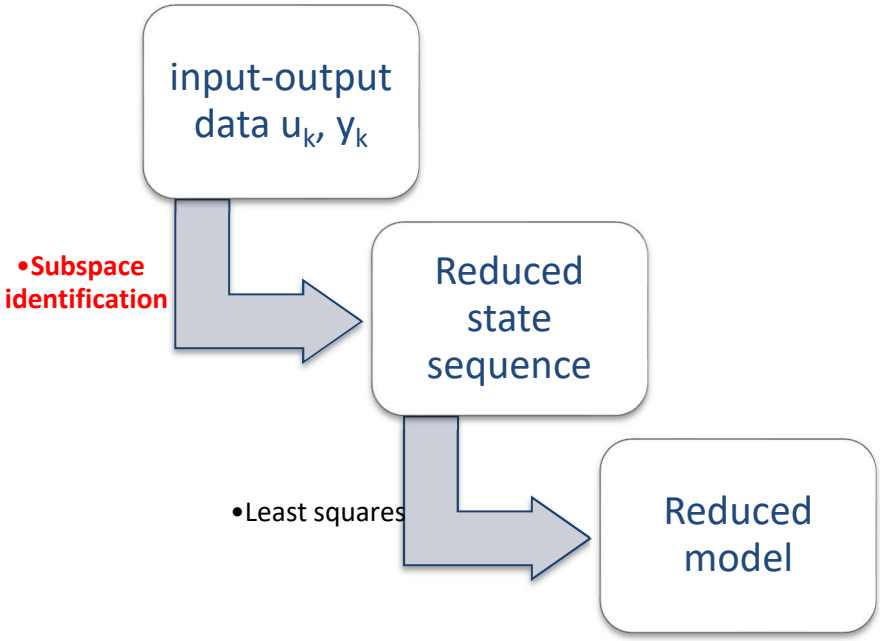


Figure 1 - System İdentification Aims to Create İnput - Output Data State Space Models

When a reduced order model is required, one first identifies a high order model in some classical approaches (on the right) and then applies a model reduction technique to obtain a low order model. The left side shows the subspace identification approach: first we obtain a "reduced" status sequence, after which a low order model can be identified directly. (Overschee and Moor, 1996).

In this paper, the problem of multiple degrees of free structural systems without a limited number of elements was investigated. As known for similar type systems the system matrices [m], [c], [k] may be built only by FEM and the equation of motion for a finite-dimensional linear-dynamic system a set of n2 second-order differential equations are arranged as

$$[m]\{\ddot{u}(t)\} + [c]\{\dot{u}(t)\} + [k]\{u(t)\} = [d]\{f_{\oplus}\,(t)\} \qquad \text{(Eq. 1a)}$$

Here the direct stiffness method was used for implementation in the finite element method and appropriately was build system mass, damping and stiffness matrices ($[m]$; $[c]$; $[k]$). For example, The FEM implementing system stiffness matrix [k] is shown as follows by the direct stiffness method:

$$[\bar{k}_r] -> [\bar{\bar{k}}_r] = [C_r][\bar{k}_r][C_r]^T -> [\bar{\bar{k}}_{r+}] = [\tau_r]^T[\bar{\bar{k}}_r][\tau_r] -> [k.]$$
$$= \sum_{r=1}^{r.} [\bar{\bar{k}}_{r+}] -> a.b.c. -> [k] \quad \text{(Eq. 1b)}$$

where, $[\bar{k}r]$ is the element stiffness matrix in local coordinate system (c.s.) for *r*-th finite element, $[\bar{\bar{k}}r]$ is the element stiffness matrix in global coordinate system for *r*-th finite element,

[*Cr*] is the coordinate transformation matrix from local to global c.s. for *r*-th finite element,

$[\tau_r]$ is the topology matrix for *r*-th finite element, *a.b.c.* is abbreviation "mean after application of boundary conditions", r_* is a number of identical finite elements examined system,

[*k*] is the stiffness matrix of the in examined system in global c.s. The main relationships of the FEM are based on the Lagrange principle of variation.

The equation of motion (1) are transformed to the state-space former of first order equations-i.e., a continuous-time state-space model of the system are evaluated as

$$\{\dot{z}(t)\} = [A_c]\{z(t)\} + [B_c]\{f_{\oplus}(t)\} \quad \text{(Eq. 2a)}$$

$$[A_c] = \begin{bmatrix} [0] & [I] \\ -[m]^{-1}[k] & -[m]^{-1}[c] \end{bmatrix} \quad \text{(Eq. 2b)}$$

$$[B_c] = \begin{bmatrix} [0] \\ [m]^{-1}[d] \end{bmatrix} \quad \text{(Eq. 2c)}$$

$$\{z(t)\} = \begin{bmatrix} u(t) \\ \dot{u}(t) \end{bmatrix} \quad \text{(Eq. 2d)}$$

If the response of the dynamic system is measured by the m_1 output quantities in the output vector $\{y(t)\}$ using sensors (such as accelerometers, velocity, displacements, etc.,), for system model represented by the equations (2), appropriate measurement-output equation become as

$$\{y(t)\} = [C_a]\{\ddot{u}\} + [C_v]\{\dot{u}\} + [C_d]\{u\} = [C]\{z(t)\} + [D]\{f_{\oplus}(t)\} \quad \text{(Eq.3a)}$$

$$[C] = [\,[C_d] - [C_a][m]^{-1}[k], \qquad [C_v] - [C_a][m]^{-1}[c]\,] \quad \text{(Eq.3b)}$$

$$[D] = [C_a][m]^{-1}[d] \quad \text{(Eq. 3c}$$

Where $\{u\}$ is the vector of displacement; [*Ac*], is an n_1 ($n1 = 2n_2$; n_2 is the number of in depended coordinates) by n_1 state matrix ; [d] is an n_2 by r_1 input infuence matrix, characterizing the locations and type of known inputs $\{f_{\oplus}(t)\}$; $[Ca]$; $[Cv]$; $[Cd]$ are output influence matrices for acceleration, velocity, displacement for using sensors (such as accelerometers, tachometers, strain gages, etc.,) respectively; [C] is an $m_1\, x\, n_1$ output influence matrix for the state vector $\{z\}$ and displacement only; [D] is an $m_1\, x\, r_1$ direct transmission matrix; r_1 is the number of inputs; m_1 is the number of outputs.

In the output - only modal analysis environment, the main assumption is that input force $\{F\,(t)\} = [d]\left\{f_{\oplus}(t)\right\}$ comes from white noise or time impulse excitation. Under this hypothesis discrete-time stochastic state {space model may be written as:

$$\{z_{k+1}\} = [A]\{z_k\} + [B]\{f_{\oplus k}\} + \{w_k\} \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$\{y_k\} = [C]\{z_k\} + [D]\{f_{\oplus k}\} + \{v_k\} \quad \text{(Eq. 5)}$$

where $\{z_k\} = \{z(k\Delta t)\}$ is the discrete-time state vector; is the process noise due to disturbance and modeling imperfections; $\{v_k\}$ is the measurement noise due to sensors' inaccuracies; $\{w_k\}, \{v_k\}$ vectors are non-measurable, but assumed that they are white noise with zero mean.

If this white noise assumption is violated, in other words if the input contains also some dominant frequency components in addition to white noise, these frequency components cannot be separated from the eigen frequencies of the system and they will appear as eigenvalues of the system matrix [*A*].

In the real structures, exited by ambient vibration, the input $\{f_{\oplus}\,(t)\}, \left\{f_{\oplus k}\right\}$remains unmeasured and therefore it disappears from the equations (2)-(5) respectively. Then to take into consideration this fact, the input is implicitly modeled by the noise terms$\left\{\underline{w}_k\right\}\left\{\underline{v}_k\right\}$, which are indirectly contain no measurable input from ambient vibration and mentioned relation became as:

$$\{z_{k+1}\} = [A]\{z_k\} + \left\{\underline{w}_k\right\} \quad \text{(Eq. 6)}$$

$$\{y_k\} = [C]\{z_k\} + \left\{\underline{v}_k\right\} \quad \text{(Eq. 7)}$$

2. Description of Benchmark Steel Bridge

In this study, a steel model bridge with a width of 6.10 m and a height of 1.88 m (Fig.2) was used. The plan view of the bridge is shown in Figure 3, Figure 4, and the actual model is shown in Figure 5.

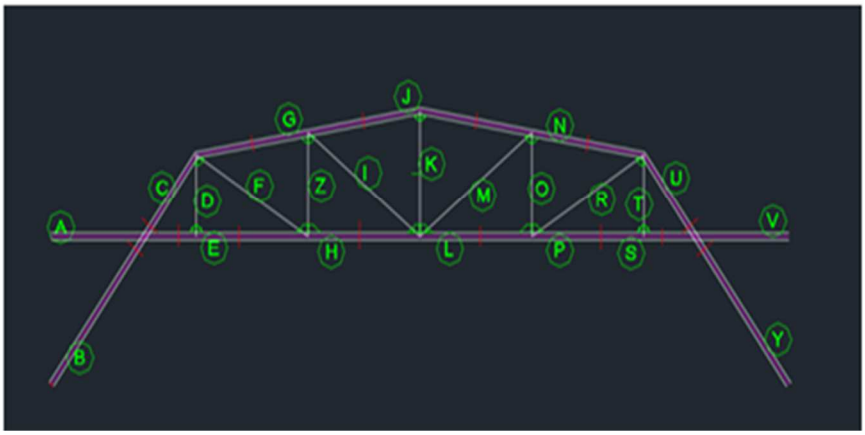


Figure 2 - Steel Bridge Facade

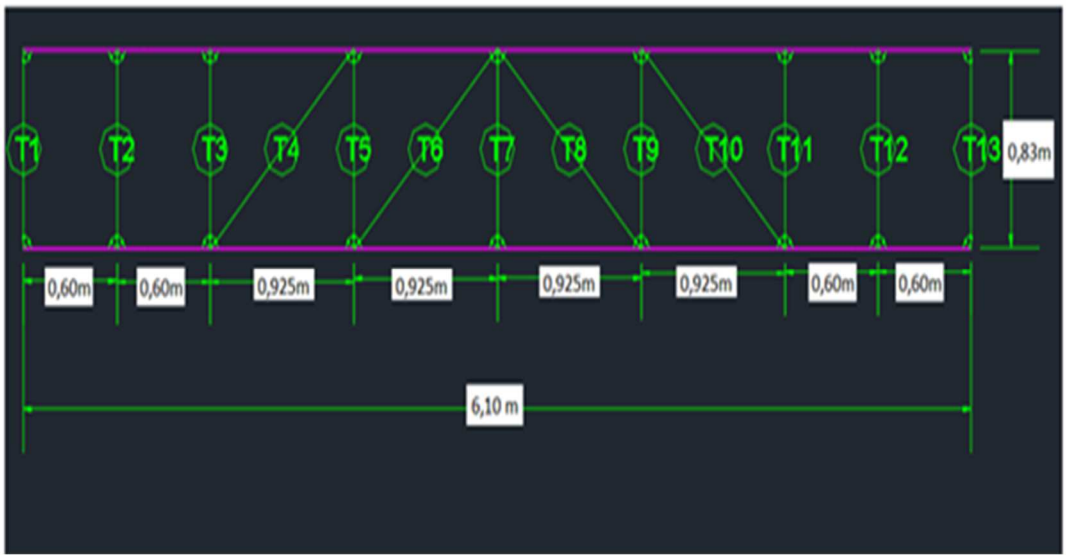


Figure 3 - Top View of Steel Bridge

Figure 4 - Steel Bridge Side View

Figure 5 - Real Steel Model Bridge

The bridge model has deformed belt geometry. The feet tilted inward in the direction of the long axis of the deck, provided the cantilevering of the end sections of the deck. 45 degree bending of the feet is provided. Fig. 6.

Figure 6 - Experimental Modal Analysis on Steel Model Bridge

3. Numerical Algorithms for System Identification Results

After analyzing the data in MATLAB using N4SID the following results are summaries in figures 7- 12.

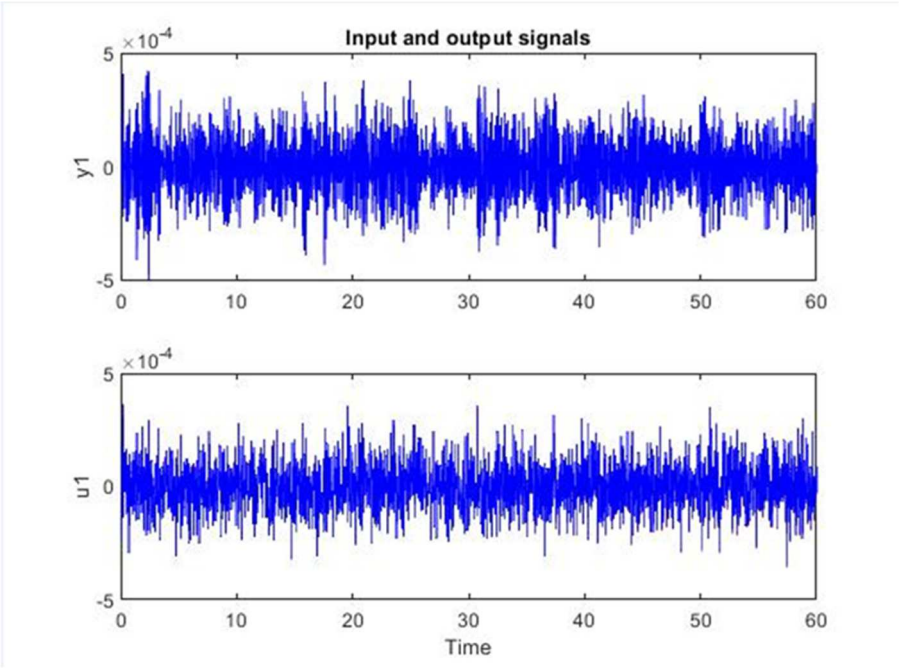


Figure 7 - İnput and Output Signals

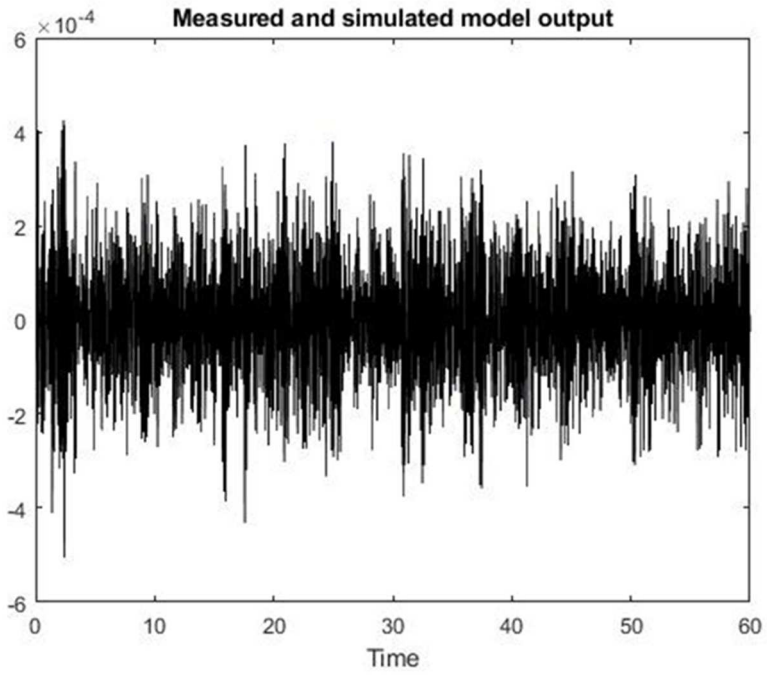


Figure 8 - Model Output

A, B, C, D and K matrices are given below;

$$A=\begin{bmatrix} -0.6693 & -0.3331 & -0.0610 & 0.0047 & 0.0044 & -0.0125 \\ 0.6185 & -0.7299 & 0.1004 & 0.0050 & 0.0020 & 0.0149 \\ 0.2179 & 0.2282 & -0.5028 & 0.7427 & 0.1046 & -0.0590 \\ 0.1776 & 0.1381 & -0.5869 & -0.6333 & 0.1906 & -0.3433 \\ -0.0241 & -0.0371 & -0.1177 & -0.0854 & 0.6977 & 0.6966 \\ -0.0050 & -0.0836 & -0.4556 & -0.1160 & -0.6652 & 0.5609 \\ -0.0693 & -0.1555 & -0.1610 & 0.0336 & 0.0516 & -0.1058 \\ -0.1005 & -0.1966 & -0.1040 & 0.0995 & 0.0821 & -0.1711 \end{bmatrix}$$

$$B=\begin{bmatrix} -123.2679 \\ -47.3286 \\ -51.0912 \\ -36.3125 \\ 7.7121 \\ 9.7514 \\ 316849 \\ 36.3173 \end{bmatrix}$$

$$C=[7.2047\text{e}-04 \quad -5.7027\text{e}-04 \quad -0.0015 \quad -9.2682\text{e}-04 \quad 0.0020 \quad 0.0047]$$

$$D = -0.5574$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.1301 \\ 1.0299 \\ -3.6308 \\ -8.6343 \\ 77.6663 \\ 25.3751 \\ 154.0032 \\ -88.7840 \end{bmatrix}$$

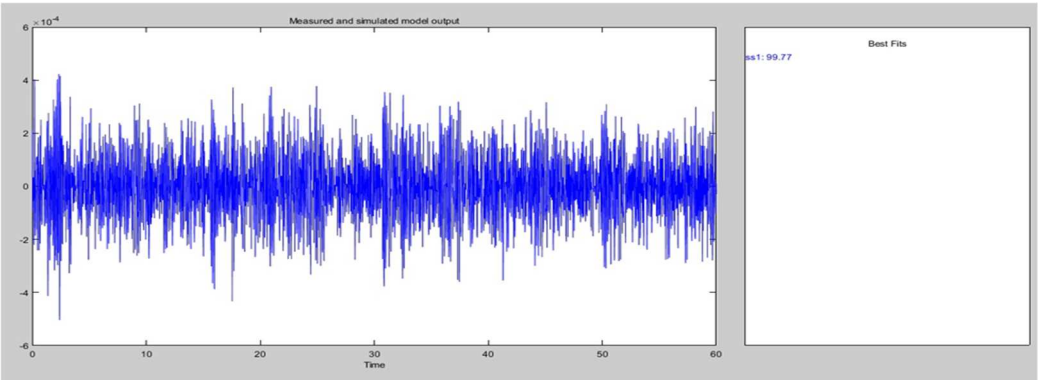


Figure 9 - Fit to Estimation Data 99.77 %

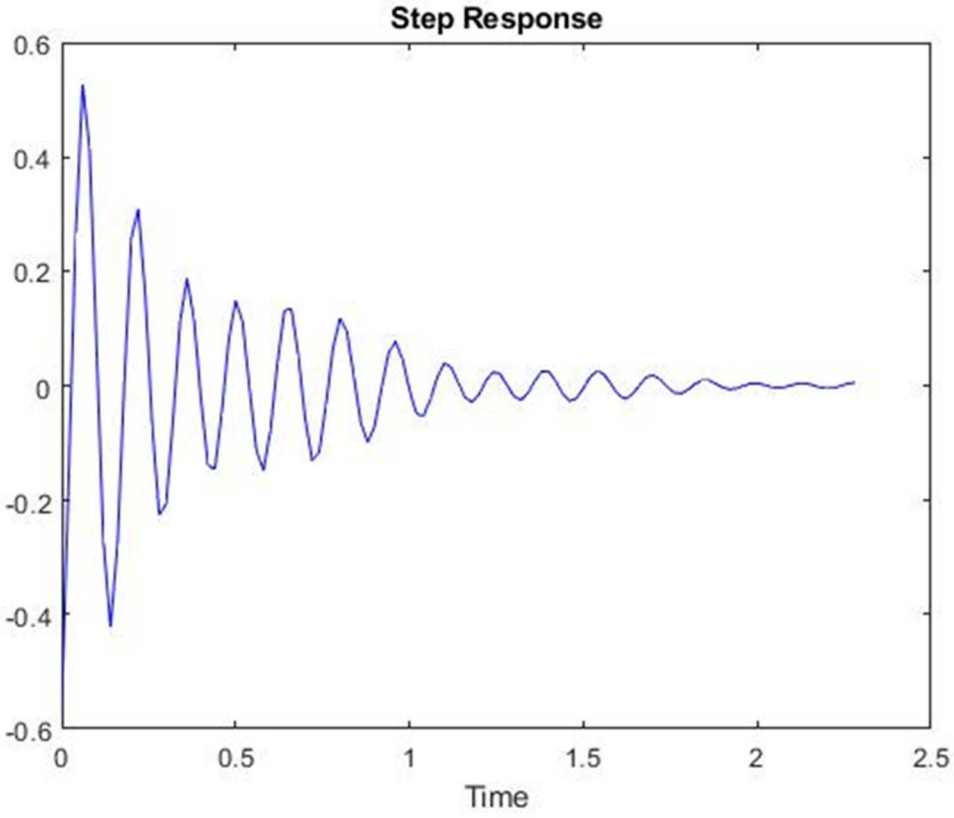


Figure 10 - Transient Response

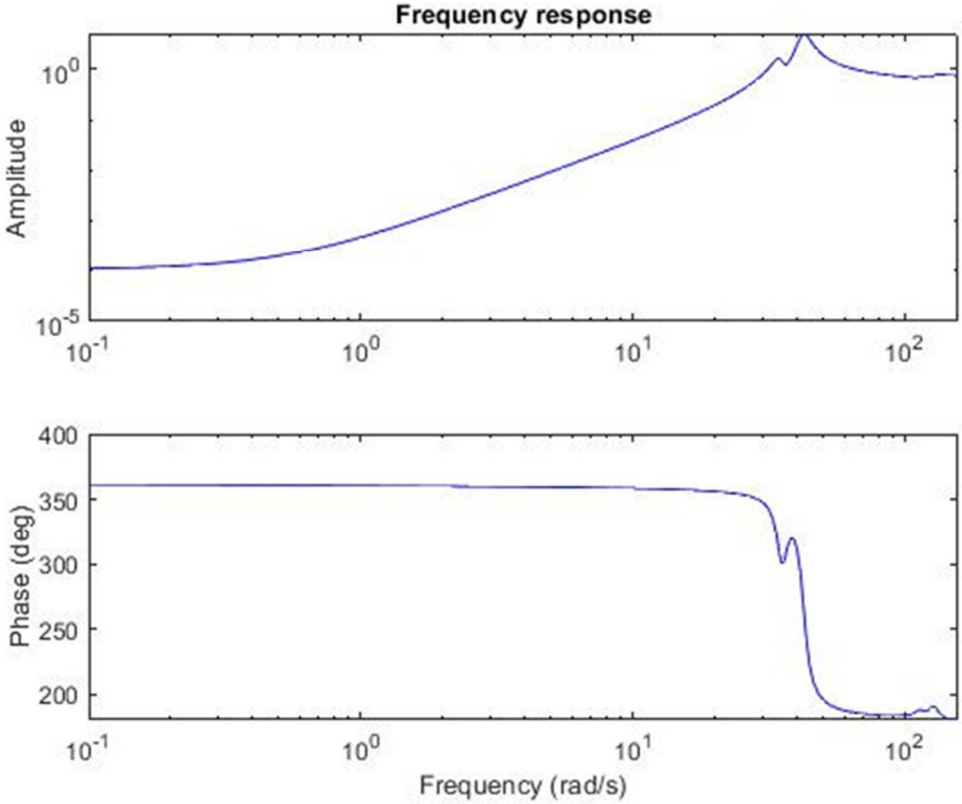


Figure 11 - Frequency Function

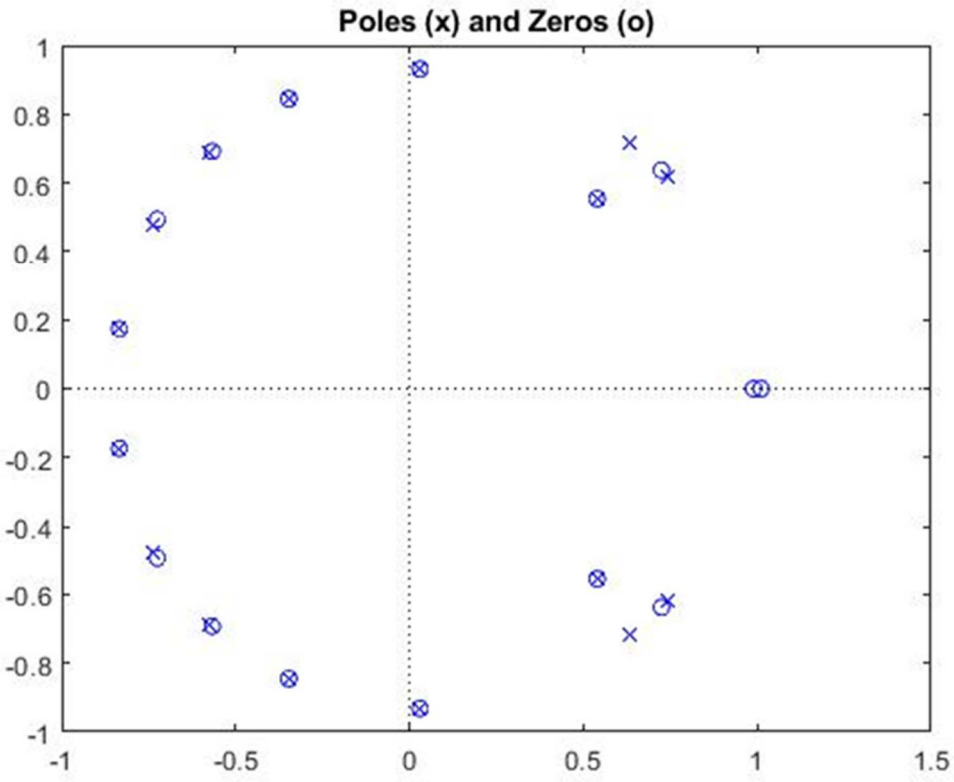


Figure 12 - Poles and Zeros

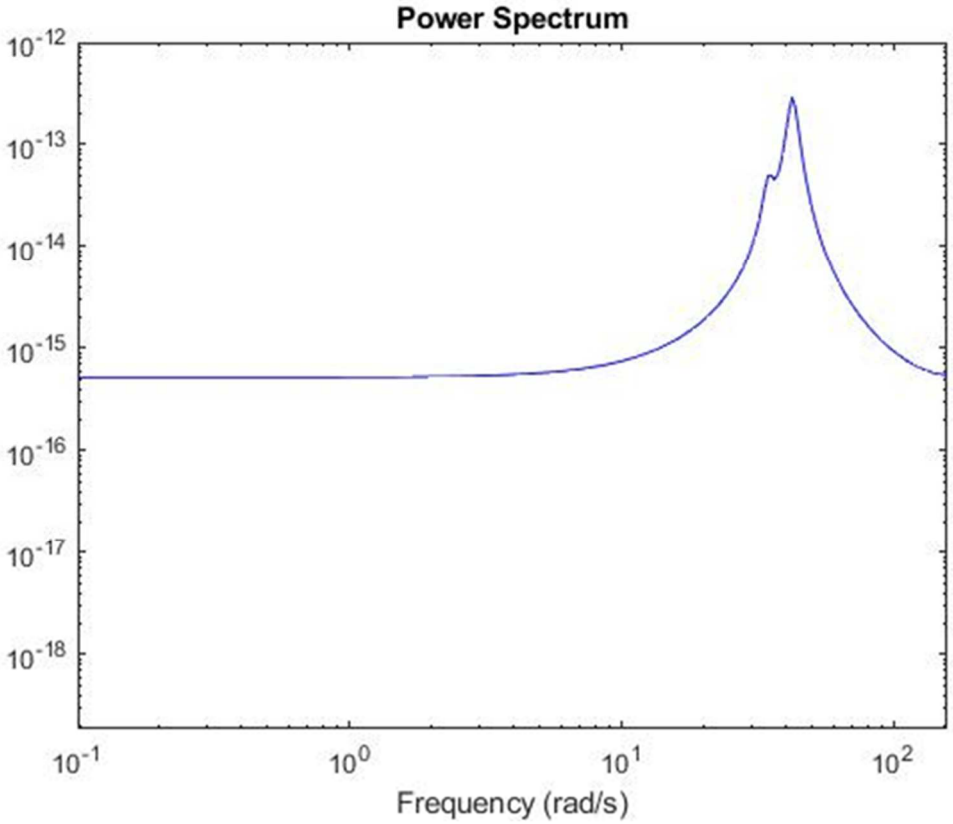


Figure 13 - Noise Spectrum

4. Conclusions

In this paper reviews the theoretical principles of subspace system identification as applied to the problem of estimating black-box state-space models of support-excited structures (e.g., structures exposed to earthquakes).The work distinguishes itself from past studies by providing readers with a powerful geometric interpretation of subspace operations that relates directly to theoretical structural dynamics.

To validate the performance of subspace system identification, a series of experiments are conducted on a benchmark steel bridge structure exposed to moderate seismic ground motions; structural response data is used off-line to estimate black-box state-space models. Ground motions and structural response measurements are used by the subspace system identification method to derive a complete input–output state-space model of the benchmark steel bridge system. The modal parameters of the structure are extracted from the estimated input–output state-space model. With the use of only structural response data, output-only state-space models of the system are also estimated by subspace system identification.

As a result, a new structural identification tool is proposed to identify the modal properties of structures. Results demonstrated that fit to estimation data was 99.77 % and it can be concluded that N4SID system identification method is efficient and accurate in identifying modal data of the benchmark steel bridges

References

1. Tuhta.S., Gunday F., Aydin H., Dynamic Analysis of Model Steel Structures Retrofitted with GFRP Composites under Microtremor Vibration International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)Volume: 3 | Issue: 2 | Jan-Feb 2019
2. Tuhta.S., Alameri İ., Gunday F., Numerıcal Algorıthms N4sıd For System Identıfıcatıon Of Buıldıngs, International Journal of Advanced Research in ISSN: 2349-2819 Engineering Technology & Science, Volume-6, Issue-1 January- 2019
3. Tuhta.S., "OMA of model chimney using Bench Scale earthquake simulator," Earthquakes and Structures, vol. 16, no. 3, pp. 321–327, Mar. 2019.
4. M. Ziada, S. Tuhta, E. H. Gençbay, F. Günday, And Y. Tammam, "Analysis of Tunnel Form Building Retrofitted with CFRP using Finite Element Method," International Journal of Trend in Scientific Research and Development, pp. 0–0, Feb. 2019.
5. A. Kasımzade *Et Al.*, "A Comparative Study On Effectiveness Of Using Horasan Mortar As A Pure Friction Sliding Interface Material," *European Journal Of Engineering Research And Science*, Pp. 0–0, Feb. 2019.
6. S. Tuhta, I. Alamerı, And F. Günday, "Numerical Algorithms N4sıd For System Identification Of Buildings," International Journal Of Advanced Research İn Engineering Technology Science, Vol. 1, No. 6, Pp. 0–0, Jan. 2019.
7. Kasimzade, A.A.(2018), Yapı Dinamiği: Deprem Mühendisliği Teori ve Uygulamaları Ankara, Nobel Yayınevi, Üçüncü Baskı p.527
8. G.F. Sirca Jr., H. Adeli, System identification in structural engineering, Scientia Iranica A (2012) 19 (6), 1355–1364.
9. J. Kim, System Identification of Civil Engineering Structures through Wireless Structural Monitoring and Subspace System Identification Methods, PhD thesis, University of Michigan, 2011.
10. MATLAB and Statistics Toolbox Release 2018b, the Math Works, Inc., Natick, Massachusetts, United States.
11. P. V. Overschee and B. D. Moor, Subspace identification for linear systems theory-implementation – applications, Kluwer academic publishers Boston, London, Dordrecht, 1996.
12. A. A. Kasimzade and S. Tuhta, Stochastic parametric system identification approach for validation of finite element models: industrial Applications, TWMS Jour. Pure Appl. Math., V.3, N.1, 2012, pp.41-61.

Numerical Algorithms for System Identification of Benchmark Steel Structure

Sertaç TUHTA[1], Furkan GÜNDAY[2], Hakan AYDIN[3]

[1,2,3] Department of Civil Engineering, Ondokuz Mayis University, Turkey

Emails: stuhta@omu.edu.tr, furkan.gunday@omu.edu.tr, hakanaydin@ilkadim.bel.tr

Abstract

In this paper, a new structural identification tool is proposed to identify the modal properties of structures. At last, after collecting modal responses from the available sensors, the mode shape vector for each of the decomposed modes in the system is identified from all obtained modal response data. To demonstrate the efficiency of the algorithm, a series of numerical, and laboratory studies were evaluated. The laboratory case study utilized the vibration response of a benchmark steel structures. The modal properties of the benchmark steel structure were computed using analytical approach for a comparison with the experimental modal frequencies. Results demonstrated that N4SID system identification method is efficient and accurate in identifying modal data of the structures.

Keyword(s): N4SID, System Identification, Modal data identification, Numerical Algorithms, Steel Structures

1. Introduction

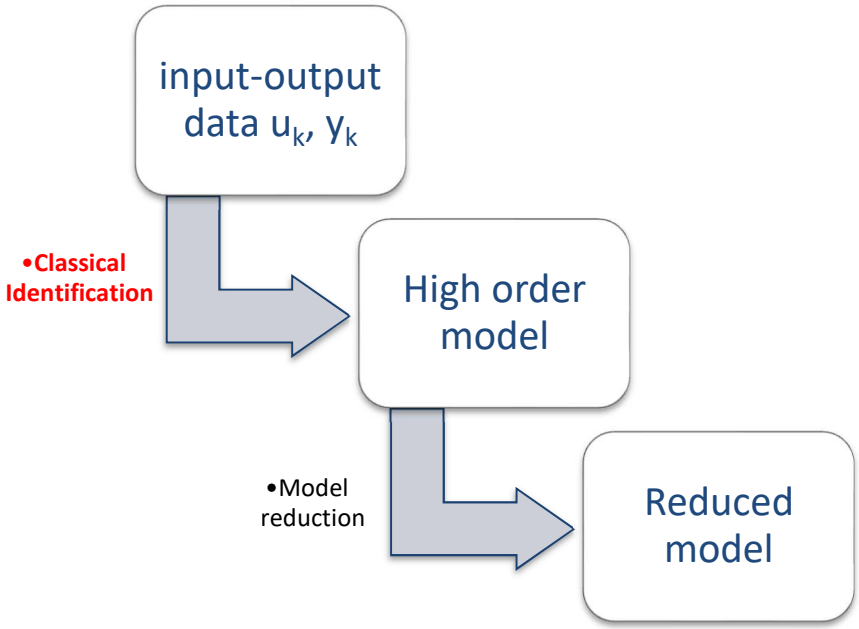
Most of structures located in regions prone to earthquake hazards suffer from various types of destruction caused by seismic loads. Under such earthquake occurring, the parts (especially the columns) of building structures suffer damage. Looking on the other side, especially considering the performance of such buildings under seismic occurrence, there is a great need to strengthen the columns even without changing their building masses; this clearly shows that there is a need to investigate the connection between technical repairing or strengthening procedures and the column capacity. In this understanding, more researches are being conducted to get required performance of structures under seismic loading, by means of looking at different point of view and directions. (Tuhta S.,Gunday F.,Aydın H.,2019).

System identification (SI) is a modeling process for an unknown system based on a set of input outputs and is used in various engineering fields. (Sirca and Adeli, 2012). Subspace system identification is introduced as a powerful black-box system identification tool for

structures. The application of the method for supporting excited structures is emphasized in particular. The black- box state- space models derived from the identification of subspace systems are used to estimate the modal properties (i.e. modal damping, modal frequency and mode shapes) of the structures (Kim, 2011).

In engineering structures, three types of identification are used: modal identification of parameters; structural-modal identification of parameters; control model identification methods. In the frequency domain the identification is based on the unique value decomposition of the spectral density matrix and it is denoted Frequency Domain Decomposition (FDD) and its further development Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) (Kasimzade ve Tuhta, 2012).

In the time domain there are three different implementations of the Stochastic Subspace Identification (SSI) technique: Unweight Principal Component (UPC); Principal component (PC); Canonical Variety Analysis (CVA) are used (Kasimzade ve Tuhta, 2012).



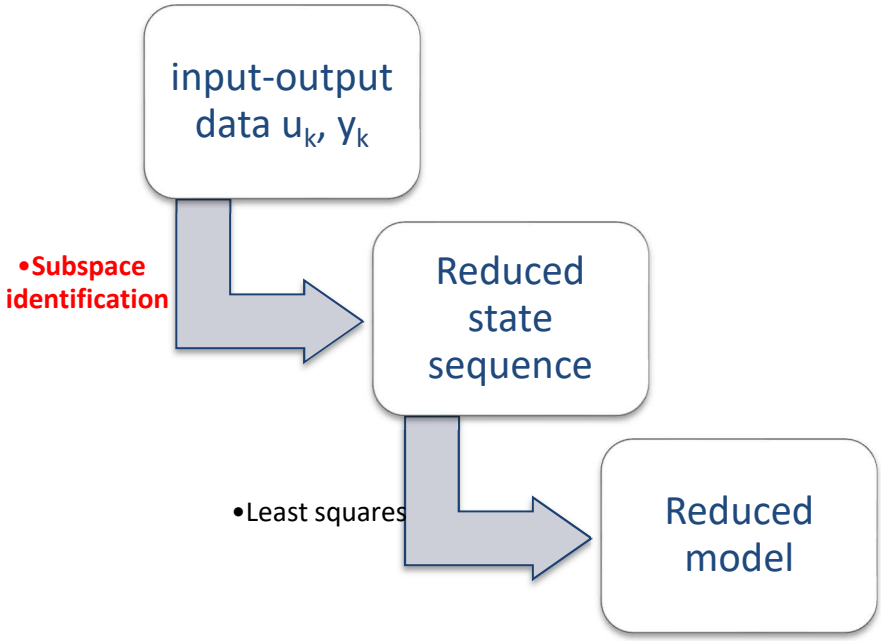


Figure 1 - System İdentification Aims to Create İnput - Output Data State Space Models

When a reduced order model is required, one first identifies a high order model in some classical approaches (on the right) and then applies a model reduction technique to obtain a low order model. The left side shows the subspace identification approach: first we obtain a "reduced" status sequence, after which a low order model can be identified directly. (Overschee and Moor, 1996).

In this paper, the problem of multiple degrees of free structural systems without a limited number of elements was investigated. As known for similar type systems the system matrices [m], [c], [k] may be built only by FEM and the equation of motion for a finite-dimensional linear-dynamic system a set of n2 second-order differential equations are arranged as

$$[m]\{\ddot{u}(t)\} + [c]\{\dot{u}(t)\} + [k]\{u(t)\} = [d]\{f_{\oplus}(t)\} \qquad \text{(Eq. 1a)}$$

Here the direct stiffness method was used for implementation in the finite element method and appropriately was build system mass, damping and stiffness matrices ($[m]$; $[c]$; $[k]$). For example, The FEM implementing system stiffness matrix [k] is shown as follows by the direct stiffness method:

$$[\bar{k}_r] \rightarrow [\bar{\bar{k}}_r] = [C_r][\bar{k}_r][C_r]^T \rightarrow [\bar{\bar{k}}_{r+}] = [\tau_r]^T[\bar{\bar{k}}_r][\tau_r] \rightarrow [k.]$$
$$= \sum_{r=1}^{r.} [\bar{\bar{k}}_{r+}] \rightarrow a.b.c. \rightarrow [k] \qquad \text{(Eq. 1b)}$$

where, $[\bar{k}r]$ is the element stiffness matrix in local coordinate system (c.s.) for *r*-th finite element, $[\bar{\bar{k}}r]$ is the element stiffness matrix in global coordinate system for *r*-th finite element,

[*Cr*] is the coordinate transformation matrix from local to global c.s. for *r*-th finite element,

$[\tau_r]$ is the topology matrix for *r*-th finite element, *a.b.c.* is abbreviation "mean after application of boundary conditions", r_* is a number of identical finite elements examined system,

[*k*] is the stiffness matrix of the in examined system in global c.s. The main relationships of the FEM are based on the Lagrange principle of variation.

The equation of motion (1) are transformed to the state-space former of first order equations-i.e., a continuous-time state-space model of the system are evaluated as

$$\{\dot{z}(t)\} = [A_c]\{z(t)\} + [B_c]\{f_{\oplus}(t)\} \qquad \text{(Eq. 2a)}$$

$$[A_c] = \begin{bmatrix} [0] & [I] \\ -[m]^{-1}[k] & -[m]^{-1}[c] \end{bmatrix} \qquad \text{(Eq. 2b)}$$

$$[B_c] = \begin{bmatrix} [0] \\ [m]^{-1}[d] \end{bmatrix} \qquad \text{(Eq. 2c)}$$

$$\{z(t)\} = \begin{bmatrix} u(t) \\ \dot{u}(t) \end{bmatrix} \qquad \text{(Eq. 2d)}$$

If the response of the dynamic system is measured by the m_1 output quantities in the output vector $\{y(t)\}$ using sensors (such as accelerometers, velocity, displacements, etc.,), for system model represented by the equations (2), appropriate measurement-output equation become as

$$\{y(t)\} = [C_a]\{\ddot{u}\} + [C_v]\{\dot{u}\} + [C_d]\{u\} = [C]\{z(t)\} + [D]\{f_{\oplus}(t)\} \qquad \text{(Eq.3a)}$$

$$[C] = [\,[C_d] - [C_a][m]^{-1}[k], \qquad [C_v] - [C_a][m]^{-1}[c]\,] \qquad \text{(Eq.3b)}$$

$$[D] = [C_a][m]^{-1}[d] \qquad \text{(Eq. 3c)}$$

Where $\{u\}$ is the vector of displacement; [*Ac*], is an n_1 ($n1 = 2n_2$; n_2 is the number of independed coordinates) by n_1 state matrix ; [d] is an n_2 by r_1 input infuence matrix, characterizing the locations and type of known inputs $\{f_{\oplus}(t)\}$; $[Ca]$; $[Cv]$; $[Cd]$ are output influence matrices for acceleration, velocity, displacement for using sensors (such as accelerometers, tachometers, strain gages, etc.,) respectively; [*C*] is an $m_1\, x\, n_1$ output influence matrix for the state vector $\{z\}$ and displacement only; [*D*] is an $m_1\, x\, r_1$ direct transmission matrix; r_1 is the number of inputs; m_1 is the number of outputs.

In the output - only modal analysis environment, the main assumption is that input force $\{F\,(t)\} = [d]\left\{f_{\oplus}(t)\right\}$ comes from white noise or time impulse excitation. Under this hypothesis discrete-time stochastic state {space model may be written as:

$$\{z_{k+1}\} = [A]\{z_k\} + [B]\{f_{\oplus k}\} + \{w_k\} \quad \text{(Eq. 4)}$$

$$\{y_k\} = [C]\{z_k\} + [D]\{f_{\oplus k}\} + \{v_k\} \quad \text{(Eq. 5)}$$

where $\{z_k\} = \{z(k\Delta t)\}$ is the discrete-time state vector; is the process noise due to disturbance and modeling imperfections; $\{v_k\}$ is the measurement noise due to sensors' inaccuracies; $\{w_k\}, \{v_k\}$ vectors are non-measurable, but assumed that they are white noise with zero mean.

If this white noise assumption is violated, in other words if the input contains also some dominant frequency components in addition to white noise, these frequency components cannot be separated from the eigen frequencies of the system and they will appear as eigenvalues of the system matrix [*A*].

In the real structures, exited by ambient vibration, the input $\{f_{\oplus}\,(t)\}, \left\{f_{\oplus k}\right\}$ remains unmeasured and therefore it disappears from the equations (2)-(5) respectively. Then to take into consideration this fact, the input is implicitly modeled by the noise terms $\left\{\underline{w}_k\right\}\left\{\underline{v}_k\right\}$, which are indirectly contain no measurable input from ambient vibration and mentioned relation became as:

$$\{z_{k+1}\} = [A]\{z_k\} + \left\{\underline{w}_k\right\} \quad \text{(Eq. 6)}$$

$$\{y_k\} = [C]\{z_k\} + \left\{\underline{v}_k\right\} \quad \text{(Eq. 7)}$$

2. Description of Benchmark Steel Structures

In this study, the four-story, two-span steel test structure in both directions, within the framework of the MF-046 Scientific Research Project, is located in the civil engineering experiment laboratory. In the building dimensions, each building height 1.15 m transverse

clearance is 2.5 m and the longitudinal opening is 1.5 m. A new model was created by reinforcing the existing cable structure. The cables used in strengthening are steel ropes. Cables with a diameter of 14 mm are used. The tension elements are 16 mm. The benchmark steel structure is shown in Figure 2, Figure 3 and Figure 4.

Figure 2 – Benchmark Steel Structures

Figure 3 - Experimental Modal Analysis on Benchmark Steel Structure

Figure 4 - Benchmark Steel Structure Monitored Data

4 measurements were made in the preliminary measurements and 4 data collection units were used. 1 data collection unit was used for each floor. This allows for more precise measurement and recording at the same time. In the selected frame, the formation of circumferential vibrations is taken into account and a corresponding output data is obtained. In total, 4 three-axis accelerometer and 4 single-axis reference accelerometers were used.

3. Numerical Algorithms for System Identification Results

After analyzing the data in MATLAP using N4SID the following results are summaries in figures 5- 11.

They were examined respectively;

- İnput and Output Signals
- Model Output
- A, B, C, D and K matrices
- Fit to estimation data
- Transient Response
- Frequency Function
- Poles and Zeros
- Noise Spectrum

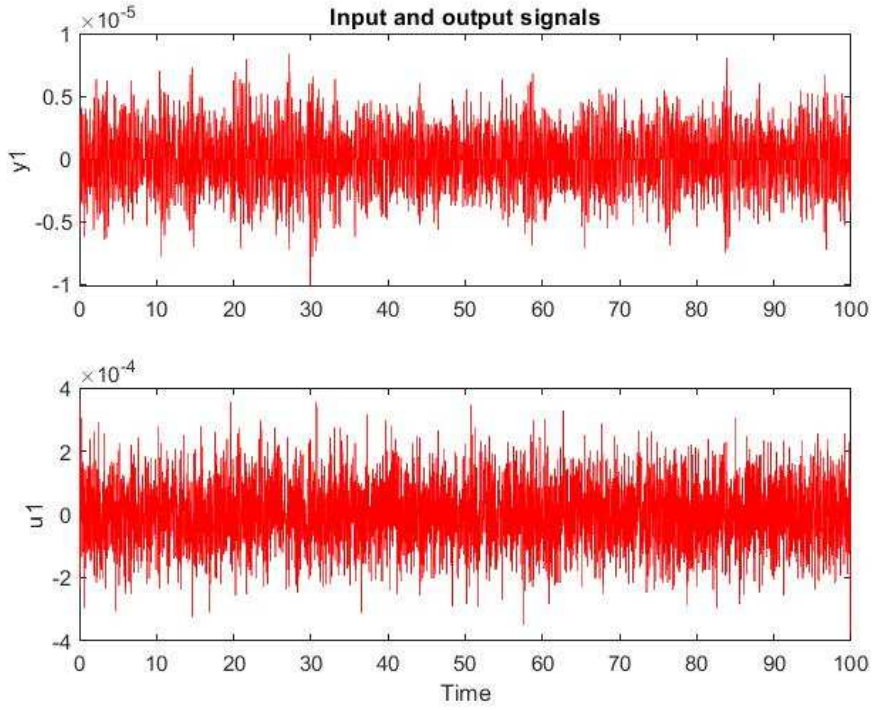


Figure 5 - İnput and Output Signals

The output-input ratio is approximately 0.025 and is shown in figure 5.

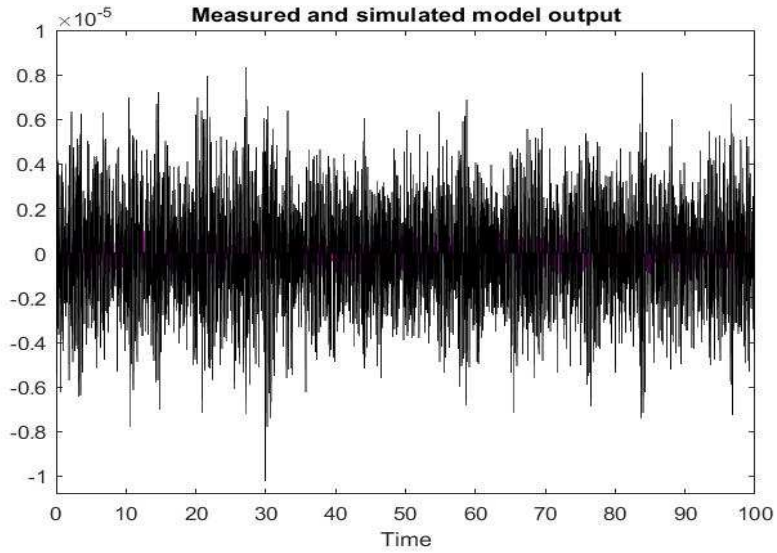


Figure 6 - Model Output

The model output ratio is approximately between 0.000008 and -0.000008 is shown in figure 6.

A, B, C, D and K matrices are given below;

$$A=\begin{bmatrix} 0.89 & 0.41 & -0.00 & -0.01 & 0.00 & -0.00 & -0.00 & 0.00 & -0.00 & 0.00 & -0.00 & 0.00 \\ -0.43 & 0.86 & 0.00 & 0.00 & -0.01 & -0.00 & -0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.00 & 0.00 & -0.02 \\ 0.00 & 0.01 & 0.29 & -0.79 & 0.00 & 0.39 & 0.05 & -0.50 & 0.00 & 0.16 & -0.00 & 0.37 \\ 0.00 & -0.00 & 0.73 & 0.13 & -0.41 & -0.03 & -0.14 & 0.15 & -0.08 & 0.01 & -0.32 & -0.13 \\ 0.00 & 0.00 & -0.16 & 0.59 & -0.08 & 0.77 & 0.06 & -0.12 & -0.10 & 0.22 & -0.15 & -0.40 \\ 0.00 & 0.00 & -0.44 & -0.10 & -0.75 & -0.22 & 0.40 & -0.31 & 0.07 & 0.01 & -0.01 & -0.24 \\ 0.00 & 0.00 & -0.12 & 0.05 & -0.06 & -0.16 & -0.82 & -0.47 & 0.07 & 0.02 & -0.17 & -0.15 \\ -0.00 & 0.00 & 0.21 & 0.24 & 0.22 & -0.25 & 0.30 & -0.60 & -0.27 & 0.44 & 0.26 & -0.08 \\ -0.00 & 0.00 & 0.02 & 0.03 & 0.00 & -0.03 & 0.01 & 0.10 & 0.75 & 0.59 & -0.08 & 0.01 \\ -0.00 & -0.00 & -0.11 & -0.03 & -0.16 & 0.03 & -0.16 & 0.19 & -0.45 & 0.60 & 0.18 & 0.57 \\ -0.00 & -0.00 & -0.01 & 0.12 & 0.02 & -0.01 & 0.08 & -0.18 & 0.05 & -0.14 & -0.55 & 0.88 \\ -0.00 & 0.00 & 0.047 & 0.12 & -0.05 & 0.07 & -0.02 & -0.16 & 0.17 & -0.20 & 0.61 & 0.39 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 17.39 \\ 38.55 \\ 0.63 \\ 0.52 \\ 3.30 \\ -0.62 \\ -0.85 \\ 0.20 \\ 0.80 \\ 0.81 \\ -0.04 \\ -0.51 \end{bmatrix}$$

$$C = [0.00 \quad 0.00 \quad 6.65 \quad 3.10 \quad -5.77 \quad -4.26 \quad 6.68 \quad -5.85 \quad 3.62 \quad -3.56 \quad 6.31 \quad 1.34]$$

$$D = -0.0124$$

$$K = [0]_{12X1}$$

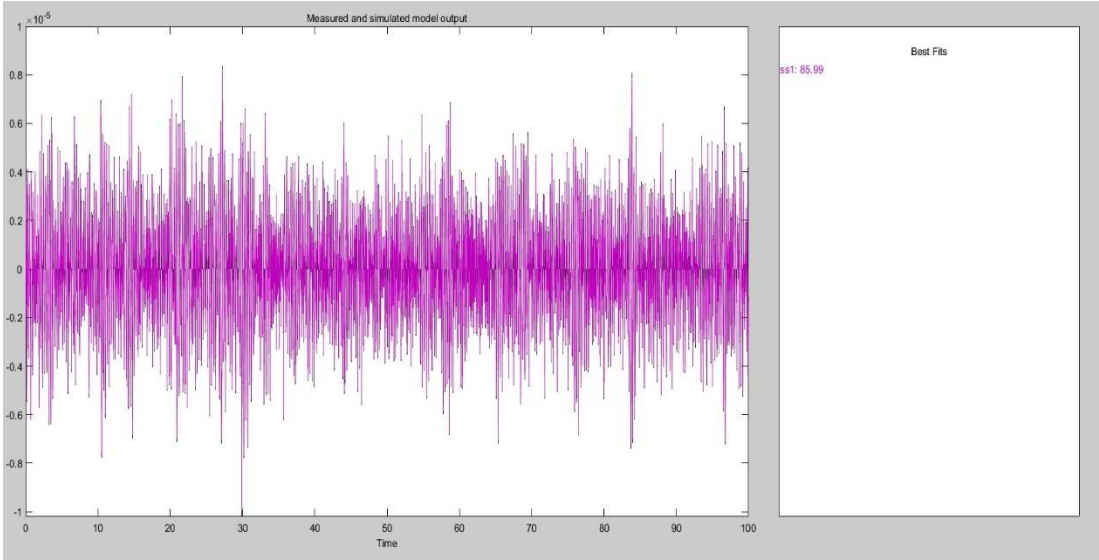


Figure 7 - Fit to Estimation Data %85.99

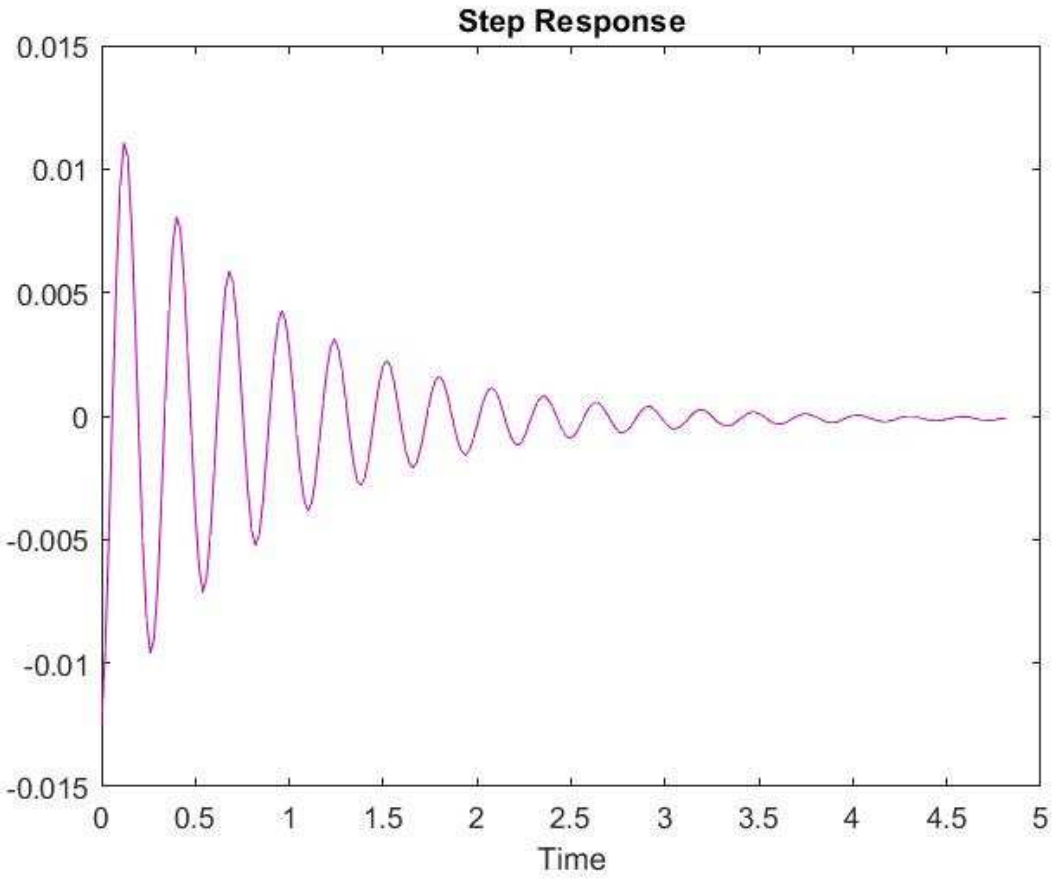


Figure 8 - Transient Response

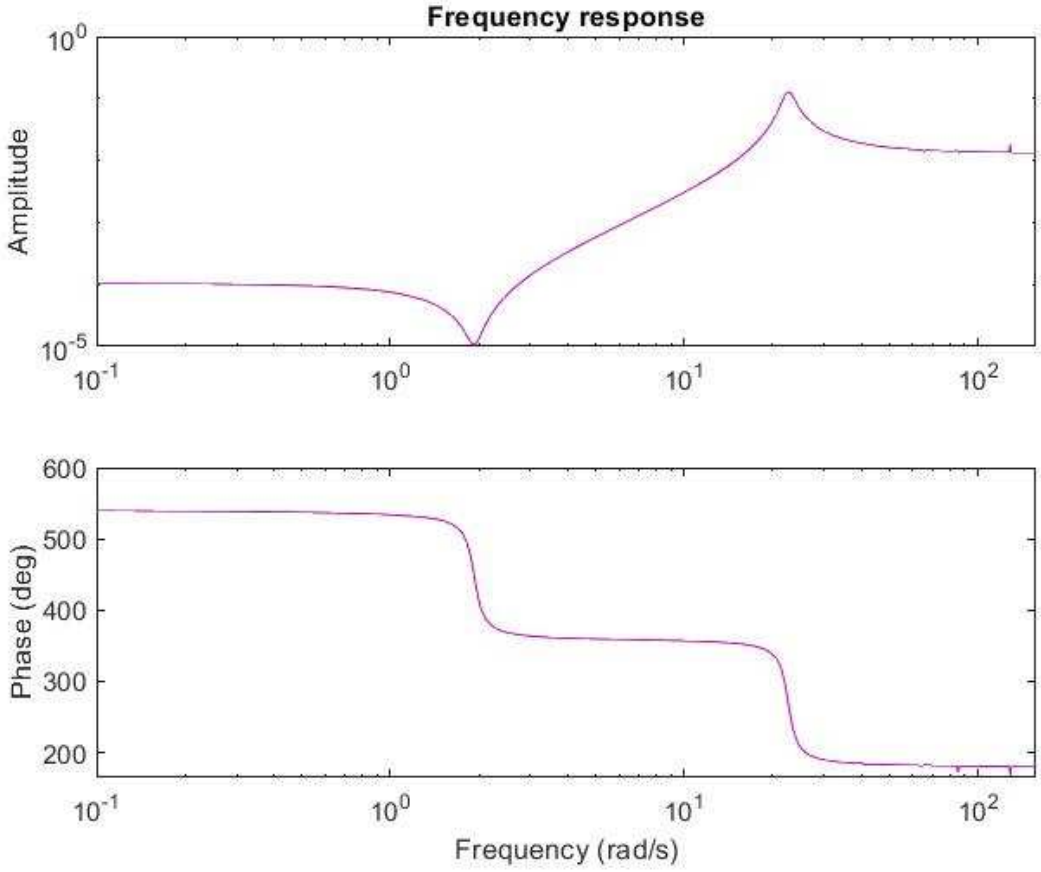


Figure 9 - Frequency Function

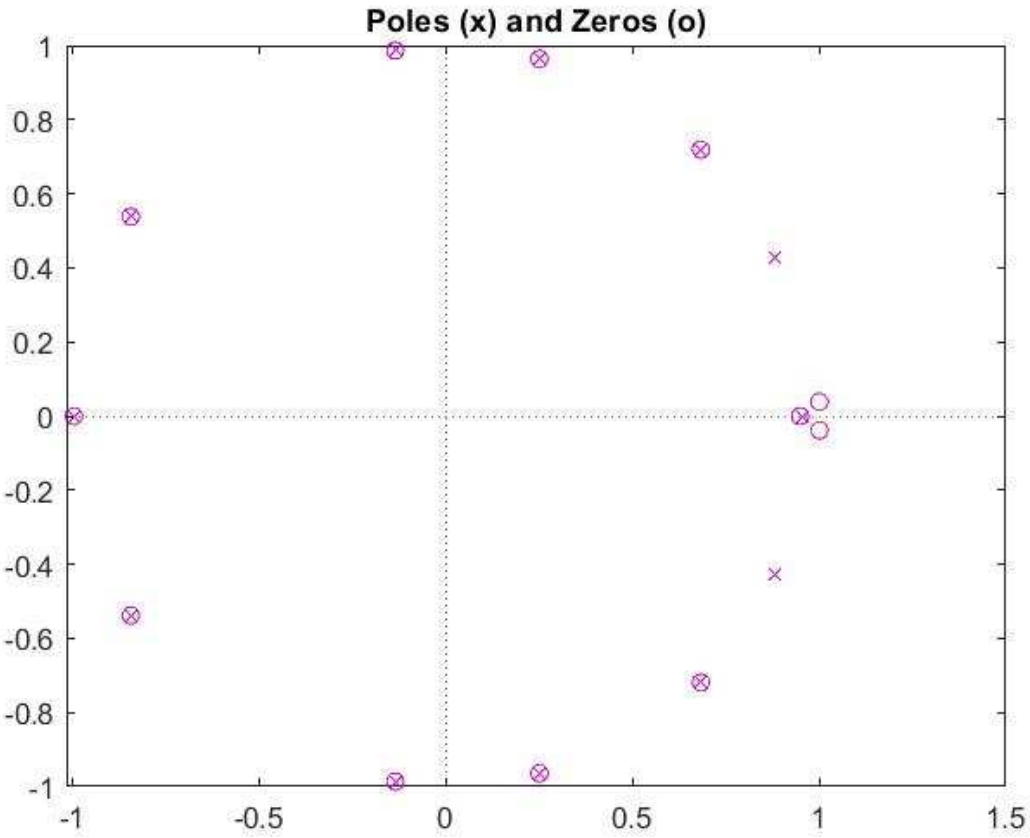


Figure 10 - Poles and Zeros

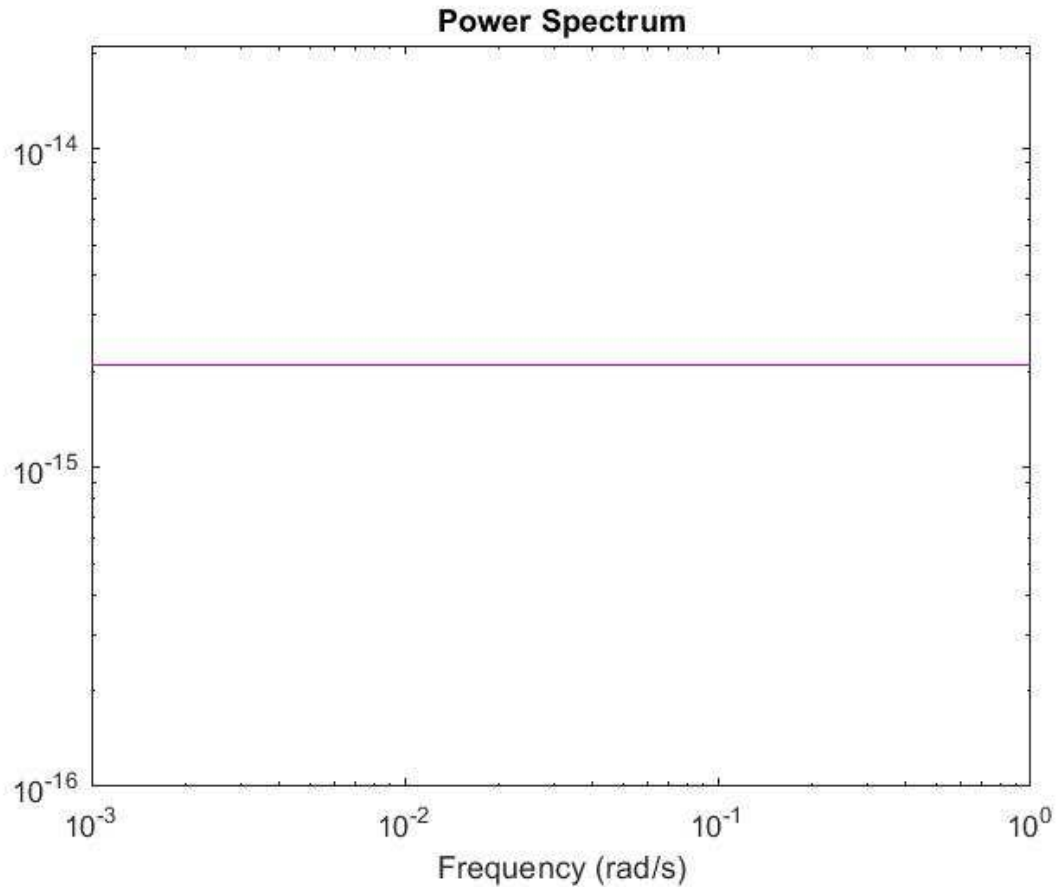


Figure 11 - Noise Spectrum

4. Conclusions

In this paper reviews the theoretical principles of subspace system identification as applied to the problem of estimating black-box state-space models of support-excited structures (e.g., structures exposed to earthquakes). The work distinguishes itself from past studies by providing readers with a powerful geometric interpretation of subspace operations that relates directly to theoretical structural dynamics.

To validate the performance of subspace system identification, a series of experiments are conducted on a benchmark steel structure exposed to moderate seismic ground motions; structural response data is used off-line to estimate black-box state-space models. Ground motions and structural response measurements are used by the subspace system identification method to derive a complete input–output state-space model of the benchmark steel structure system. The modal parameters of the structure are extracted from the estimated input–output state-space model. With the use of only structural response data, output-only state-space models of the system are also estimated by subspace system identification.

In this paper, a new structural identification tool is proposed to identify the modal properties of structures. Results demonstrated that fit to estimation data was 85.99% and it can be concluded that N4SID system identification method is efficient and accurate in identifying modal data of the benchmark steel structures.

References

1. A. A. Kasimzade and S. Tuhta, Stochastic parametric system identification approach for validation of finite element models: industrial Applications, TWMS Jour. Pure Appl. Math., V.3, N.1, 2012, pp.41-61.
2. Tuhta.S., Gunday F., Aydin H., Dynamic Analysis of Model Steel Structures Retrofitted with GFRP Composites under Microtremor Vibration International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)Volume: 3 | Issue: 2 | Jan-Feb 2019
3. Tuhta.S., Alameri İ., Gunday F., Numerıcal Algorıthms N4sıd For System Identıfıcatıon Of Buıldıngs, International Journal of Advanced Research in ISSN: 2349-2819 Engineering Technology & Science, Volume-6, Issue-1 January- 2019
4. Tuhta.S., "OMA of model chimney using Bench Scale earthquake simulator," Earthquakes and Structures, vol. 16, no. 3, pp. 321–327, Mar. 2019.
5. M. Ziada, S. Tuhta, E. H. Gençbay, F. Günday, And Y. Tammam, "Analysis of Tunnel Form Building Retrofitted with CFRP using Finite Element Method," International Journal of Trend in Scientific Research and Development, pp. 0–0, Feb. 2019.
6. A. Kasımzade *Et Al.*, "A Comparative Study On Effectiveness Of Using Horasan Mortar As A Pure Friction Sliding Interface Material," *European Journal Of Engineering Research And Science*, Pp. 0–0, Feb. 2019.
7. S. Tuhta, I. Alamerı, And F. Günday, "Numerical Algorithms N4sıd For System Identification Of Buildings," International Journal Of Advanced Research İn Engineering Technology Science, Vol. 1, No. 6, Pp. 0–0, Jan. 2019.
8. Kasimzade, A.A.(2018), Yapı Dinamiği: Deprem Mühendisliği Teori ve Uygulamaları Ankara, Nobel Yayınevi, Üçüncü Baskı p.527
9. G.F. Sirca Jr., H. Adeli, System identification in structural engineering, Scientia Iranica A (2012) 19 (6), 1355–1364.
10. J. Kim, System Identification of Civil Engineering Structures through Wireless Structural Monitoring and Subspace System Identification Methods, PhD thesis, University of Michigan, 2011.
11. MATLAB and Statistics Toolbox Release 2018b, the Math Works, Inc., Natick, Massachusetts, United States.
12. P. V. Overschee and B. D. Moor, Subspace identification for linear systems theory-implementation – applications, Kluwer academic publishers Boston, London, Dordrecht, 1996.

Nonlinear Finite Element Analysis of Different Masonry Wall Brick Bond Styles

Sedat Kömürcü[1]

[1] Department of Civil Engineering, Istanbul Technical University, Turkey
Email: komurcus@itu.edu.tr

Abstract

Masonry structures are one of the most complex structure types in terms of anisotropic properties of their masonry units and mortar assemblages. In the present study, nonlinear behaviors of masonry walls with different brick bond styles are modeled and analyzed. Heterogenous masonry modeling technique is used for modeling of masonry walls. Modeling is performed with ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.0 software. The modeling technique, the material model and the fracture hypothesis form a combination to analyze the walls numerically. Stretcher bond, English bond, Flemish bond and Stack bond masonry walls are analyzed using finite element analysis. Load-displacement curves for masonry wall assemblages are obtained. It is seen that if the interaction between the brick and mortar assumed to be bonded, the type of masonry wall brick bond style effects slightly on the strength of masonry walls. The results showed that the nonlinear numerical procedure explained in this study can be practically applicated to estimate the structural behaviors of different masonry wall assemblages.

Keyword(s): Bond type, Finite elements, Masonry wall, Nonlinear analysis

1. Introduction

Masonry structures have a significant place among all structures with their historical values. Throughout the history, engineers have investigated the effects of tension, pressure, shear and other effects on the masonry walls and have produced models to design masonry walls. There are many examples of experimental works to investigate the structural behavior of masonry walls (Raijmakers and Vermeltfoort, 1992 and 1993; Oliviera, 2003). Numerical analyzes have been carried out to control and support experimental studies. There are many numerical models and studies to analyze the masonry behavior (Lorenço, 1995; Oller, 2014; Pela, 2012; Quinteros, 2011; Kömürcü, 2017).

Modeling of masonry structures is not only necessary to evaluate the strengths of existing historical structures, but also to build modern masonry structures. Researchers used heterogeneous modeling technique to model the masonry structures (Nasiri, 2017; Abdulla, 2017). Heterogeneous models are used to include the effect of mortar and brick in the analyzes separately. In this study, nonlinear behaviors of different type masonry walls are analyzed using a continuous heterogenous model. Generating a nonlinear numerical model for masonry walls and investigation of the effect of bond styles are the focus points of this study.

2. Finite Element Models

The geometry and material properties of the modeled walls for the purpose of validation of the finite element model belong to experimental work (Raijmakers and Vermeltfoort, 1992). The modeled Stretcher, English, Flemish and Stack bond types are seen in Figure 1. Stretcher bond wall is the most widespread type for masonry wall design. This masonry wall style is known as running bond and composed of stretchers offset by half brick per course. The English bond wall style is designed with alternating courses of stretchers and headers where a header is centered above a stretcher. The Flemish bond style is designed with each header is centered on a stretcher above and below. The stack bond is not a widely used structural wall type that courses of stretchers where each stretcher is put directly above a stretcher and the joints align.

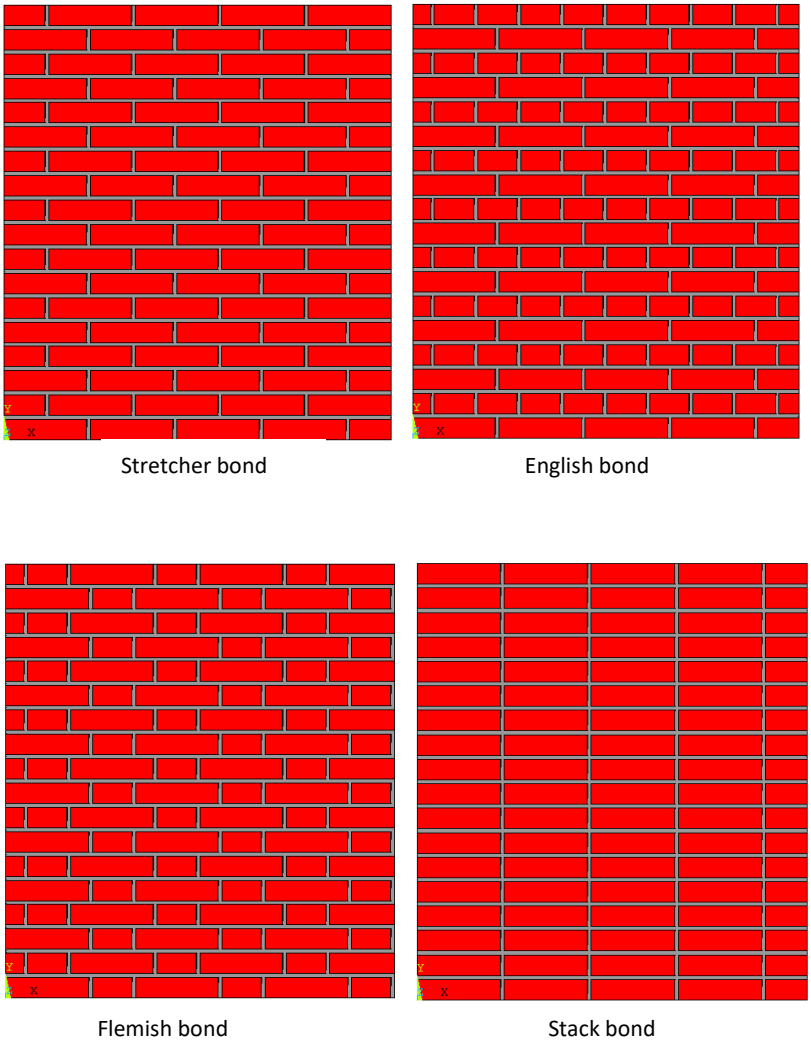


Figure 1 – Masonry wall bond styles

The Stretcher wall type is used for validation of the model. The wall with a base width of 990 mm and a height of 1000 mm and a thickness of 100 mm are formed by overlaying 18

rows of bricks using 10 mm mortar layer between bricks. The walls are constructed with using the same brick unit with different arrangements. The dimensions of brick units forming the masonry walls are a=210 mm, b=52 mm and c=100 mm (Figure 2).

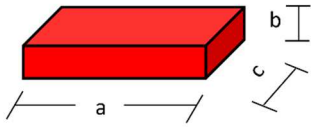


Figure 2 – Masonry unit

The Modulus of elasticity E and the Poisson ratio v of the bricks and mortar used in this study are E_b=16700 MPa, v_b=0.15 and E_m=780 MPa and v_m=0.15 respectively. The Drucker-Prager fracture criterion is applied in combination with the elastoplastic behavior model. The material parameters required to construct this model are the internal friction angle φ, dilation angle φ_d, and cohesion c of the wall. Internal friction angle and dilatation angle of masonry units are equal to $\varphi=60^0$. The cohesion value is c=0.35 MPa

The SOLID65 element with 8 node points is used for the analysis as shown in Figure 3. Each node has 3 displacement degree of freedom in x, y and z directions. It can show collapse mechanisms both tensile and compression. Brittle materials can be modeled such as rock, stone, brick, concrete etc. using this element. The element uses isotropic material type for elastic analysis. It is also a suitable element for modeling the nonlinear behavior of structures (ANSYS, 2018).

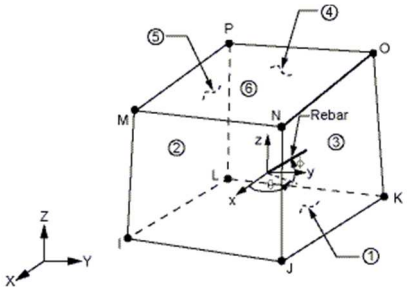


Figure 3 – SOLID65 element

Loading of the masonry walls are carried out in two stages. In the first load step (load step 1) the walls are loaded with a vertical pressure of 0.3 MPa. In the second load step (load step 2), horizontal displacement is given to the wall top nodes using displacement control. The second loading process is divided into 40 sub-steps to obtain a detailed data set.

3. Validation of the Models

The results of finite element analyze are presented in this section to see the validity of the proposed finite element procedure for the shear wall experiment. Total displacement at the end of the analyses are shown in Figure 4. Similar displacement distribution is determined between the walls. δ=4 mm displacement is applied to the upper right side of the masonry walls.

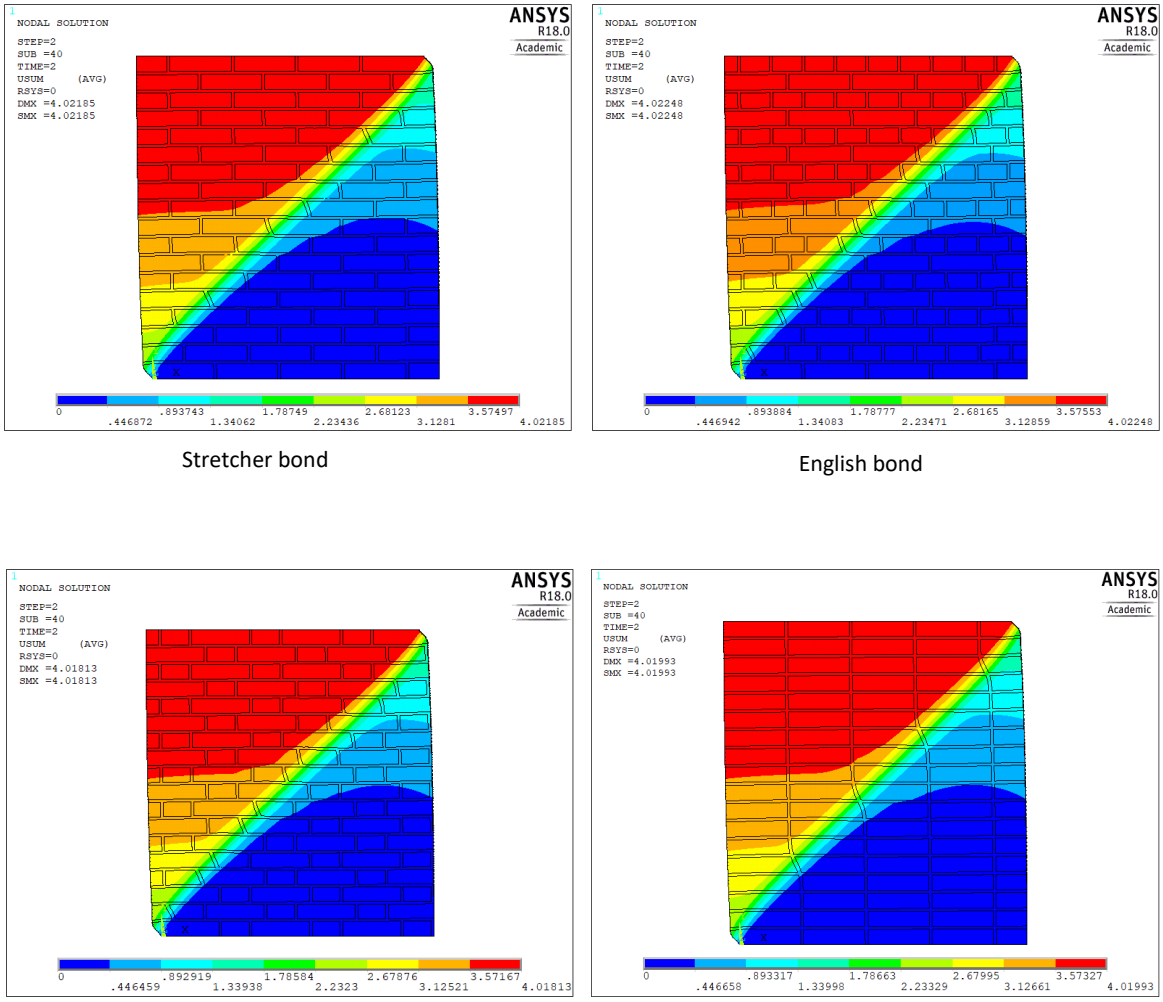


Figure 4 – Total displacements at the end of the analyses

Determination of minimum principal stress value is significant to structural behavior of masonry walls. Minimum stress distributions at δ=1 mm is shown in Figure 5. It is seen that; minimum stress values are occurred at the bottom left toe of the walls approximately -9.5 MPa compression. In addition, the tensile stresses which are represented with red colors are occurred at the upper left and bottom right corners of the walls. Distributions of minimum stress values for the English ang Flemish bond walls are almost same. It is very deterministic especially for English and Flemish walls, small struts are seen due to the anisotropic combinations of joints and bricks. However, Stack bond masonry wall shows more regular minimum stress distribution than the others. The minimum stress distribution states that, the geometry and bond style of masonry wall determine the direction of principal stresses.

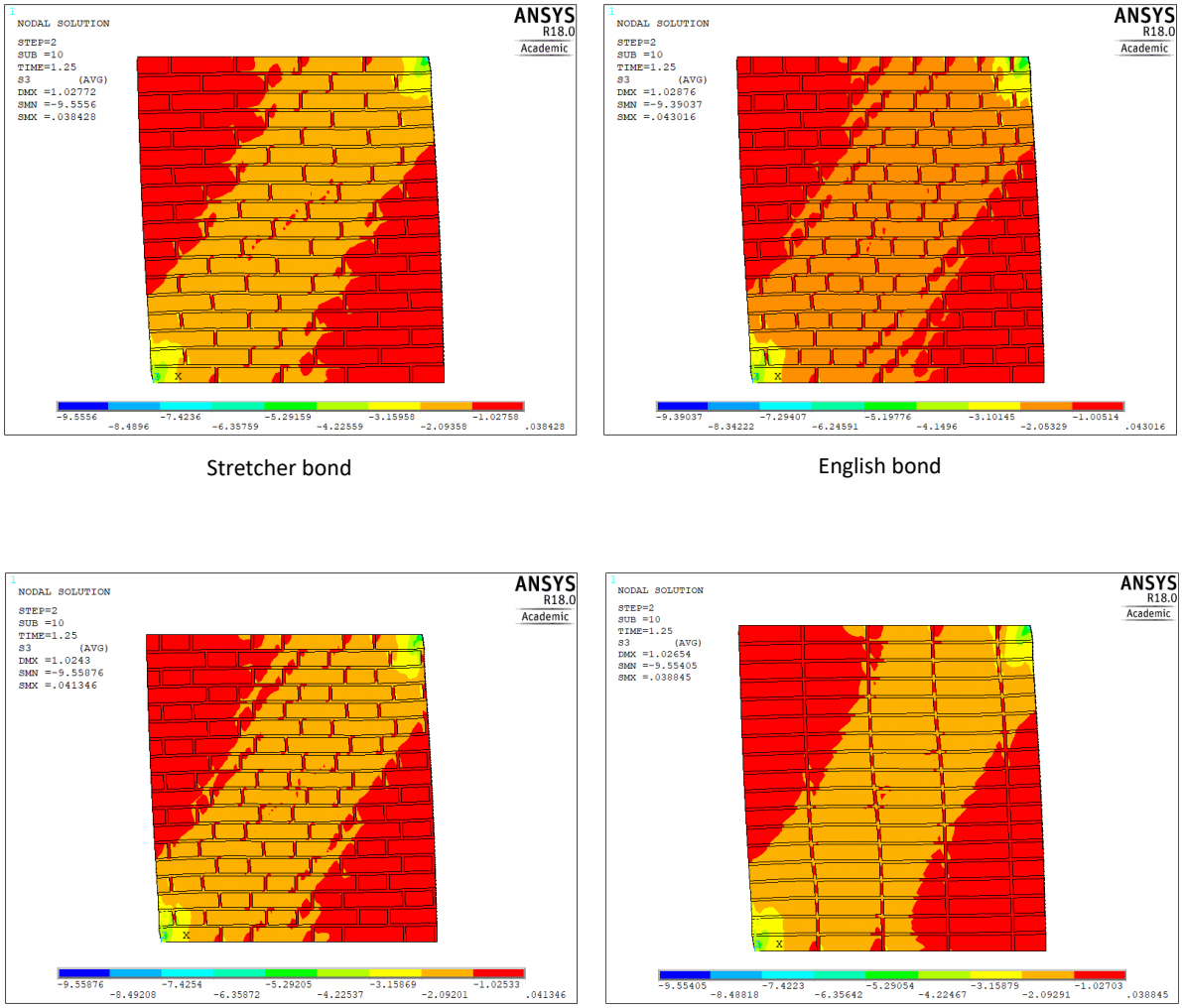


Figure 5 – Minimum stress distribution at δ=1

Horizontal displacement at the top of the wall and horizontal reaction force at the base of the wall diagrams for the different wall models are shown in Figure 6. It is seen that the masonry walls have similar load-displacement curves. Load-displacement curve of the verification model is shown very satisfactory results with the experiment from the literature. It is seen from the graphs; all the walls with different bond styles show rather ductile behavior. It can be said from the diagrams, when the bricks and mortar have perfectly bonded each other, the walls with different bond styles behave similar.

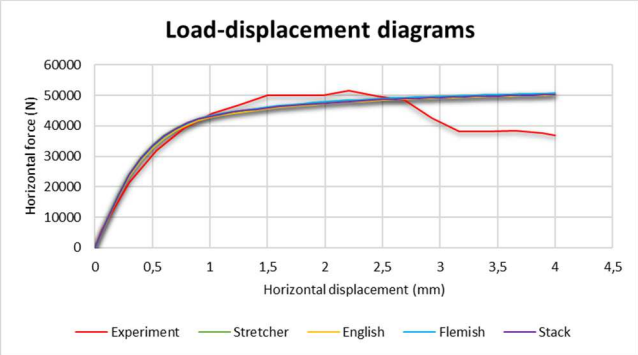


Figure 6 – Load-displacement diagrams of the walls

4. Conclusion

The modeling technique, the material model and the fracture hypothesis form a combination for the modeling of the masonry walls. In heterogenous modeling technique, masonry units and mortar are modelled separately, and an anisotropic structure is obtained. The minimum stress distribution values show that, the bond style of masonry wall effects the direction of principal stresses. It can be concluded from the displacement values, stress distributions and load-displacement curves of the Stretcher, English, Flemish and Stack bond masonry walls, when using the perfect bond between the brick units and mortar, the structural behaviors of the walls will be almost similar.

References

1. Vermeltfoort, A.Th. and Raijmakers, T.M.J. (1992). Deformation controlled meso shear tests on masonry piers. Report B-92-1156, TNO-BOUWrrU, Building and Construction Research, Eindhoven, The Netherlands.
2. Vermeltfoort, A.Th. and Raijmakers, T.M.J. (1993). Deformation controlled meso shear tests on masonry piers. Report B-92-1156, TNO-BOUWrrU Part 2 Draft report, Building and Construction Research, Eindhoven, The Netherlands.
3. Oliviera, C. (2003). Experimental and Numerical Analysis of Blocky Masonry Structures under Cyclic Loading, Phd. Thesis, Universidade do Minho, Portekiz,
4. Lourenço, P.B. (1995). An Orthotropic Continuum Model for The Analysis of Masonry Structures. Report 03-21-1-31-27, TU Delft, The Netherlands.
5. Oller, S. (2014). Numerical Simulation of Mechanical Behavior of Composite Materials. Springer, Barcelona, Spain.
6. Pela, L., Cervera, M. and Roca, P. (2012). An orthotropic damage model for the analysis of masonry structures. Construction and Building Materials 41, 957-967.
7. Quinteros, R., Oller, S. and Nallim L. (2011). Nonlinear homogenization techniques to solve masonry structures problems. Composite Structures 94, 724–730.
8. Kömürcü, S. (2017). Analysis and modelling of the in-plane behaviour of masonry walls, MSc. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul.
9. Kömürcü, S. and Gedikli, A. (2017). Numerical modelling of the in-plane loaded homogenized masonry walls. Periodicals of Engineering and Natural Sciences 5(3), 314-321.
10. Nasiri, E. and Liu, Y. (2017). Development of a detailed 3D FE model for analysis of the planar behavior of masonry infilled concrete frames. Engineering Structures, 143, 603–616.
11. Abdulla, K.F., Cunningham, L.S. and Gillie, M. (2017). Simulating masonry wall behavior using a simplified micro-model approach. Engineering Structures, 151, 349-365.
12. ANSYS 18.0 (2018). Element reference. U.S.A.

Investigation of Mortar Thickness Effect for Masonry Walls Using a Continuous Micro Model

Sedat Kömürcü[1]

[1] Department of Civil Engineering, Istanbul Technical University, Turkey
Email: komurcus@itu.edu.tr

Abstract

Masonry is a composite material that consists of masonry units (brick, stone etc.) and mortar. Modeling of the composite structure of masonry materials require advanced modeling techniques. In the present study, masonry units and mortar are modeled using continuous micro modeling technique. ANSYS® Academic Research Mechanical, release 18.0 software is used to perform the finite element analyses. The mortar thickness effect is analyzed with changing the thickness value of head joints and bed joints, respectively. Strength values of the walls are obtained in terms of the result of the in-plane shear-wall test numerically. It is seen that when the bed joint thickness value increases, the strength of the wall dramatically decreases. The results showed that the mortar thickness effect on the in-plane structural behavior of masonry walls can be efficiently analyzed using the continuous micro modeling technique.

Keyword(s): Finite elements, Masonry wall, Mortar thickness, Shear-wall test

1. Introduction

Masonry structures are among the oldest structures in the history of humanity and there are many buildings which have been constructed by using the masonry construction technique on the world. Modeling and analyzing of masonry structures is an important requirement to strengthen historical masonry structures as well as to build durable and modern masonry structures. Throughout the history, engineers and architects have worked to determine the effects of tension, compression and shear on the masonry walls and presented models for designing masonry walls. Better understanding of masonry structure behavior is a significant issue. For this purpose, experimental and numerical studies were performed to determine the behavior of masonry structures in the literature. There are examples of experimental works to analyze the structural behavior of masonry walls (Raijmakers and Vermeltfoort, 1992 and 1993). Numerical analyzes have been carried out to support experimental studies. There are many numerical models and studies to investigate masonry behavior (Lorenço, 1995; Oller, 2014; Kömürcü, 2017).

There are two basic technique to model masonry structures. The first one is homogeneous modeling the other one heterogeneous modeling technique. Many studies have been done about the modeling of masonry homogeneously (Marques, 2014; Addessi, 2014; Panto, 2016; Castori, 2017; Regan, 2017). It is possible to analyze the masonry structures efficiently by choosing suitable modeling technique.

In the present study, nonlinear behaviors of masonry walls under the effect of in-plane loads were modeled and analyzed numerically. Using a continuous heterogenous model, finite element analyze is performed to investigate the effect of mortar thickness on the structural assessment of masonry walls.

2. Finite Element Models

The finite element model is compared with the experimental work (Raijmakers and Vermeltfoort, 1992). The masonry unit, head joint and bed joint representation is shown in Figure 1. Horizontal joints in the brick pattern are called as bed joints, the vertical joints are called as head joints.

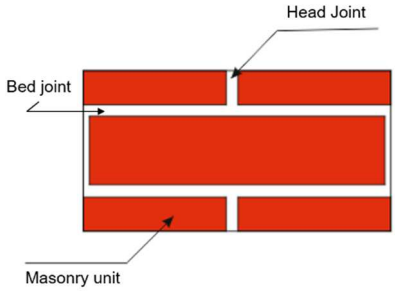


Figure 1 – Masonry joints

Model properties are used as shown in Table 1. There are 7 models (a, b, c, d, e, f, g) to test the variation of mortar thickness effect numerically. The *B* value represents the bed joint thickness and the *H* value shows the head joint thickness.

Table 1 – Model properties

Model	B: Bed Joint Thickness [mm]	H: Head Joint Thickness [mm]	Brick Thickness [mm]
a	10	10	52
b	10	10	10
c	52	10	52
d	20	10	52
e	52	52	52
f	10	20	52
g	10	52	52

The finite element models are generated with using different mortar thickness values as shown in Figure 2. For the models *a*, *b*, *c* and *d*, the total dimension of the walls approximately same. In addition, the *H* values are constant and *B* values are changeable. These models reflect the effects of bed joint thickness on the structural behavior of masonry walls. In the model *b* the brick size is also equal to the mortar thickness but the wall dimension is same with the other models. However, the dimensions of the walls are changing in the models *e*, *f* and *g* in terms of increasing *H* value. These models show the effects of head joints with considering increasing rigidity.

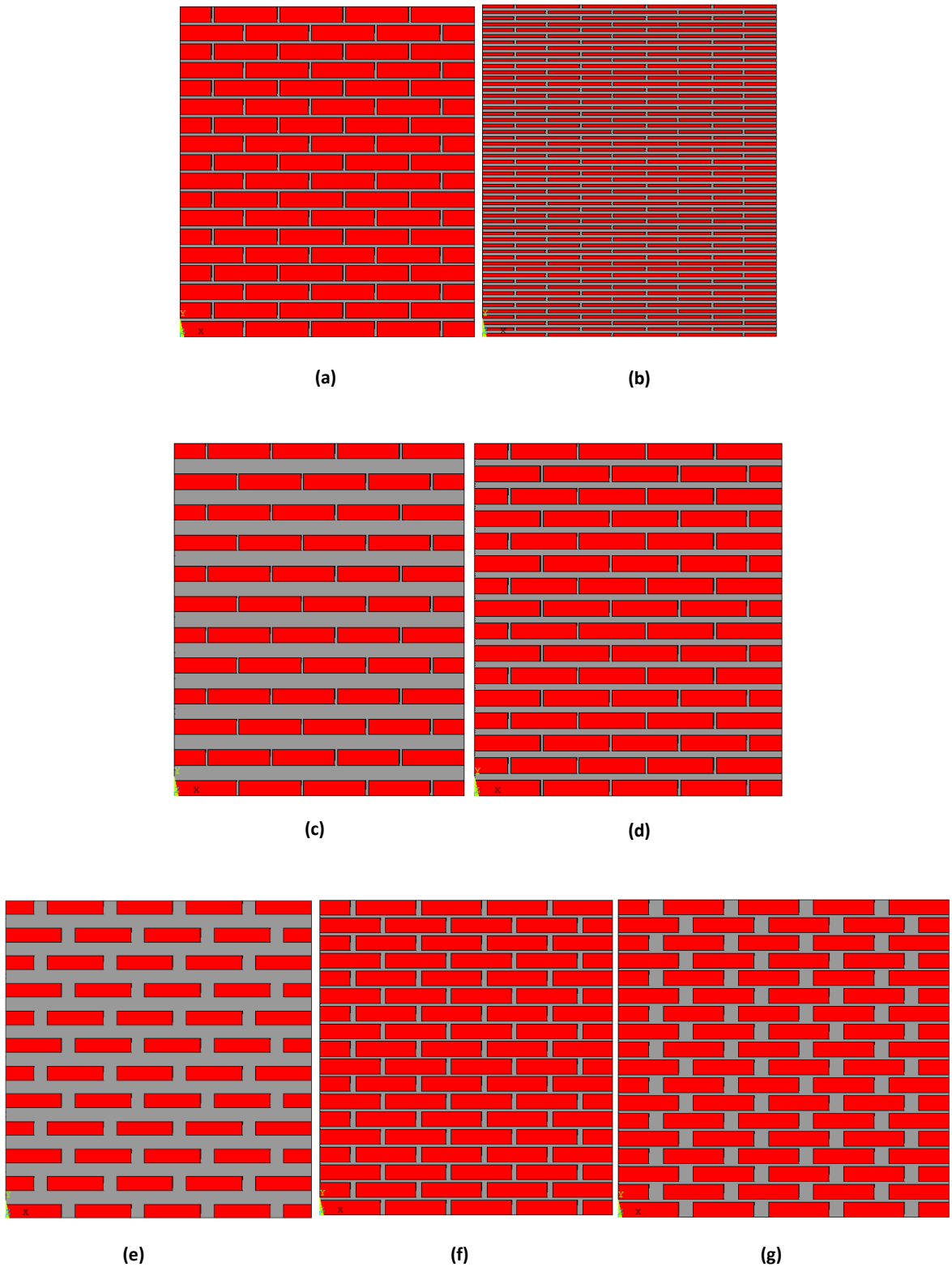


Figure 2 – Masonry walls with different mortar thickness values

The dimensions of brick units forming the masonry walls are a=210 mm, b=52 mm and c=100 mm. The walls with a base width of 990 mm and a height of 1000 mm and a thickness of 100 mm are formed by overlaying 18 rows of bricks using 10 mm mortar layer between bricks.

The Modulus of elasticity E and the Poisson ratio v of the bricks and mortar used in this study are E_b=16700 MPa, v_b=0.15 and E_m=780 MPa and v_m=0.15 respectively. The Drucker-Prager fracture criterion is applied in combination with the elastoplastic behavior model. The material parameters required to construct this model are the internal friction angle φ, dilation angle φ_d, and cohesion c of the wall. Internal friction angle and dilatation angle of masonry units are equal to $\varphi=60^0$. The cohesion value is c=0.35 MPa

The SOLID65 element with 8 node points is used for the analysis. Each node has 3 displacement degree of freedom in *x*, *y* and *z* directions. Brittle materials can be modeled such as rock, stone, brick, concrete etc. using this element. It is a suitable element for modeling the nonlinear behavior of structures (ANSYS, 2018).

Loading of the masonry walls are carried out in two stages. In the first load step (load step 1) the walls are loaded with a vertical pressure of 0.3 MPa. In the second load step (load step 2), horizontal displacement is given to the wall top nodes using displacement control. The second loading process is divided into 40 sub-steps to obtain a detailed data set.

3. Validation of the Models

The results of finite element analyses are presented in this section to see the validity of the proposed finite element procedure for the shear wall experiment. The minimum stress distributions for the models at δ=0.5 mm is shown in Figure 3. All the walls contain stress discontinuities in terms of the different material characteristics of brick and mortar. The wall *a* is the standard model which have same head and bed joint thickness values of 10 mm. It can be observed from the walls *c* and *d* which have increased bed joint thicknesses when the bed joint thickness is increased, the early level of minimum principal stress is decreasing at δ=0.5 mm. The results of *f* and *g* indicate that, increasing of head joint thickness is not dramatically affect the minimum principal stress values at the early displacement value. Both of using same brick size with mortar thickness of 10 mm as model *b* and using same head and bed joints with brick size of 52 mm as model *e* produces similar principal stress values at δ=0.5 mm as shown from the analyze results.

Determination of minimum principal stress value is significant to structural behavior of masonry walls. Minimum stress distributions at the end of the analyses are shown Figure 4. The stress values at the end of the analyses show that all the walls approximately have similar minimum principal stress levels between -12,94 MPa and -15,28 MPa. The tensile stresses which are represented with red colors are occurred at the upper left and bottom right corners of the walls. It can be concluded from observing the tensile stress values, the fracture mechanisms of the wall occurred with a diagonal crack aligned from the upper right corner to the bottom left corner of the walls.

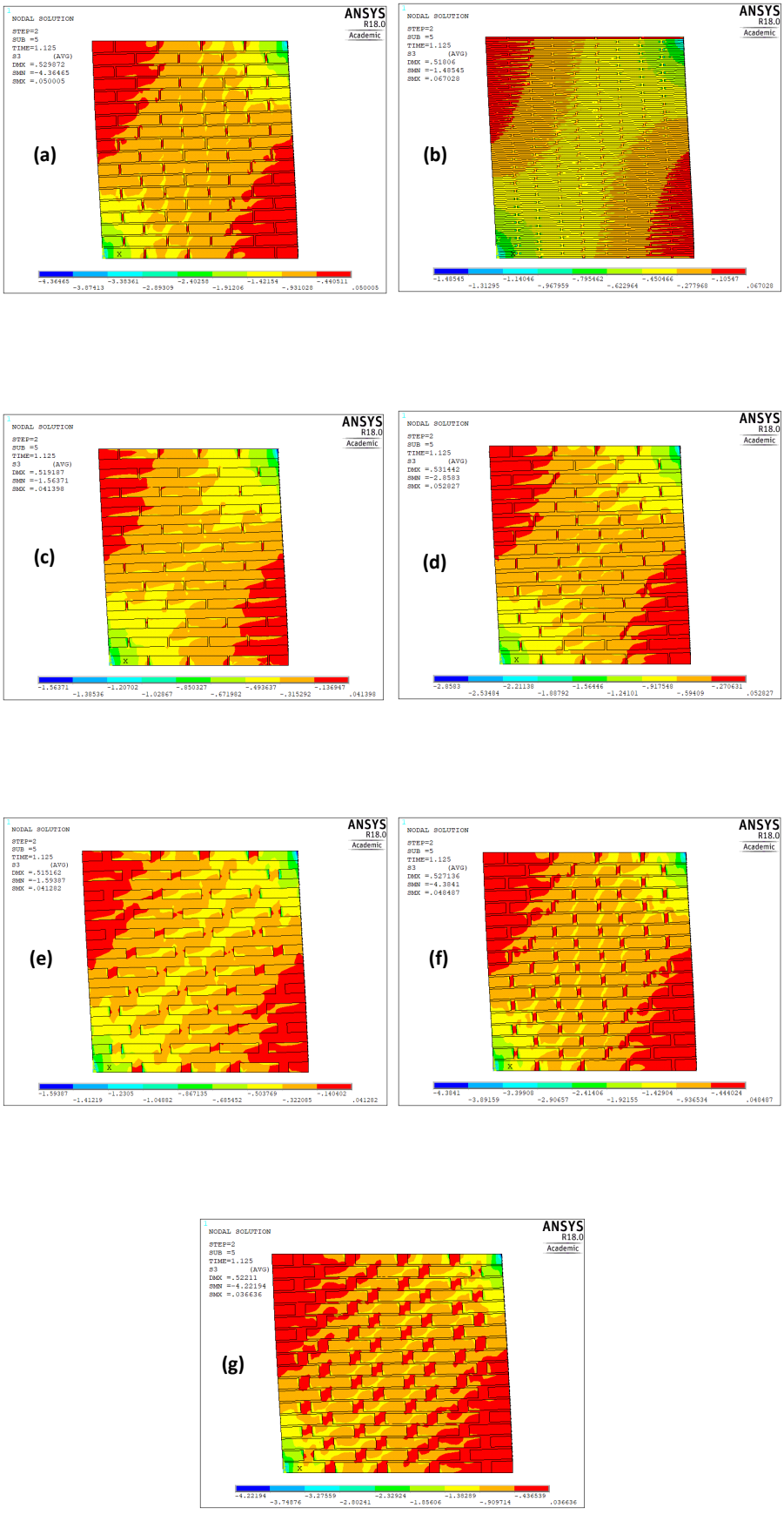


Figure 3 – Minimum stress distribution at δ=0.5 mm

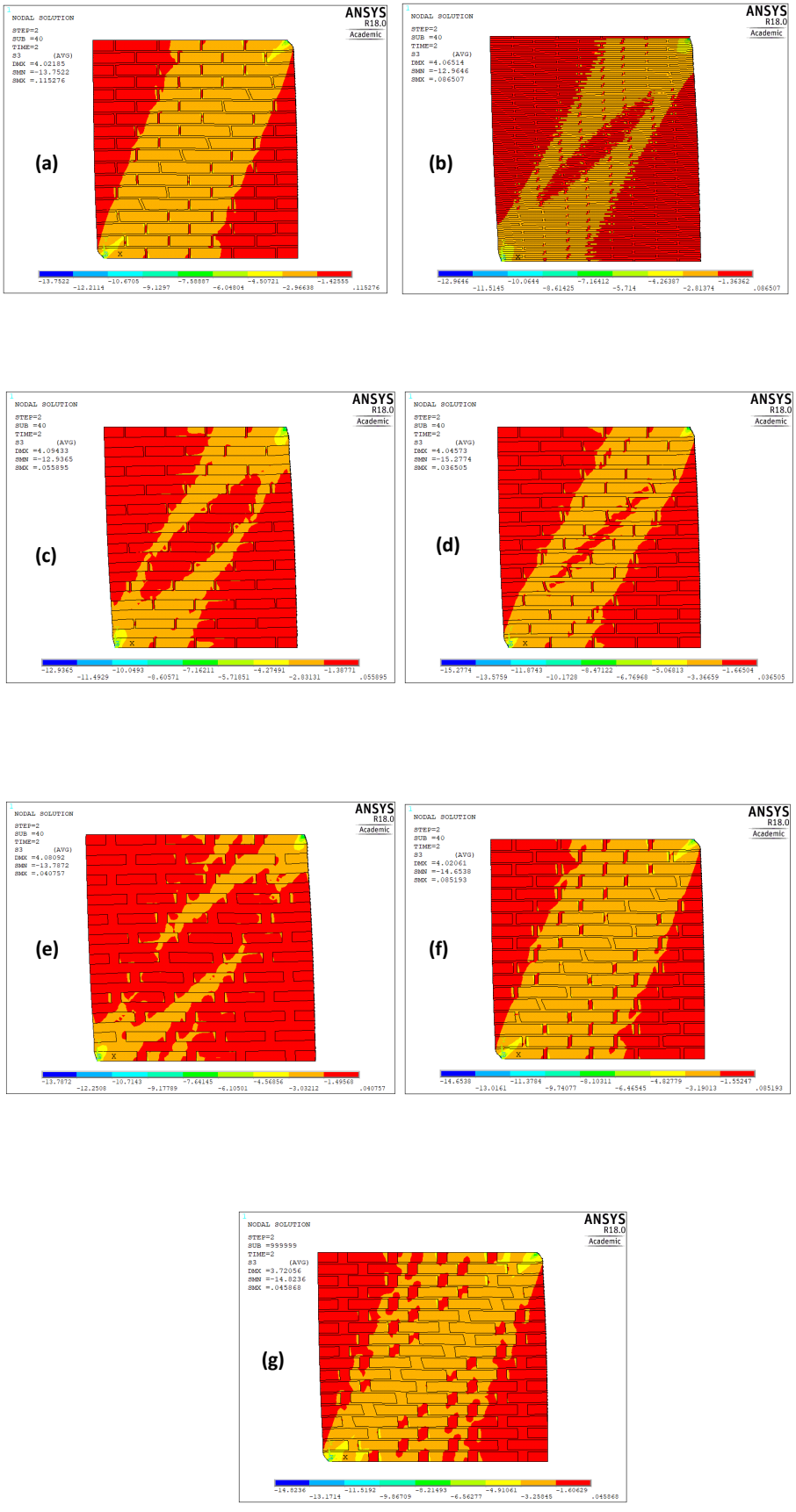


Figure 4 – Minimum stress distribution at the end of the analyses

Horizontal displacement at the top of the wall and horizontal reaction force at the base of the wall diagrams for the different wall models are shown in Figure 5. It is seen from the graphs that the model *a* can be used as verification of the experimental work in the literature. It can be said that, when the bed joint thickness increased the rigidity of the walls are decreased due to the lower values of the modulus of elasticity (models *c* and *d*). But, onward levels of the applied displacement value, the walls converge to their strength value which is related their cohesion and friction angle values. Another significant result can be stated from the analysis of model *b*. This model shows that the importance of the mortar/brick ratio which is dramatically affects the strength value of the masonry walls.

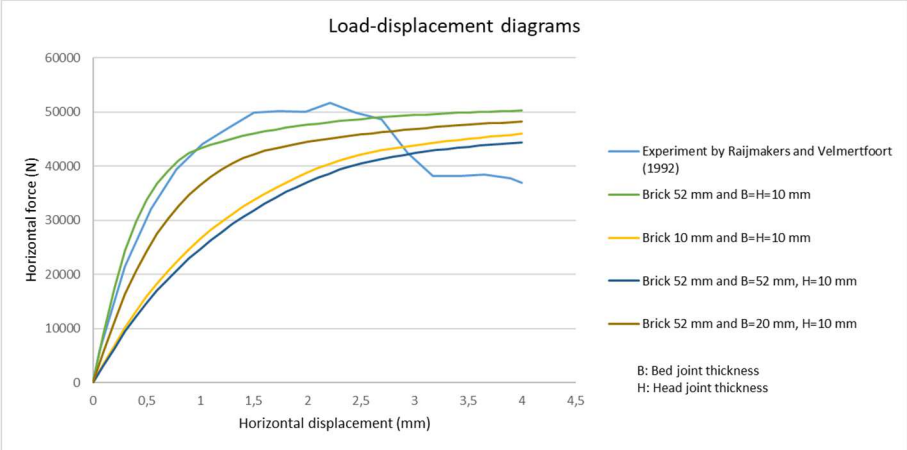


Figure 5 – Load-displacement diagrams for *a, b, c, d* wall

From the horizontal displacement at the top of the wall and horizontal reaction force at the base of the wall diagrams of the models *a*, *e*, *f*, *g* as shown in Figure 6 it can be said that, increasing the head joint thicknesses of the walls increase the maximum strength value for the walls in terms of naturally increasing of rigidity. But the early stage rigidity of the walls is not affected by the increasing of head joint thicknesses. In model *e*, the different rigidity abstains from the increasing bed joint thickness value.

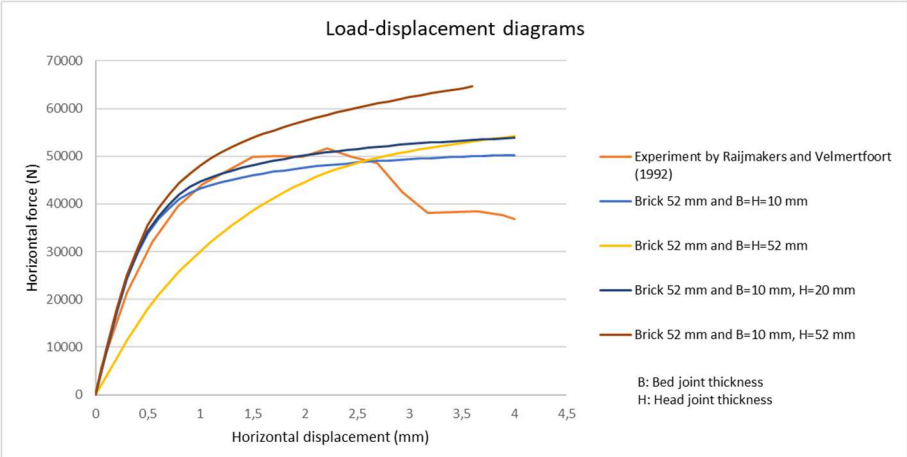


Figure 6 – Load-displacement diagrams for *a, e, f, g* wall

Table 1 shows the maximum horizontal reaction forces at the base of the walls, the minimum principal stress values both at δ=0.5 mm and end of the analyses. The table summarizes the finite element analyses results for having different mortar thickness values masonry walls. The maximum horizontal reaction force is occurred for the model *g* due to the naturally increasing rigidity of the wall. The minimum principal stress values are different for the walls for early displacement value as applied δ=0.5 mm. However, the minimum principal stress values at the end of the finite element analyses are approximately similar.

Table 2 – Results for the masonry walls

Model	Maximum Horizontal Reaction [N]	Minimum Principal Stress at δ=0.5 mm [MPa]	Minimum Principal Stress at the end of the analyses [MPa]
a	50279,8	-4,36	-13,75
b	45979,4	-1,49	-12,96
c	44397,0	-1,56	-12,94
d	48191,6	-2,86	-15,28
e	54239,8	-1,59	-13,79
f	53855,7	-4,38	-14,65
g	64658,8	-4,22	-14,83

4. Conclusion

The modeling technique, the material model used, and the failure hypothesis form a combination to analyze a masonry wall. In-plane behavior of masonry walls which have different mortar thickness can be successfully and practically analyzed with using the procedure presenting in this study. It can be seen from the analyze results, changing of the bed joint and the head joint thickness values change the structural characteristics of masonry walls such as rigidity, ductility and strength. In fact, the ratio of brick/mortar is a significant factor effecting the masonry behavior. However, it can be concluded that, increasing the bed joint thickness has more crucial effect on the in-plane structural behavior of the masonry walls than increasing head joint thickness of the masonry walls.

References

1. Vermeltfoort, A.Th. and Raijmakers, T.M.J. (1992). Deformation controlled meso shear tests on masonry piers. Report B-92-1156, TNO-BOUWrrU, Building and Construction Research, Eindhoven, The Netherlands.
2. Vermeltfoort, A.Th. and Raijmakers, T.M.J. (1993). Deformation controlled meso shear tests on masonry piers. Report B-92-1156, TNO-BOUWrrU Part 2 Draft report, Building and Construction Research, Eindhoven, The Netherlands.
3. Lourenço, P.B. (1995). An Orthotropic Continuum Model for The Analysis of Masonry Structures. Report 03-21-1-31-27, TU Delft, The Netherlands.
4. Oller, S. (2014). Numerical Simulation of Mechanical Behavior of Composite Materials. Springer, Barcelona, Spain.
5. Kömürcü, S. (2017). Analysis and modelling of the in-plane behaviour of masonry walls, MSc. Thesis, Istanbul Technical University, Istanbul.

6. Kömürcü, S. and Gedikli, A. (2017). Numerical modelling of the in-plane loaded homogenized masonry walls. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 5(3), 314-321.
7. Marques, R. and Lourenço, P.B. (2014). Unreinforced and confined masonry buildings in seismic regions: Validation of macro-element models and cost analysis, Engineering Structures, 64, 52-67.
8. Addessi, D. Mastrandrea, A. Sacco, E. (2014). An equilibrated macro-element for nonlinear analysis of masonry structures, Engineering Structures, 70, 82-93.
9. Panto, B. Cannizzaro, F. Caddemi, S. Calio, I. (2016). 3D macro-element modelling approach for seismic assessment of historical masonry churches, Advances in Engineering Software, 97,40-59.
10. Castori, G. Antonio, B. Alessandro, D.M. Marco, C. Romina, S. (2017). Seismic vulnerability assessment of a monumental masonry building, Engineering Structures, 136, 454-465.
11. Regan, M. Bourgeois, E. Colas, A.S. Chatellier, P. Desbordes, A. Douroux, J.F. (2017). Application of a coupled homogenization-damage model to masonry tunnel vaults, Computers and Geotechnics, 83,132-141.
12. ANSYS 18.0 (2018). Element reference. U.S.A.

FARKLI KESME DONATISI ORANLARINA SAHİP PREFABRİK DONATILI KİRİŞLERİN EĞİLME PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

Abdülkadir Güleç[1], Mehmet Metin Köse[2] ve Mehmet Tolga Göğüş[3]

[1,] Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü- Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş

[2,] Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü- Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş

[3,] Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü- Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep

Email: abdulkadir.gulec@hotmail.com, mmkose@ksu.edu.tr, mtgogus@gantep.edu.tr

ABSTRACT

Reinforced concrete structure system is one of the most widely used building systems in the world. The performance of the reinforced concrete system can be increased by improving the performance of the structural elements. Studies on the investigation of different reinforcement systems have been accelerated in recent years in order to improve the performance of reinforced concrete structural elements. In this study, the bending performance of a prefabricated reinforced beam will be examined for various the ratio of shear reinforcement. Prefabricated cage system with different number of stirrups have been prepared by laser cutting of rectangular steel profiles and the concrete strength was kept constant in all beams. As a result of the 4-point bending test, the capacities and moment-displacement relations of the beams were compared. As a result, the ratio of shear reinforcement positively affects the bending performance of the beam.

Keyword: Prefabricated cage system, Shear Reinforcement, Beams, Bending strength

ÖZET

Betonarme yapı sistemi dünyada en çok kullanılan yapı sistemlerinin başında gelmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemin performansının iyileştirilmesi sistemin elemanlarının performansının arttırılması ile başlar. Betonarme yapı elemanlarının performansını arttırmak için farklı donatı sistemlerinin incelenmesine ait çalışmalar son yıllarda hızlanmıştır. Bu çalışmada prefabrik donatılı bir kirişin farkı kesme donatısı oranlarında eğilme performansı incelenecektir. Bu kapsamda, farklı oranda kesme donatısına sahip hazır dikdörtgen çelik profillerin lazerle kesilmesi suretiyle prefabrik kafes sistemi hazırlanmış ve beton dayanımı tüm kirişlerde sabit tutulmuştur. 4 noktalı eğilme testi sonucu kirişlerin kapasiteleri ve moment-deplasman ilişkileri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, kesme donatısı oranının artması, kirişin eğilme performansını olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Anahtar kelimeler**:** Prefabrik donatı, Kesme donatısı, Kirişler, Eğilme dayanımı

1.GİRİŞ

Betonarme yapı sistemlerinin performansının arttırılması ile ilgili çalışmalar yıllardan beri sürmektedir. Yapısal elemanların performansının arttırılması sistemin performansını da arttırır. Zaman zaman performans arttırmaya yönelik çalışmalar kapsamında farkı donatı sistemlerinin denenmesi yoluna gidilmiştir. Bu tip çalışmalardan biri Shamsai ve Sezen tarafından önerilen prefabrik kafes sistemidir (PCS) [1,2]. Yapılan çalışmada çelik boru veya levhaların birleştirilip veya bükülüp üzerlerinde delikler açılmak suretiyle kafes bir sistem oluşturarak geleneksel donatının yerine alternatif bir çözüm sunulmuştur. Eksenel yüke maruz kalan kolonlar üzerinde yapılan bu çalışmalarda kolon kapasitesinin ve sünekliğinin arttığı tespit edilmiştir. Rethnasamy ve ark.[3] yaptığı bir diğer çalışmada belli kalınlıklardaki sacları bükmek suretiyle prefabrik bir kafes sistemi oluşturulmuş ve sistemi kirişte donatı yerine kullanarak eğilme performanslarını incelemiştir. Yapılan çalışmalarda prefabrik donatılı kirişlerin geleneksel donatılı sistemlere göre performansının daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu çalışmada yapılan çalışmaların bir devamı olarak, farklı kesme donatısı oranlarına sahip, prefabrik donatılı betonarme kirişlerin eğilme performansı incelenecektir

2.DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Malzeme Karakteristikleri:

Yapılan çalışmada 120x200x1000mm ebatlarında farklı kesme donatısı oranlarına sahip 6 adet prefabrik donatılı betonarme kirişin eğilme performansları incelenmiştir. Donatı olarak 80x160x3 mm ebatlarında S235 kutu profil kullanılmıştır. Kutu profiller lazer ile kesilerek prefabrik kafes donatı sistem hazırlanmıştır. Şekil 1'de hazırlanan donatı sistemi örneği gösterilmiştir. Beton üretiminde tüm numunelerde sabit olmak üzere su/çimento oranı 0,50'dir. Kullanılan agreganın maksimum dane çapı 16 mm olarak seçilmiştir. Elek analizi TS EN 933-1:2012 (EN) standartlarına uygun bir biçimde yapılmıştır. Tüm numunelerdeki beton karışım oranları aynı olup Çizelge 1' de gösterilmiştir.

Şekil1. Prefabrik donatı sistemi

Çizelge 1. Beton karışım oranları

Çimento (kg)	Su(kg)	Agrega(kg)		Akışkanlaştırıcı (kg)
		0-4	8-16	
560	280	820	1180	3

Beton karışımları TS EN 206 [4] standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımlarının basınç ve çekme dayanımlarının tespiti amacıyla 12 adet 100x200 mm ebatlarında silindir ve 6 adet 150x150x150 mm ebatlarında küp kalıplara dökülmüştür. 4 noktalı eğilme testinde kullanılacak kirişler için ise 6 adet 120x200x1000mm ebatlarında kiriş kalıpları hazırlanmıştır. Dökülen betonlar kalıptan 24 saat sonra çıkartılıp, 28 gün boyunca 20±2°C sıcaklığındaki suda bekletilmiştir. Eğilme deneyi yapılacak numuneler boyuna donatıları sabit olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır. Bu 2 gruptaki numunelerin her birinin kesme donatı oranları birbirlerinden farklıdır.

2.2 Deney:

Beton basınç deneyi EN 12390-3 [5], yarmada çekme deneyi ise EN 12390-6 [6] standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Standart beton deneyleri 200 ton kapasiteli UTEST BC 100 cihazında yapılmıştır. 4 noktalı eğilme deneyi 500kN kapasiteli BESMAK eğilme cihazı ile yapılmıştır. Deney yükleme hızı 0,5 mm/dk olarak belirlenmiştir [7]. Yer değiştirmeler Doğrusal Değişken Deplasman Transdüseri ile ölçülmüştür. Yüklemeler sonucunda moment-deplasman eğrileri ve kirişlerin kapasiteleri hesaplanmıştır.

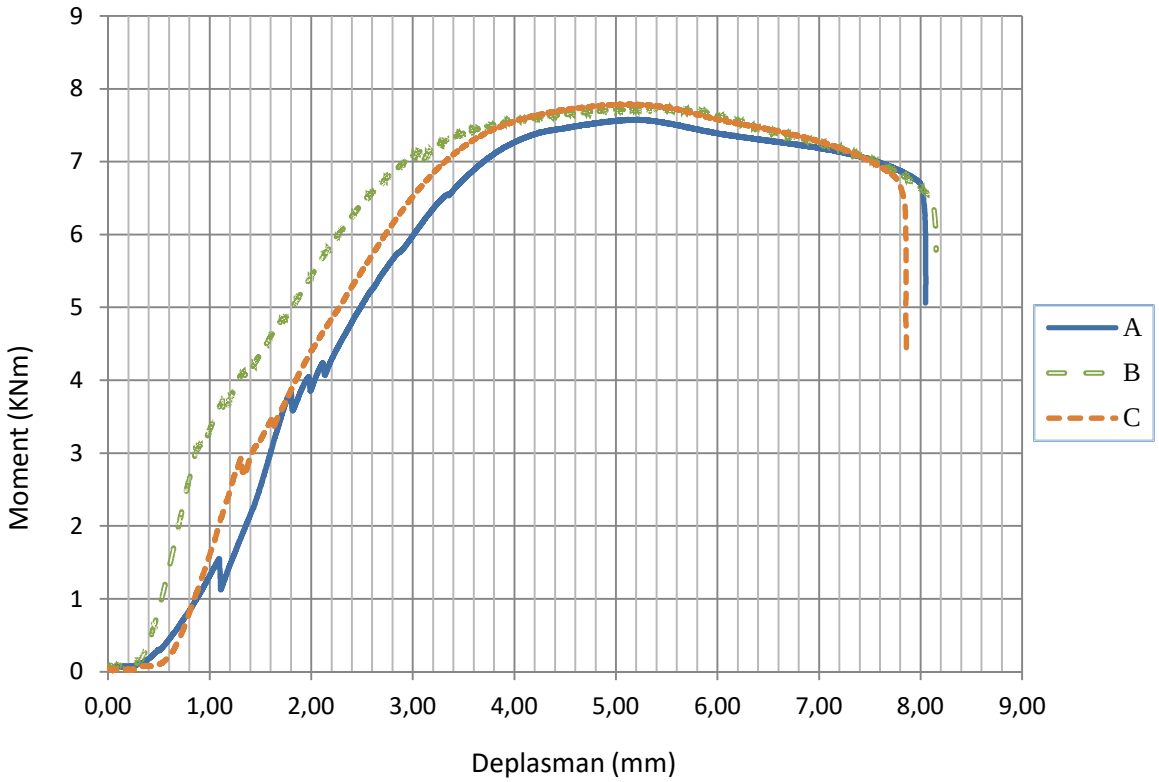
2.3 Sonuçlar:

Yapılan 4 noktalı eğilme deneyi sonuçlarına göre Moment- Deplasman eğrileri ve kapasiteler karşılaştırılmıştır. Buna göre boyuna donatı oranları kendi içerisinde aynı, birbirleri ile farklı olan 2 grupta da enine donatı oranlarının eğilme kapasitelerine etkisi gözlemlenmiştir. Deneyde kullanılan numunelerin geometrik özellikleri, malzeme karakteristikleri, donatı oranları ve deneysel moment sonuçları Çizelge 2'de gösterilmiştir.

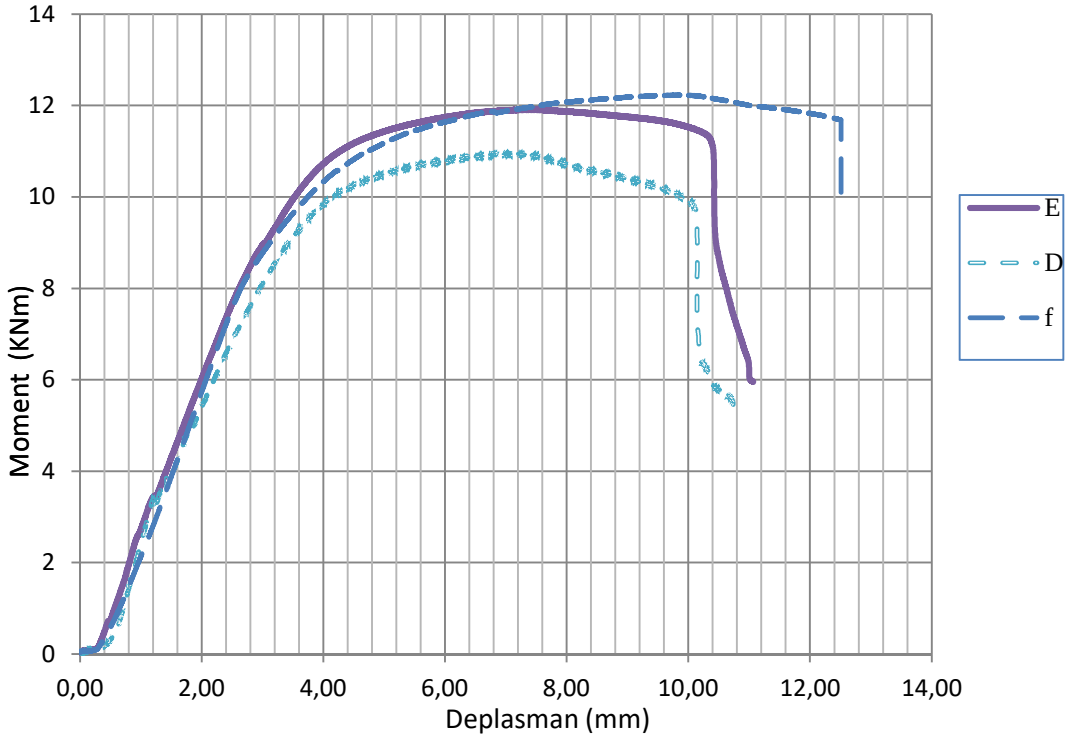
Çizelge 2. Farklı donatı oranlarına sahip prefabrik kirişlerin eğilme deneyi sonuçları

Numune No	Ebat(mm)	Kalınlık (mm)	Profil	Beton Sınıfı	Boyuna Donatı Oranı	Enine Donatı Oranı	Deneysel Moment (KNm)
A	120X200	3	S235JR	C50	0,00465	0,00467	7,58
B	120X200	3	S235JR	C50	0,00465	0,00629	7,73
C	120X200	3	S235JR	C50	0,00465	0,00935	7,79
D	120X200	3	S235JR	C50	0,00726	0,01196	10,94
E	120X200	3	S235JR	C50	0,00726	0,01579	11,91
F	120X200	3	S235JR	C50	0,00726	0,02392	12,23

Şekil 2. ve 3.'de belirtilen Moment-Deplasman eğrileri ve Çizelge 2'de görüleceği gibi kesme donatısı oranı arttıkça kirişlerin eğilme kapasiteleri farklı oranlarda artmıştır. Kesme donatısının artmasına bağlı olarak prefabrik kirişin betonda sargı etkisini arttırması suretiyle kirişin eğilme kapasitesini düşük miktarlarda da olsa arttırdığı görülmüştür. Boyuna donatı oranının fazla olduğu grupta, kesme donatısı oranının artması, boyuna donatı oranı daha düşük olan gruba göre eğilme kapasitesini daha fazla arttırmıştır.



Şekil 2. A,B ve C tipi numunelerin Moment Deplasman Eğrileri



Şekil 3. D,E ve F tipi numunelerin Moment-Deplasman Eğrileri

Deney sırasında tüm numunelerde oluşan çatlaklar benzer tipte gözlemlenmiştir. Şekil 4 de eğilme deneyi sırasında, numunenin eğilme bölgesinde oluşan derin çatlak görülmektedir. Tüm numunelerde eğilme bölgesinde sıralı çatlaklar oluşmuş, artan yük altında çatlakların büyümesi sonucu kirişler kapasitelerine ulaşmışlardır.

Şekil 4. 4 noktalı eğilme deneyi esnasında kirişin kapasiteye ulaşması

REFERANSLAR

[1] Shamsai, M., & Sezen, H. (2005, April). Fast and easy concrete construction using innovative steel reinforcement. In *Proc., Construction Research Congress* (pp. 317-321). Reston, Va.: ASCE.

[2] Sezen, H., & Shamsai, M. (2006, May). Behavior of normal strength concrete columns reinforced with prefabricated cage system. In *structures congress, St. Louis, Missouri* (pp. 18-21).

[3] Rethnasamy, C., Rajagopal, T., & Muthuraj, H. (2013). Bending behavior, deformability and strength analysis of Prefabricated Cage Reinforced Composite beams. *Construction and Building Materials*, *38*, 482-490.

[4] EN, T. 206: 2013+ A1.,(2017). Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[5] Standard, B. (2009). Testing hardened concrete. *Compressive Strength of Test Specimens. BS EN*, 12390-3.

[6] 12390-6, European Standard Specification for Testing Hardened Concrete - Tensile splitting strength of test specimens, 2009

[7] Toutanji, H. A. (1996). The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates. *Cement and Concrete Composites*, *18*(2), 135-139.

Preliminary Buckling Design of Stiffened Panels by Using Neural Networks

Mehmet Tolga GÖĞÜŞ[1], Abdulkadir ÇEVİK[1], Mustafa ÖZAKÇA[1]

[1] Department of Civil Engineering, Gaziantep University, Turkey
Emails: mtgogus@gantep.edu.tr, akcevik@gantep.edu.tr, ozakca@gantep.edu.tr

Abstract

The panel design process can be broken into three stages – (1) preliminary design to choose the panel prototype to detailed design, (2) detailed final design, and (3) design optimization. This paper focuses on the first stage of the design process – choosing the stiffened panel structure prototype. In the preliminary design stage, an engineer first chooses a preliminary design predominantly via experience in tandem with preliminary calculations. A neural network-based design system is presented in this paper for preliminary calculation of the critical buckling stress of stiffened panels. To provide a wide range of dataset for neural network training, a total of 14080 buckling analysis is performed by a finite strip approach which offers an accurate and inexpensive tool for the production of the database. The accuracy of the recommended neural network model is found to be quite high (R^2=0.99) as compared to the results of finite strip analysis. Effects of stiffened panel design variables are discussed.

Keyword(s): Stiffened panels, Finite strip method, Buckling analysis, Neural networks

1. Introduction

Structures considered in this study are composed longitudinally stiffeners with plates usually called stiffened panel for convenience. Stiffened panels find wide applications heavily loaded thin wall and types of weight critical structures, because of their simplicity in fabrication and excellent strength to weight ratio. In such structures, stiffened panels are basic strength members. These structures are generally subjected combined loadings, but primarily load component is axially compression. In this situation, the determinations of the critical buckling load of stiffened panels are required for structural design and safety assessment. The structural design involves, for economic reasons, the selection of the minimum amount of material necessary to ensure the required resistance and stiffness to a structure assuming that an adequate safety parameter is guaranteed. For economics designs, in many branches of engineering, panels are used. The panels are often attached with a suitable stiffened structural form to enhance the specific strength/stiffness to weight ratio of the structure attached with a suitable stiffened structural form to enhance the specific strength/stiffness to weight ratio of the structure. These structures experience in-plane forces in many situations. In the use of thin-walled, as in panels, it must be kept in mind that thin elements may prove unstable under the action of forces in their own planes, and fail by buckling sideways (Guo and Lindner, 1993; Gabor, 2009; Bisagni & Vesconi, 2009; Barik & Mukhopadhyay, 2002; Patel, Datta, & Seikh, 2006).

The dominating importance of the finite element method lies in its ability to analyze complex structures with varying thickness, difficult boundary conditions and arbitrary loadings. However, from the engineering point of view, the use of the finite element method for structural analysis has severely increased the computational effort cannot be affordable for some cases. The introduction of the finite strip method, which in its most usual form makes use of a combination of the finite element method and Fourier series, has provided a very effective and economic analysis method for this type of prismatic structures.

The main objective of the present study is to present neural networks as an alternative tool for the analysis of buckling stresses of the stiffened panel. The strategy described herein consists of restricting the equation solver to a particular problem domain, e.g., a particular type stiffened panels, and then using neural networks to approximately encode the basic structural behavior of that type of structures.

2. Stiffened Panels and Buckling Analysis

The structural design involves, for economic reasons, the selection of the minimum amount of material necessary to ensure the required resistance and stiffness to a structure assuming that an adequate safety parameter is guaranteed. For economic designs, in many branches of engineering, panels are used. The panels are often attached to a suitable stiffened structured form to enhance the specific strength/stiffness to weight ratio of the structure. In structural engineering, it is one of the first priorities to save weight, without loss of any strength in using structural elements against subjecting loads. Stiffeners provide an improvement to the load carrying capacity of structures. The benefit of stiffening of a structure lies in achieving a lightweight and robust design of the structure. For this purpose, they have widespread use of the structural engineering domain. Specially stiffened plates are used in critical and sensitive structures such as in aircraft, ship hulls and box girders in which safety and perfect design are crucial. Buckling is one of the most complex phenomena that are inevitable for axially heavily loaded stiffened plate structures. For this purpose, it is necessary to carry a deep interest and investigation about their responses under axial loads to design such structures safely.

The approach that uses the stiffeners to improve structural response is simple, but the practical stiffened plate design is a complex task. The finite strip method mentioned first in 1968 by Cheung (1997), is an effective and specific form of the finite element technique. Detailed information about the finite strip analysis of stiffened panels can be found in Göğüş (2010).

Neural computing is one of the quickly growing fields of soft computing, attracting researcher from a wide diversity of disciplines. The basic idea of neural computing is to capture the leading principles that underlay the brain's solution to engineering problems and utilize to the computers (Beale and Jackson, 1990). The main neural computing directions of development are to develop methods and algorithms for solving problems without following the way human beings does so, but providing similar results, and to develop methods and systems for solving problems by modeling the human way of thinking or the way the brain

works physically, for example, artificial neural networks (Kasabov, 1996). In computing statement, artificial neural networks possess a particular set of features. They are not programmed; rather they are trained by being repeatedly shown large numbers of cases for the problem under consideration. As an effect of this, they can supply practical solutions in comparatively short timescales but only for certain cases of problem types, and then only when a good deal of handle takes over the collection of the data, the preprocessing of this data and the design of the network (Tarassenko, 1998). Detailed discussion of artificial neural networks summarized and written programs can be found in Göğüş (2010).

3. Problem Definition of Stiffened Panels

A non–dimensional parametric dataset has been formed where variables have been given as a ratio of *b* which is the width of the geometry shown in Figure 1. The ranges of variables for the database are given in Table 1. Note that *L* is the length of the panel which is taken 1.0 to 2.0 with increment 0.1.and the structures have simply supported end conditions at *y=0* and *y=L*, other ends are free. A stiffened panel is typically fabricated from a flat plate with longitudinal stiffeners that span between the girders. n_{blade} is a number of stiffeners which are taken 2, 3, 4 and 5, respectively. The following material properties are used: $E = 75.0 \times 10^6$ and Poisson's ratio υ=0.33. Note that all units are consistent.

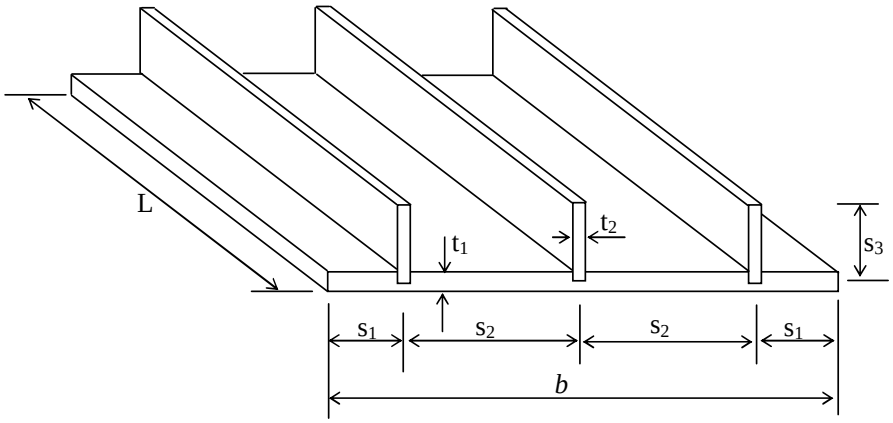


Figure 1 – Section of the stiffened panel with dimensions

Table 1 – The limits of design variables used in the dataset

Variables	Values			
s_1/b	0.100	0.150	0.200	0.250
s_2/b	0.400	0.350	0.300	0.250
s_3/b	0.020	0.040	0.060	0.080
t_1/b	0.004	0.006	0.008	0.010
t_2/b	0.004	0.006	0.008	0.010

The isotropic stiffened panels subjected to longitudinal compression analyzed by the finite strip method is shown in Figure 2. Analyses are carried out by using 4–noded strips with reduced integration for avoiding locking phenomena. End of the analysis 14080 data pairs is collected for the neural network model.

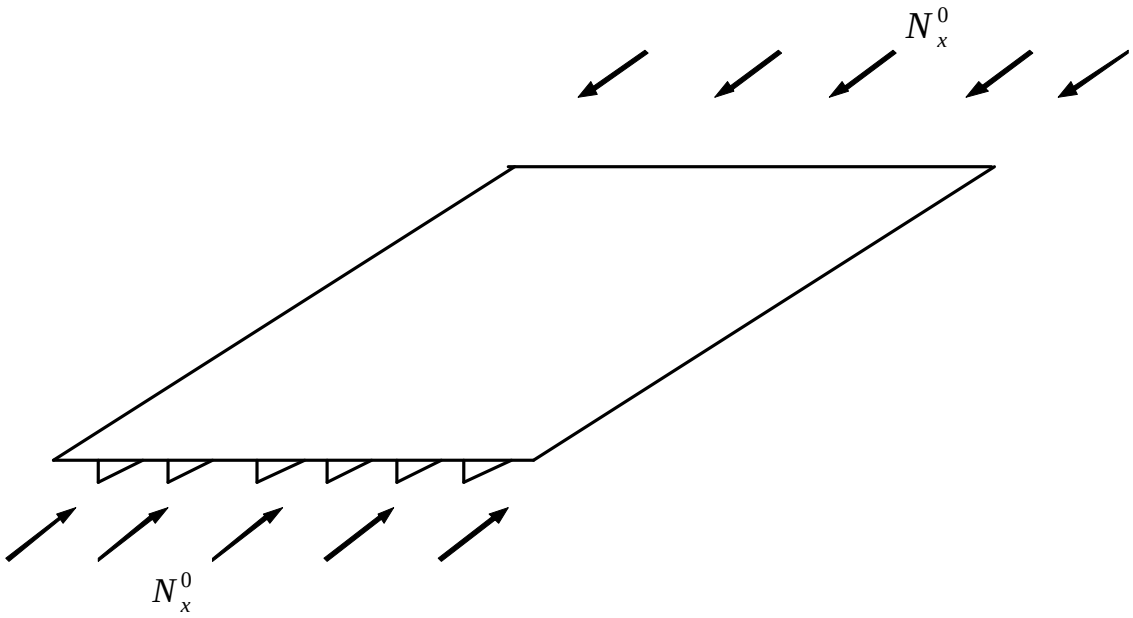


Figure 2 – Isotropic panels loading for buckling stress

3.1. Performance and Reliability of Neural Network Model

The most advantageous structure was found to be 6–10–1 neural network structure with tan-sigmoid transfer function (tansig) and log–sigmoid transfer function given in Figure 3 with the written MATLAB program by trial and error approach. The training algorithm was Levenberg–Marquardt back propagation (trainlm). Statistical parameters of test and training sets are presented in Table 2. The performance of the recommended neural network model versus finite strip results is shown in Figure 4. As it can be observed from Table 2, the performances of the proposed neural network model are quite high which indicates the accuracy of the neural network model to map the relationship between input and output variables. It should be noted that the proposed neural network model is valid for the ranges of the variables given in Table 1.

Table 2 – Comparison of test, training and total sets of a neural network for buckling analyses

	Test Set	Training Set	Total set
Mean (NN/FS)	1.0242	1.0251	1.0121
Standard deviation (NN/FS)	0.2092	0.2156	0.2106
RMSE	4049.32	3679.85	3979.18
Covariance	0.2042	0.2103	0.2079
Correlation coefficient (R^2)	0.9880	0.9900	0.9880

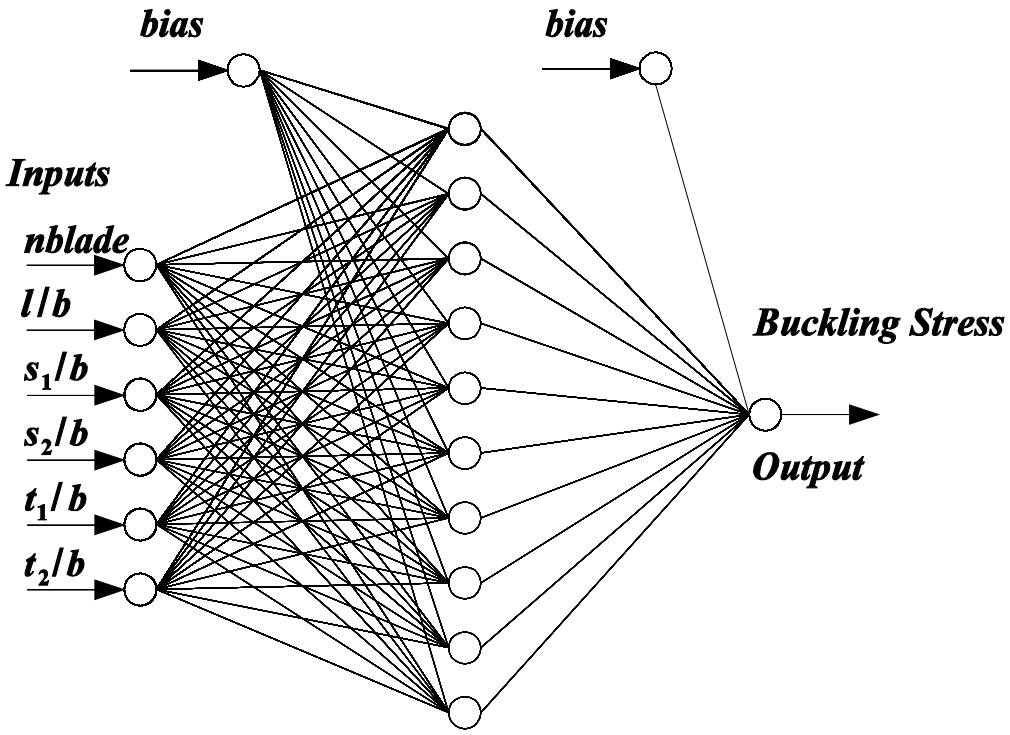


Figure 3 – Proposed NN architecture for buckling analysis

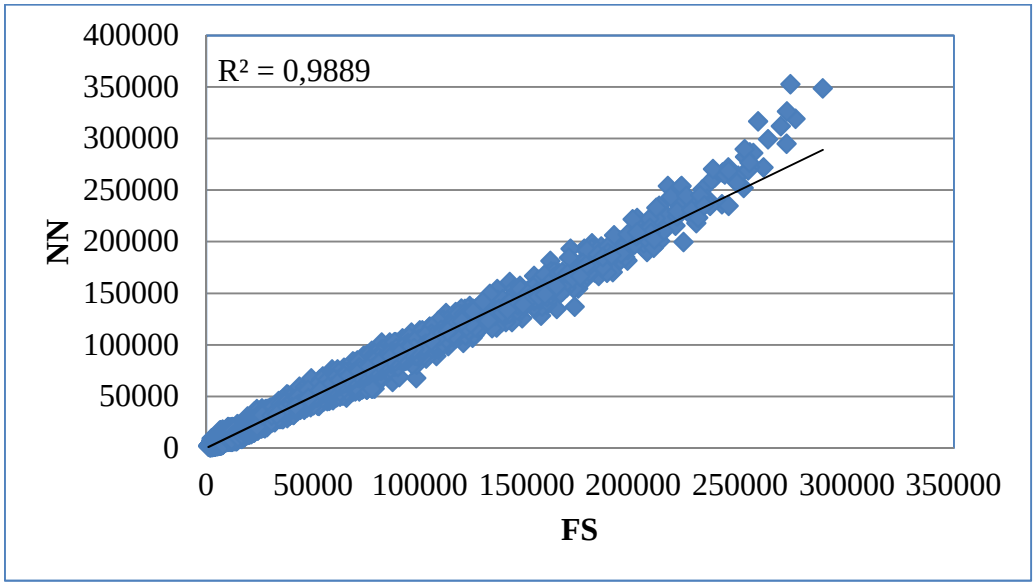


Figure 4 – Neural network model solutions versus finite strip solutions and correlations for the total set.

The recommended neural network model in this study can also be given in explicit for as a mathematical equation using parameters of the neural network model. The neural network model can be only presented in a matrix form as follows where the first matrix of (Eq 1) is the weight matrix for the input layer and the second one added corresponds to the bases for the first hidden layer.

$$\begin{bmatrix} -0.3144 & -1.869 & 4.2033 & 52.5591 & -491.8541 & 39.7125 \\ -0.4136 & -0.263 & 0.2334 & 7.2173 & -16.9382 & 14.6314 \\ -0.3463 & -0.1725 & -5.0872 & 3.9451 & -53.7731 & 8.0766 \\ 0.2545 & -1.2006 & 8.3593 & 21.7969 & -77.0355 & 53.1702 \\ -0.073 & 0.0265 & -9.0083 & 0.2895 & -26.3989 & -4.0512 \\ -0.0133 & -0.2597 & 3.0985 & 1.1375 & -124.9477 & 505.436 \\ -0.2405 & -0.013 & -5.6963 & -0.4866 & -35.403 & -0.8994 \\ -0.021 & 0.6433 & -0.0219 & -273.1465 & 40.0307 & -28.0294 \\ -0,2610 & 1,2201 & -9,5637 & -21,4957 & 90,0044 & -51,9011 \\ -0,4400 & -2,2318 & 5,9429 & 62,2485 & -581,3790 & 38,5513 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_b \\ \frac{L}{b} \\ \frac{s_1}{b} \\ \frac{s_2}{b} \\ \frac{t_1}{b} \\ \frac{t_2}{b} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.6795 \\ -0.6397 \\ 2.0928 \\ -2.6714 \\ 1.3569 \\ -1.1002 \\ 1.6379 \\ 9.4438 \\ 2.7954 \\ 0.9322 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \\ U_7 \\ U_8 \\ U_9 \\ U_{10} \end{bmatrix} \quad \text{(Eq. 1))}$$

The calculation for the second hidden layer can be shown as:

$$W = \begin{bmatrix} -4.9274 \\ -10.0449 \\ 8.9473 \\ 10.7818 \\ 3.8275 \\ 0.2168 \\ -13.5502 \\ -0.5783 \\ 10.0795 \\ 3.4914 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \tanh U_1 \\ \tanh U_2 \\ \tanh U_3 \\ \tanh U_4 \\ \tanh U_5 \\ \tanh U_6 \\ \tanh U_7 \\ \tanh U_8 \\ \tanh U_9 \\ \tanh U_{10} \end{bmatrix} - 14.3845 \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Finally, the output σ_{buck} can be computed as follows,

$$\sigma_{buck} = 352742 \left(\frac{1}{1+e^{-W}} \right) \qquad \text{(Eq. 3)}$$

4. Conclusions

In this study, neural networks are presented as an alternative tool for the computation of buckling analysis of stiffened panels for preliminary design. The neural network modeling is based on a big dataset computed by a program using finite strip approach. The recommended neural network model performs quite good as compared to finite strip results. Although neural networks are generally treated as "black-box" tools, the proposed NN is presented as an explicit function to be used by other researchers as a so-called "white-box" for further applications such as a structural optimization problem.

References

1. Barik, M. and Mukhopadhyay, M. (2002). A new stiffened plate element for the analysis of arbitrary plates. *Thin–Walled Structures, 40,* 625–639.
2. Beale, R. and Jackson, T. (1990). *Neural Computing: An Introduction,* Taylor & Francis, New York.
3. Bisagni, C. and Vesconi, R. (2009). Analytical formulation for local buckling and post–buckling analysis of stiffened laminated panels. *Thin–Walled Structures, 47(3),* 348–334.
4. Cheung, Y. K., (1968). The finite strip method in the analysis of elastic plates with two opposite simply supported ends, *Proc. Inst. Civ. Eng.*
5. Cheung, Y.K. and Tham, L.G. (1996). *The Finite Strip Method,* CRC Press.
6. Gabor, MV., (2009). Buckling and free vibration analysis of stiffened panels, *Thin–Walled Structures, 47(4),* 382–390.
7. Guo, YL: and Lindner, J. (1993). Analysis of elastic–plastic interaction buckling of stiffened panels by spline finite strip method. *Computers and Structures, 46(3),* 529–536.

8. K.N. Kasabov, (1996*). Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*, A Bradford Book, The MIT Press Cambridge.
9. L. Tarassenko, A Guide to Neural Computing Applications. John Wiley & Sons Inc., New York.
10. M.T. Göğüş, (2010). *Design of Stiffened Panels Using Soft Computing Techniques,* Ph.D. Thesis, Gaziantep University.
11. Patel, S.N., Datta, P.K. and Seikh, A.H. (2006), Buckling and dynamic instability analysis of stiffened shell panels, *Thin–Walled Structures, 44,* 321–333.

SENTETİK FİBER DONATI İLE GÜÇLENDİRİLEN YIĞMA DUVARDA GÜÇLENDİRMENİN DUVAR DAVRANIŞINA OLAN ETKİSİ

Eren BirkanYAMAN, Dr.Öğr.Üyesi Selçuk KAÇIN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi, Turkey
Emails: eyaman.mfbe16@iste.edu.tr, selcuk.kacin@iste.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmamızda duvarların betonarme yapılarda taşıyıcı etkisi olmasa da taşıyıcı elemanlar (kolon, kiriş ve döşeme) arasında, birlikte çalışmasına yardımcı olduğu ve yığma yapılarda tamamen taşıyıcı görevi üstlenmesinden dolayı güçlendirilmesinin faydalı olabileceği konusu incelenmiştir. Bu güçlendirme işlemi için de genelde zemin güçlendirme malzemesi olarak kullanılan sentetik fiber donatı kullanılacaktır. Bu sentetik fiber donatının üretim şekillerine bakıldığında duvar numunesi güçlendirme işlemi için en uygununun geogrid olmasından kaynaklı bu çalışmamızda geogrid malzeme kullandık. Bunun için toplamda sıvasıyla beraber 12,5 cm kalınlığında olan 79 x 79 cm ebatlarında 9(dokuz) adet duvar örneği imal ettik. Bu örneklerden 3(üç) tanesi referans olması açısından hiçbir güçlendirme ve sıva işlemi yapılmadan imal edilmiştir. Diğer bir 3(üç) örnek ise sentetik fiber (sentetik fiber (geogrid)) malzeme ile güçlendirilmeden sadece standartlara uygun su, çimento ve agrega karışım oranına sahip sıva ile sıvanmıştır. Diğer 3(üç) örnek ise sentetik fiber (sentetik fiber (geogrid)) malzeme ile güçlendirilip standartlara uygun sıva harcı ile sıvanmıştır. Hazırlanan örnekler diyagonal yükleme düzeneğinde yükleme işlemine tabi tutulmuştur ve deney sonucunda oluşan düşey kuvvet- yatay deplasman ve enerji tutma kapasiteleri hesaplanmıştır. Bu hesaplar doğrultusunda çıkan sonuçlar birbiriyle karşılaştırılarak kullanılan geogird malzemenin dayanıma katkısı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: sentetik fiber donatı (geogrid), duvar güçlendirme, diyagonal basınç deneyi

1.Giriş

Betonarme karkas yapılarda taşıyıcı özelliği bulunmayan fakat taşıyıcı elemanlar arasında dolgu görevi görerek bir nebzede olsa taşıyıcı elemanlara katkısı bulunan ve yığma yapılarda ise tamamen taşıyıcı özellik gösteren dolgu duvarların güçlendirilmesinin faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Dolgu duvarlar betonarme yapılarda hesaplar sırasında göz önünde çok bulundurulmamasına rağmen yapıda dinamik yük taşıma kapasitesine etkisi göz ardı edilemeyecek ölçüdedir [1]. Yığma yapılarda ise duvarlar tamamen taşıyıcı görevi gördüğünden betonarme binalardaki duvarlardan daha fazla önemlidir. Bu önem doğrultusunda dayanımlarının arttırılması için farklı güçlendirme metodları kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi olan delikli levhalar ile güçlendirilmiş duvar numuneleri üzerinde yapılan deneylerde levha kalınlığı ve levha

birleşimlerinde kullanılan bulonların arasındaki mesafesi parametre olarak değiştirilip deneye tabi tutulmuş ve deney sonuçları ile yaklaşık hesap ve modelleme yöntemi olıuşturulmuştur [3].

Son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan CFRP ile güçlendirilen duvarların dayanımlarında olumlu yönde artış olduğu gözlenmiştir [4,5]. Bu iki yöntem birleştirerek araştırıldığında daha olumlu etlkileri gözlenmiştir [6]. Yanı sıra çelik tel katkılı sıva kullanmak [7], duvar sıvası içerisine yapıştırıcı veya cam lifi karıştırmak [8], Pvc katkılı harç ile güçlendirme [9], gibi birçok yöntem araştırmalara konu olmuştur. Bu yöntemlerin araştırılmaları, genellikle laboratuar ortamında imal edilen duvarlar üzerinde genellikle iki farklı yükleme yöntemi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu çalışmamızda bu yükleme yöntemlerinden biri olan diyagonal basınç yükleme metodu ile numunelere yükleme yapılmıştır. Bu yükleme esnasında laboratuarda yükleme düzeneği elle çalıştırıldığından yükleme hızına bağlı olarak numunelerin davranışlarında farklılıklar gözlenmiştir. Bu çalışma kapsamında bahsedilen güçlendirme yöntemlerinden farklı olarak, genellikle zemin iyileştirmesinde kullanılan ve birçok üretim tekniği bulunan sentetik fiber malzeme olan geogrid (Şekil 1) kullanılarak güçlendirilen numunelerin davranışı araştırılmıştır.

Şekil 1-Sentetik Fiber Donatı (Geogrid)

Standartlara uygun derz harcı ve yatay delikli 19*19*8,5 cm ölçülerindeki tuğlalar ile imal edilmiş 79*79*8,5 cm ebatlarındaki toplam 9 (dokuz) adet duvar numunesinin 3 (üç) tanesi referans olarak bırakılmış, 3 (üç) tanesi standartlara uygun karışım oranına sahip sıva ile sadece sıvama işlemine tabi tutulmuş ve son 3 (üç) taneside geogrid ile güçlendirilerek sıvama işlemine tabi tutulmuştur. (Şekil 2)

Şekil 2-Geogrid Ile Güçlendirilmiş Ve Sıvama Işlemi Görmüş Duvar Numunesi

2.Deneylerin Yapılışı

İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuarında bulunan ve bu çalışmamızda yükleme düzeneği olarak kullanılan diyagonal basınç yükleme düzeneği kullanılmıştır. (Şekil 3).

Şekil 3- Diyagonal Yükleme Düzeneği ve Yüklemeye Hazır Numune

Diyagonal yükleme sırasında yük başlığı ile numune üzerine gelen yük, deplasman ölçerler (LVDT) sayesinde numunenin üzerinde belirlenen bir noktanın düşey hareketi ölçülerek deney sonuçlarına ulaşılacaktır.

Şekil 4-Yükleme Sonrası Güçlendirilmiş Numune

Şekil 4'te görüleceği üzere, yükleme sonucunda yapısal hasar görmüş güçlendirilmiş numune diyagonal doğrultuda çatlamalar gerçekleştirmiş fakat güçlendirilme işleminden dolayı numunede kopma gerçekleşmemiştir.

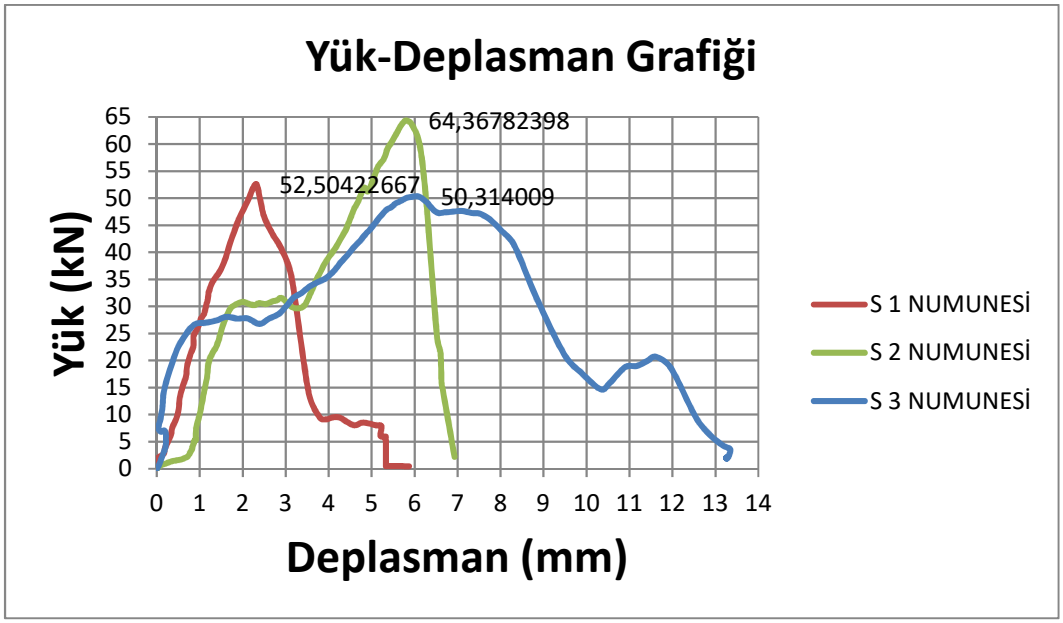
3.Bulgular ve Tartışma

Toplamda 9 (dokuz) adet numune üzerinde gerçekleştirilen numunelerin deney donuçları Tablo 1'de gösterilmiştir.

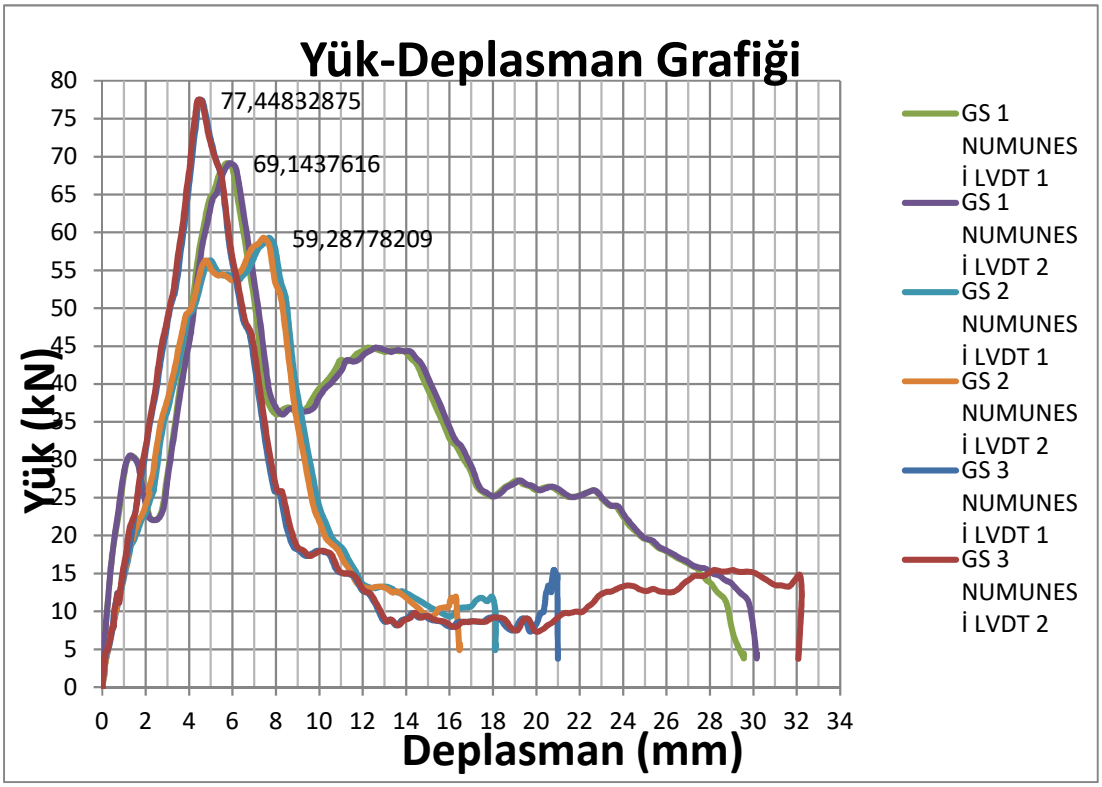
Tablo 1. Deney Sonucu Numunelerin Taşıma Kapasiteleri

Grup İsmi	Numune İsmi	P_{maks}	P_{maks}(ort)	P_{maks} Kıyas
B	B1	34,71	24,80	100
	B2	19,79		
	B3	19,91		
S	S1	52,50	55,73	224,71
	S2	64,37		
	S3	50,31		
GS	GS1	69,14	68,62	276,69
	GS2	59,28		
	GS3	77,44		

Yyükleme sonucunda duvar numunelerinin taşıma kapsiteleri kıyaslandığında güçlendirilen numunenin referans numuneye gore %176.69 oranda artış, güçlendirilmeden sıvanmış numuneye gore %124.71 oranda artış gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 5-Güçlendirme Yapılmamış Sıvalı Numunelerin Deney Sonucu Düşey Yük –Yatay Deplasman Grafiği



Şekil 6-Geogridle Güçlendirilmiş ve Sıvalı Numunelerin Deney Sonucu Düşey Yük – Yatay Deplasman Grafiği

Deney sonuçlarında ölçümlerden elde edilen düşey yük- yatay deplasman grafiklerinden elde edilen enerji yutma kapasitelerinin kıyaslanması Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Deney sonucu numunelerin enerji yutma kapasiteleri

Grup İsmi	Numune İsmi	Enerji Yutma Kapasitesi (joule)	Enerji Yutma Kapasitesi (joule) (ort)	Enerji Yutma Kapasitesi Kıyas
B	B1	111,631	93,418	100
	B2	130,677		
	B3	37,945		
S	S1	127,718	250,926	268,6
	S2	226,166		
	S3	398,895		
GS	GS1	972,696	704,149	753,76
	GS2	483,665		
	GS3	656,088		

4.Sonuçlar

Çalışma kapsamında yapılan literatür taramaları, deneysel çalışmalar ve gözlemler neticesinde elde edilen sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Deney sonuçlarında elde edilen düşey yük-yatay deplasman grafikleri incelendiğinde (Şekil-5 ve Şekil-6) Güçlendirme işleminin numunelerin taşıma gücü kapasitesinde, kayma dayanımında ve enerji yutma kapasitelerinde olumlu yönde bir katkısının olduğu gözlenmiştir.
- Güçlendirme işlemi görmüş numunelerde gerçekleşen çatlakların maksimum taşıma gücüne ulaşana kadar devam ettiği fakat bu çatlaklardan kaynaklı numunede herhangi bir kopma veya ayrılma görülmemiştir. Numunelerde sadece sıva çatlağı tespit edilmiştir.
- Deney düzeneğinde bulunan alt ve üst yükleme başlıklarına yakın dolgu duvar malzemesinin tuğlanın dayanımının numune dayanımında önemli rol oynadığı anlaşılmıştır.
- Deney esnasında kullanılan ölçüm aletlerinin çeşitleri arttırılarak diğer kıyaslama değerleri de elde edilerek çalışmaların kapsamı genişletilmelidir.

Kaynaklar

1. Triantafillou, T. C. (1998). Strengthening of masonry structures using epoxy-bonded FRP laminates. *Journal of composites for construction*, *2*(2), 96-104.
2. Acun, B., & Sucuoğlu, H. (2005). Tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin hasır donatı ile güçlendirilmesi. *Deprem Sempozyumu Kocaeli*, 23-25.
3. Özbek, E., Aykaç, B., Can, H., Kalkan, İ., & Aykaç, S. (2019). Delikli levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların hesabı için öneriler. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(1), 1-16.
4. Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U., & Ozcebe, G. (2006). An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames. Engineering Structures, 28(13), 1843-1851.

5. Keskin, E. (2005). Betonarme yapıların onarımı, güçlendirilmesi ve lifle güçlendirilmiş polimerler (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
6. Alsancak E., Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerin Hasır Çelikli Betonarme Plaklarla Güçlendirilmesi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Manisa2007.
7. SEVİL, T., BARAN, M., & CANBAY, E. (2010). Tuğla dolgu duvarların B/A çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; deneysel ve kuramsal çalışmalar. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 2(2), 35-42.
8. El-Dakhakhni, W. W., Hamid, A. A., Hakam, Z. H. R., & Elgaaly, M. (2006). Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonry walls using composites. Composite Structures, 73(4), 458-477.
9. Atay M.N., Tuğla Dolgu Duvarların Plastik Atık Malzeme, Lifli Polipropilen ve Geogrid İle Güçlendirilmesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ve Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüleri Ortak Yüksek Lisans Programı Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye 2017.

The Dynamic Behavıor And Response Of A Thıck Plate At The Kocaeli Earthquake In Turkey

Y. I. Özdemir[1], T. Dede[2]

[1, 2] Civil Eng., Department of Civil Engineering, Karadeniz Technical University, 61080 Trabzon, Turkey.

Abstract

This paper focuses on the study of dynamic analysis of thick plates resting on Winkler foundation. The governing equation is derived from Mindlin's theory. This study is a parametric analysis of the reflections of the thickness / span ratio, the aspect ratio and the boundary conditions on the earthquake excitations are studied. In the analysis, finite element method is used for spatial integration and the Newmark-β method is used for the time integration. While using finite element method, a new element is used. This element is 17-noded and it's formulation is derived from using higher order displacement shape functions. C ++ program is used for the analyses. Graphs are presented to help engineers in the design of thick plates subjected to earthquake excitations. It is concluded that the 17-noded finite element is used in the earthquake analysis of thick plates. It is shown that the changes in the aspect ratio are more effective than the changes in the aspect ratio.

Keyword(s): Forced vibration analysis, Winkler foundation, Thick Mindlin plates, Shear lockin free element, Finite element method.

1. Introduction

The plates resting on elastic foundation is one of the most popular topics for the last decade in many engineering application. Winkler model, Pasternak model, Hetenyi model, Vlasov and Leont'ev model are the models used by the researchers to calculate the soil effects on the plate.

Winkler model is used as a set of uncorrelated elastic springs attached to each node of the plate (Winkler, 1867). In this method, the deflections are only related with the load on the plate. The deflection of neighbouring points of the foundation is independent of each other. Hetenyi (1950) proposed a two-parameter model, Pasternak model takes in to account the effects of shear interaction among joining points in the foundation (Pasternak, 1957). Vlasov and Leont'ev (1989) related the solution with a γ parameter which is calculated with soil material and thickness of the soil.

The dynamic behavior of thick elastic plates has been investigated by many researchers [Tahouneh 2014; Benferhat et al., 2016; Zamani et al., 2017; Senjanovic et al., 2017]. Omurtag and Kadıoğlu (1998) are studied free vibration analysis of orthotropic plates resting on Pasternak foundation by mixed finite element formulation, Ayvaz Y. and Oguzhan C.B. (2008) are analysis free vibration of thick plates resting on Vlasov elastic foundation.

The purpose of this paper is to study parametric earthquake analysis of thick plates resting on Winkler foundation, to determine the effects of the thickness/span ratio, the aspect ratio on the linear responses of the thick plates subjected to earthquake excitations. A computer program using finite element method is coded in C++ to analyse the plates clamped along all four edges. In the program, the finite element method is used for spatial integration and the Newmark-β method is used for the time integration. Finite element formulation of the equations of the thick plate theory is derived by using second order displacement shape functions. In the analysis, 8-noded finite element is used to construct the stiffness and mass matrices.

2.Mathematical model

The governing equation for a flexural plate (Figure 1) subjected to an earthquake excitation without damping can be given as [Tedesco et al., 1999]

$$[M]\{\ddot{w}\}+[K]\{w\}=[F]=-[M]\{\ddot{u}_g\} \tag{1}$$

where [K] and [M] are the stiffness matrix and the mass matrix of the plate, respectively, w and $\ddot{w}$ are the lateral displacement and the second derivative of the lateral displacement of the plate with respect to time, respectively, $\ddot{u}_g$ is the earthquake acceleration.

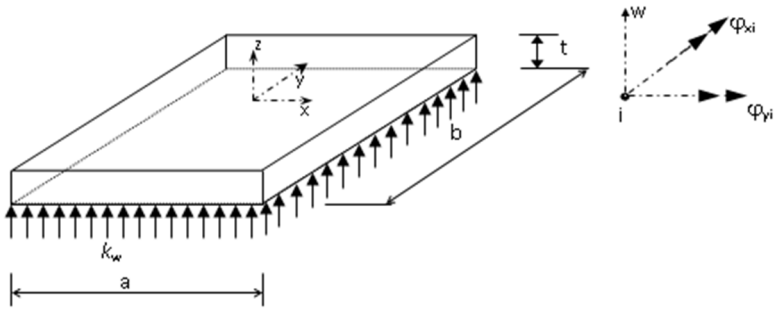


Figure 1. The sample plate used in this study

In order to do forced vibration analysis of a plate, the stiffness, [K], mass matrices, [M], and equivalent nodal loads vector, [F], of the plate should be constructed. The evaluation of these matrices is given in the following sections.

The total strain energy of plate-soil-structure system (see Fig. 1) can be written as;

$$\Pi=\Pi p+\Pi s+V \tag{2}$$

where Πp is the strain energy in the plate,

$$\prod_p = \frac{1}{2}\int_A \begin{pmatrix} -\frac{\partial \varphi_x}{\partial x} & \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} & -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y}+\frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \end{pmatrix}^T E_\kappa \begin{pmatrix} -\frac{\partial \varphi_x}{\partial x} & \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} & -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y}+\frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \end{pmatrix} d_A +$$

$$\frac{k}{2}\int_A \begin{pmatrix} -\varphi_x+\frac{\partial w}{\partial x} & \varphi_y+\frac{\partial w}{\partial y} \end{pmatrix}^T E_\gamma \begin{pmatrix} -\varphi_x+\frac{\partial w}{\partial x} & \varphi_y+\frac{\partial w}{\partial y} \end{pmatrix} d_A - \quad (3)$$

where Πs is the strain energy stored in the soil,

$$\prod_s = \frac{1}{2}\int_0^H \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} \sigma_{ij}\varepsilon_{ij} \quad (4)$$

and V is the potential energy of the earthquake loading;

$$V = -\int_A \bar{q} w d_A \quad (5)$$

In this equation E_κ and E_γ are the elasticity matrix and these matrices are given below at Eq. (14), $\bar{q}$ shows earthquake loading.

2.1. Evaluation of the Stiffness Matrix

The total strain energy of the plate-soil system according to Eq. (2) is;

$$U_e = \frac{1}{2}\int_A \begin{pmatrix} -\frac{\partial \varphi_x}{\partial x} & \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} & -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y}+\frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \end{pmatrix}^T E_\kappa \begin{pmatrix} -\frac{\partial \varphi_x}{\partial x} & \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} & -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y}+\frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \end{pmatrix} d_A +$$

$$\frac{k}{2}\int_A \begin{pmatrix} -\varphi_x+\frac{\partial w}{\partial x} & \varphi_y+\frac{\partial w}{\partial y} \end{pmatrix}^T E_\gamma \begin{pmatrix} -\varphi_x+\frac{\partial w}{\partial x} & \varphi_y+\frac{\partial w}{\partial y} \end{pmatrix} d_A + \frac{1}{2}\int_A \left(w_{x,y}\right)^T K \left(w_{x,y}\right) d_A \quad (6)$$

At this equation the first and second part gives the conventional element stiffness matrix of the plate, [kpe], differentiation of the third integral with respect to the nodal parameters yields a matrix, [kwe], which accounts for the axial strain effect in the soil. Thus the total energy of the plate-soil system can be written as;

$$U_e = \frac{1}{2}\{w_e\}^T \left(\left[k_p^e\right] + \left[k_w^e\right]\right)\{w_e\} d_A \quad (7)$$

where

$$\{w_e\} = \begin{bmatrix} w_1 & \varphi_{y1} & \varphi_{x1} & \dots & w_n & \varphi_{yn} & \varphi_{xn} \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

Assuming that in the plate of Fig. 1 u and v are proportional to z and that w is the independent of z (Mindlin, 1951), one can write the plate displacement at an arbitrary x, y, z in terms of the two slopes and a displacement as follows;

$$\{w, v, u\} = \{w_0(x,y,t),\ z\varphi_y(x,y,t),\ -z\varphi_x(x,y,t)\} \quad (9)$$

where w_0 is average displacement of the plate, and φ_x and φ_y are the bending slopes in the x and y directions, respectively.

The nodal displacements for 17-noded quadrilateral serendipity element (MT17) (Fig. 2) can be written as follows;

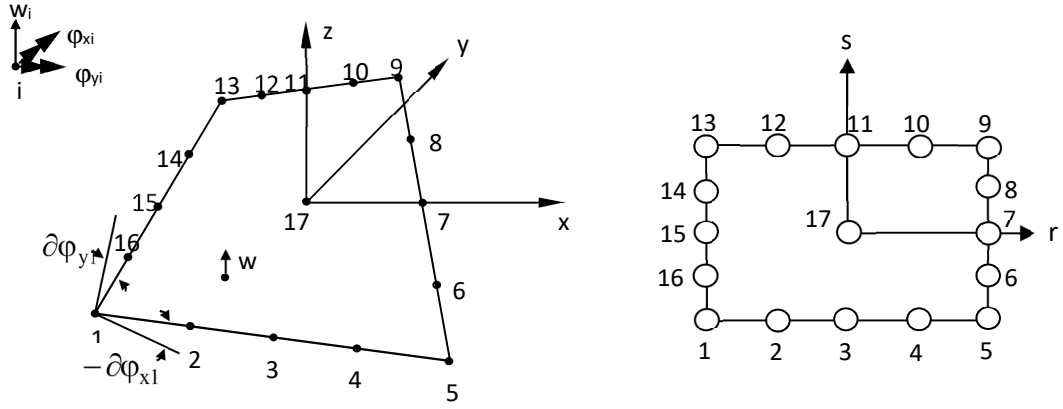


Figure 2. 17-noded quadrilateral finite element used in this study [Özdemir et al., 2007]

$$w=\sum_{1}^{17} h_i w_i \;,\; v=z\phi_y=z\sum_{1}^{17} h_i \varphi_{yi} \;,\; u=-z\phi_x=-z\sum_{1}^{17} h_i \varphi_{xi} \qquad i=1,...,17 \text{ for } 17\text{ - noded element}, \tag{10}$$

if displacement function derived for 17-noded element;

$$\begin{aligned} w = {} & c_1 + c_2 r + c_3 s + c_4 r^2 + c_5 rs + c_6 s^2 + c_7 r^2 s + c_8 rs^2 + c_9 r^3 + c_{10} r^3 s + c_{11} rs^3 \\ & + c_{12} s^3 + c_{13} r^2 s^2 + c_{14} r^4 + c_{15} r^4 s + c_{16} rs^4 + c_{17} s^4 . \end{aligned} \tag{11}$$

With this assumption, the displacement shape function can be formed;

$$h = [h_1,..., h_{17}] . \tag{12}$$

Then, the strain-displacement matrix [B] for this element can be written as follows Cook et al., 1989:

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\dfrac{\partial h_i}{\partial x} & \cdots \\ 0 & \dfrac{\partial h_i}{\partial y} & 0 & \cdots \\ 0 & \dfrac{\partial h_i}{\partial x} & -\dfrac{\partial h_i}{\partial y} & \cdots \\ \dfrac{\partial h_i}{\partial x} & 0 & -h_i & \cdots \\ \dfrac{\partial h_i}{\partial y} & h_i & 0 & \cdots \end{bmatrix}_{5x51} \qquad i=1,...,17 \text{ for } 17\text{ - noded element} \tag{13}$$

The stiffness matrix for MT8 element can be obtained by the following equation [Cook et al., 1989].

$$k_p = \int_V B^T E B dV = \int_V \begin{bmatrix} z\overline{B}_k^T & B_\gamma^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_k & 0 \\ 0 & E_\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z\overline{B}_k^T \\ B_\gamma^T \end{bmatrix} dV$$
$$k_p = \int_V \left(z^2 \overline{B}_k^T E_k \overline{B}_k \right) + \left(\overline{B}_\gamma^T E_\gamma \overline{B}_\gamma \right) dV. \quad (14)$$

Integration of Equation (14) through the thickness yields;

$$k_p = \int_A \left(\overline{B}_k^T \overline{E}_k \overline{B}_k + \overline{B}_\gamma^T \overline{E}_\gamma \overline{B}_\gamma \right) dA \quad (15)$$

where the first term concerns with the bending and the second term concerns with the shear effects of the thick plate. Thus,

$$k_p = \int_A \overline{B}^T \overline{E B} dA = \int_{-1}^{1} \int_{-1}^{1} \overline{B}^T \overline{E B} |J| dr ds \quad (16)$$

which must be evaluated numerically [Bathe, 1996].

2.2. Foundation formulation

As explained before, Winkler model is the simplest model for the plates resting on elastic foundation. In this model, all the deflections on the plate are due to the load on it. The foundation is represented with a set of uncorrelated elastic springs. So in the analysis, the stiffness of these springs are calculated and are added to the element stiffness matrix. The stiffness matrices for the Winkler foundation can be derived by;

$$k_w = k \int_{-1}^{1} \int_{-1}^{1} [h]^T [h] |J| dr ds . \quad (17)$$

where k is the elastic foundation modulus.

After calculating all element stiffness matrices, global stiffness matrix can be assembled as;

$$[K] = \sum_{i=1}^{p_e} \left([k_p] + [k_w] \right) \quad (18)$$

where p_e is the node number.

2.3. Evaluation of the mass matrix

The formula for the consistent mass matrix of the plate may be written as

$$M = \int_\Omega H_i^T \mu H_i d\Omega \ . \quad (19)$$

In this equation, μ is the mass density matrix of the form [Tedesco et al., 1999]

$$\mu = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, \quad (20)$$

where m1=ρpt, m2=m3= $\frac{1}{12}\left(\rho_p t^3\right)$, and ρp is the mass densities of the plate. and Hi can be written as follows,

$$H_i = \begin{bmatrix} dh_i/dx & dh_i/dy & h_i \end{bmatrix} \qquad i = 1 \ldots 8.. \quad (21)$$

It should be noted that the rotation inertia terms are not taken into account. By assembling the element mass matrices obtained, the system mass matrix is obtained.

2.4. Evaluation of equivalent nodal loads vector

Equivalent nodal loads, [F], can be obtained by the following equation.

$$[F] = \int H_i^T \bar{q} d\Omega. \tag{22}$$

In this equation, Hi can be obtained by Equation (21), and $\bar{q}$ denotes

$$-[M]\{\ddot{u_g}\} \tag{23}$$

It should be noted that, in this study, the program, MATLAB, is used for the eigenvalue solution of Equation (1). It should also be noted that, the Newmark-β method is used for the time integration of Equation (2) by using the average acceleration method.

3.Numerical examples

3.1. Data for numerical examples

In the light of the results given in references [Özdemir et al., 2007; Özdemir, 2007], the aspect ratios, b/a, of the plate are taken to be 1, 2.0, and 3.0. The thickness/span ratios, t/a, are taken as 0.05, 0.1, 0.2, and 0.3 for each aspect ratio. The shorter span length of the plate is kept constant to be 3 m. The mass density, Poisson's ratio, and the modulus of elasticity of the plate are taken to be 2.5 kN s^2/m^2, 0.2, and 2.7x107 kN/m^2. Shear factor k is taken to be 5/6. The subgrade reaction modulus of the Winkler-type foundation is taken to be 5000 kN/m^3.

In the time history analysis to obtain the response of each plate the first 10 sn of Vertical component of the January 17, 1995 Kobe earthquake in Japan is used. Duration of this earthquake is 20 s, but the peak value of the record occurred in the first 10 s of the earthquake (Figure 3).

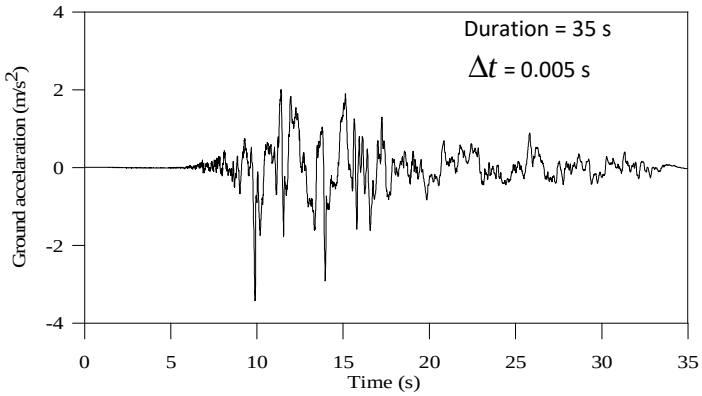


Figure 3. YPT330 component of the August 17, 1999 Kocaeli earthquake in Turkey

For the sake of accuracy in the results, rather than starting with a set of a finite element mesh size and time increment, the mesh size and time increment required to obtain the desired

accuracy were determined before presenting any results This analysis was performed separately for the mesh size and time increment. It was concluded that the results have acceptable error when equally spaced 8x8 mesh sizes are used for a 3 m x 3 m plate even if it is a thin plate, if the 0.01s time increment is used. Length of the elements in the x and y directions are kept constant for different aspect ratios as in the case of square plate.

3.2. Results

One of the purposes of this paper was to determine the time histories of the displacements and the bending moments at different points of the thick plates subjected to earthquake excitations, but presentation of all of the time histories would take up excessive space. Hence, only the absolute maximum displacements and bending moments for different thickness/span ratio and aspect ratio are presented after two time histories are given. This simplification of presenting only the maximum responses is supported by the fact that the maximum values of these quantities are the most important ones for design. These results are presented in graphical rather than in tabular form.

The absolute maximum displacements of the thick plates for different aspect ratios, and thickness/span ratios are given in Figure 4 for the thick plates clamped along all four edges.

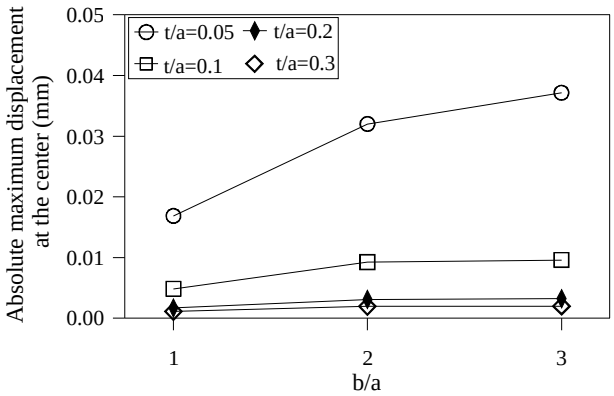


Figure 4. Absolute maximum displacement of the reinforced concrete thick clamped plates resting on Winkler foundation for different aspect ratios and thickness/span ratios.

As seen from Figure 4, the absolute maximum displacements of the thick plates increase with increasing aspect ratio for a constant t/a ratio. The same displacements decrease with increasing t/a ratio for a constant b/a ratio. As also seen from these figures, the decrease in the absolute maximum displacement for a constant b/a ratio increases with increasing b/a ratio. The curves for a constant value of the aspect ratio, b/a are fairly getting closer to each other as the value of t/a increases. This shows that the curves of the absolute maximum displacements will almost coincide with each other when the value of the thickness/span ratio, t/a, increases more. In other words, the increase in the thickness/span ratio will not affect the absolute maximum displacements after a determined value of t/a.

The absolute maximum bending moments M_x at the center of the thick plates for different aspect ratios and thickness/span ratios are given in Figure 5 for the thick clamped plates.

As seen from Figure 5, the absolute maximum bending moment, Mx, at the center of the thick clamped plates, as in the case of the absolute maximum bending moment, Mx, at the center of the thick and thin simply supported plates, increases with increasing aspect ratio and thickness/span ratio. The increases in the absolute maximum bending moment, Mx, increase with increasing aspect and thickness/span ratios. This is also understandable that increasing the aspect ratio makes the plate stiffer in the short span, the x axis, direction. As also seen from this figure, in general, the effects of the changes in the aspect ratios on the absolute maximum bending moment, Mx, are larger than the changes in the thickness/span ratios.

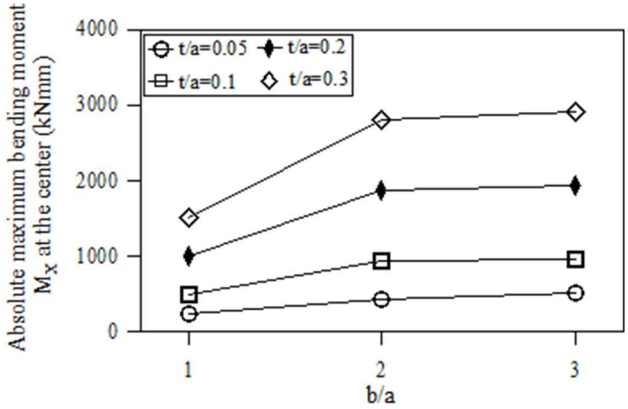


Figure 5. Absolute maximum bending moment M_x at the center of the reinforced concrete thick clamped plates resting on Winkler foundation for different aspect ratios and thickness/span ratios.

The absolute maximum bending moments M_y at the center of the thick plates for different aspect ratios and thickness/span ratios are given in Figure 6 for the thick simply supported plates.

As seen from Figure 6, the absolute maximum bending moment, My, at the center of the thick clamped plates, as in the case of the absolute maximum bending moment, My, at the center of the thick simply supported plates, decreases with increasing aspect ratio and increases with increasing thickness/span ratio. The decrease in the absolute maximum bending moment, My, increase with increasing aspect ratio. The increase in the absolute maximum bending moment, My, increases with increasing thickness/span ratios. This is also understandable that increasing the aspect ratio makes the thick plates more flexible in the long span, the y axis, direction. As also seen from this figure, in general, the effects of the changes in the thickness/span ratios on the absolute maximum bending moment, My, are larger than the changes in the aspect ratios.

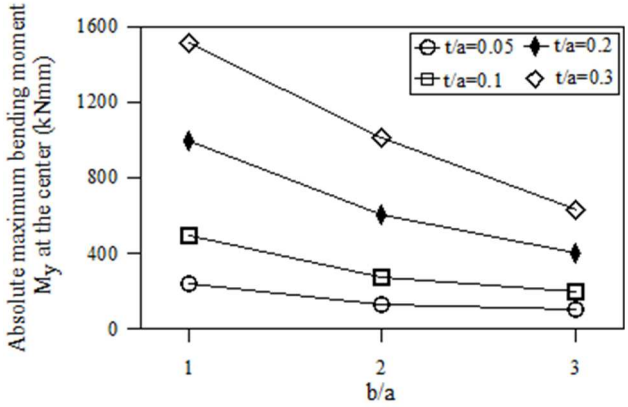


Figure 6. Absolute maximum bending moment M_y at the center of the reinforced concrete thick clamped plates resting on Winkler foundation for different aspect ratios and thickness/span ratios.

In this study, the absolute maximum bending moments M_x at the center of the edge in the y direction and the maximum bending moment M_y at the center of the edge in the x direction are not presented for the thick plates clamped along all four edges. It should be noted that the variations of these moments are similar to the absolute maximum bending moments M_x at the center of the thick clamped plates.

4. Conclusions

The aim of this study is to analyze parametric earthquake analysis of thick plates resting on Winkler foundation with using shear locking-free finite elements and to detect the effects of the thickness/span ratio, the aspect ratio and the boundary conditions on the linear responses of the thick plates resting on Winkler foundation subjected to earthquake excitations. After the analysis it is detected that 17-noded finite element can be easy and effective used in the earthquake analysis of thick plates resting on elastic foundation without shear locking-problem and that if this element is used in an analysis, it is not necessary to use finer mesh. No matter what the mesh size is unless it is less than 4x4. The coded program can be effectively used in the earthquake analyses of any thick plates resting on elastic foundation. As also seen that, in general, the changes in the thickness/span ratio are more effective on the maximum responses considered in this study than the changes in the aspect ratio.

The following conclusions can also be drawn from the results obtained in this study.

The absolute maximum displacements of the thick plates increase as the aspect ratio increases for a constant t/a ratio. The same displacements decrease as the t/a ratio increases for a constant b/a ratio.

The changes in the aspect ratios are generally less effective on the absolute maximum displacement than the changes in the thickness/span ratios.

The absolute maximum bending moment, M_x, at the center of the thick clamped plates resting on Winkler foundation increases with increasing aspect ratio and thickness/span ratio.

The changes in the aspect ratios are generally more effective on the absolute maximum bending moment, M_x, of the thick clamped plates resting on Winkler foundation than the changes in the thickness/span ratios.

The absolute maximum bending moment, M_y, at the center of the thick clamped plates resting on Winkler foundation decreases with increasing aspect ratio and increases with increasing thickness/span ratio.

The changes in the thickness/span ratios are generally more effective on the absolute maximum bending moment, M_y, of the thick clamped plates resting on Winkler foundation than the changes in the aspect ratios.

In general, degrees of decreases and increases depend on the changes in the aspect and thickness/span ratios, and the changes in the thickness/span ratio are more effective on the maximum responses considered in this study than the changes in the aspect ratio.

REFERENCES

Ayvaz Y. and Oguzhan C.B. (2008) "Free vibration analysis of plates resting on elastic foundations using modified Vlasov model.," *Structural Engineering Mechanics*., 28(6), 635-658.

Bathe, K.J. (1996), Finite Element Procedures, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Benferhat R., Daouadji T.H., Mansour M.S and Hadji L. (2016), "Effect of porosity on the bending and free vibration response of functionally graded plates resting on Winkler-Pasternak foundations," *Eartquakes.& Structures*, 10(6), 1429-1449.

Cook, R.D. and Malkus, D.S. and Michael, E.P. (1989), Concepts and Applications of Finite Element Analysis. John Wiley & Sons, Inc., Canada.

Hetenyi, M. (1950), "A general solution for the bending of beams on an elastic foundation of arbitrary continuity." *Journal of Appied. Physics*. 21, 55-58.

Mindlin, R.D. (1951)," Influence of rotatory inertia and shear on flexural motions of isotropic, elastic plates", *Journal of Applied Mechanics*; 18, 31-38.

Omurtag, M.H., and Kadıoğlu, F. (1998), "Free vibration analysis of orthotropic plates resting on Pasternak foundation by mixed finite element formulation," *Computers & Structures*, 67, 253-265.

Özdemir Y. I., Bekiroğlu S. and Ayvaz Y. (2007), "Shear locking-free analysis of thick plates using Mindlin's theory," *Structural Engineering Mechanics*., 27(3), 311-331.

Özdemir Y. I., (2012), "Development of a higher order finite element on a Winkler foundation", *Finite Element. Analiysis and Design*., 48, 1400-1408.

Pasternak, PL. (1954) “New method of calculation for flexible substructures on two-parameter elastic foundation”. Gasudarstvennoe Izdatelstoo. Literatury po Stroitelstvu I Architekture, 1-56, Moskau.

Senjanovic I.; Tomic M., Hadzic N., Vladimir N. (2017), “Dynamic finite element formulations for moderately thick plate vibrations based on the modified Mindlin theory,” *Engineering. Structures*, 136, 100-113.

Tahouneh V. (2014), “Free vibration analysis of thick CGFR annular sector plates resting on elastic foundations,” *Structural Engineering Mechanics*., 50(6), 773-796.

Tedesco J. W., McDougal W. G., Ross C.A. (1999), Structural Dynamics, Addison Wesley Longman Inc., California.

Weaver W. and Johnston P. R. (1984), Finite Elements for Structural Analysis, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Winkler, E. (1867), Theory of Elasticity and Strength, Dominicus Pague, Czechoslovakia.

Vlasov, VZ., Leont’ev, NN. (1989) Beam, plates and shells on elastic foundations. GIFML, Moskau.

Zienkiewich O.C., Taylor RL. and Too JM. (1989), The Finite Element Method, fourth ed., McGraw-Hill, New York.

BİNALARDA DEPREM RİSK DEĞERLENDİRİLMESİNİN GÖRSEL İNCELEME YÖNTEMLERİ KULLANILARAK MOBİL CİHAZLARLA YAPILMASI

A. Samet ARSLAN[1], Murat Gökçe TEKEL[2]

[1,2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye
e-posta: mgtekel@gmail.com, aarslan@gazi.edu.tr

Özet

Mevcut yapı stoğunun durumu hakkında bilgi bankası oluşturulması, Türkiye gibi deprem riski altında yaşayan ülkeler için büyük önem arz etmektedir. Mevcut tekniklerin çoğu, uzman kişilerce yapılan, detaylı mühendislik çalışmaları gerektiren yöntemler içermektedir. Dijital ortam veri toplama teknikleri ise sınırlı bina tiplerini kapsamakta ve ulaşılabilirlik açısından zayıf kalmaktadır. Bu çalışmada, bilgiye ulaşılabilirliğin arttırılması ve böylelikle mevcut yapı stoğu hakkında en hızlı şekilde bir ön değerlendirme bilgi bankası oluşturulması konusunda yapılan çalışmalar sunulmaktadır. Çalışmada Mobil cihaz işletim sistemleri (IOS, Android, Windows Phone) üzerinde çalışacak şekilde düzenlenmiş bir uygulama olup, bu durum kullanıcı kitlesi kapsamını oldukça arttırmaktadır. Hitap ettiği kitlenin mümkün olduğu kadar geniş tutulması hedeflenerek, kullanıcıya yöneltilecek sorular herhangi bir uzmanlık gerektirmeyen ve şıklar içinde görsel örnekler barındıran tipte düzenlenmiştir. Kısacası hazırlanan soru metinleri uzmanlık ve mühendislik bilgisi gerektirmeden cevaplanabilecek türdendir. Yığma, betonarme, ahşap/kerpiç tüm yapıları kapsamına alan uygulama ile kullanıcının dakikalar içerisinde binası hakkında ön risk değerlendirmesi yapabilmesine olanak sağlanırken, gerçek zamanlı olarak mevcut bir yapı stok durumu bilgi bankasına da kayıt yaptırabilecektir. Elde edilen veriler, afet riskini azaltma kapsamında değerlendirilerek, risk altındaki yapılara erken müdahale hızını oldukça arttıracak ve birçok olası can kaybının önüne geçilebilecektir.

Anahtar Kelimeler : Deprem, Risk, Mobil Cihazlar, Görsel Değerlendirme, Yapı Risk Değerlendirme

1. Giriş

Bu çalışma ile hızla eskimekte olan mevcut yapı stoğunun, mevcut yöntemlerden daha hızlı ve verimli bir şekilde risk değerlendirmesinin yapılabilmesi hedeflenmiştir. Mevcut yöntemler; sahada, uzmanlarca geliştirilen soru formlarının cevaplandırılması ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada amaçlanan, halkın da dahil edildiği bir risk değerlendirme yöntemi geliştirmek ve yapı stoğu hakkında bilgi bankası oluşturmaya yardımcı olacak mobil uygulama geliştirmektir.

Çalışma konusu uygulama, kaynak yöntemler ışığında, uzman olmayan kişilerin de cevaplandırabileceği soru formları oluşturarak, kişilere yöneltmemizi sağlayacaktır. Her biri kendine ait değerlendirme puanlarına sahip bu soruların cevaplandırılması sonucu yapı ön risk

değerlendirme puanı elde edilecektir. Elde edilen değerler gerçek zamanlı olarak yönetici bilgi bankasında toplanacaktır. Oluşturulan bilgi bankasının, ülke yapı stoğu durumu hakkında bilgi vermesi hedeflenmektedir. Bu yöntem, riskli olarak nitelendirebileceğimiz yapıların daha kolay tespit edilebilmesini sağlayacaktır.

2. Mevcut Çalışmaların İncelenmesi

FEMA 154, FEMA-General Earthquake Inspection Checklist, Mevcut Betonarme Binaların Deprem Yükü Altında Yapısal Performans Değerlendirmesini Yapan İnternet Tabanlı Yazılım Geliştirilmesi (YÜCEL, Mustafa Can, Prof.Dr.Ahmet TÜRER), Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar 2019 yönetmeliği ve tespit formaları, European Commison-D.G. Enviroment Civil Protection, Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 çalışmaları incelenmiştir.

Deprem sonrası yapı ön incelemesi için FEMA 154-General Earthquake Inspection Checklist 6 ana başlıktan oluşmaktadır. İnceleme listesi Genel Bilgiler, Bina Zemin İnceleme, Genel Bina Bilgileri, Dış İnceleme, İç İnceleme, Muhtemel İnceleme den oluşmaktadır. Değerlendirme, yapı çevre topoğrafyasından başlayıp dış, iç ve çatı olmak üzere ilerleyen sıralamaya sahiptir. Form dolduracak hedef kişi profili, çalışmanın ön gördüğü hedef kişi profiline benzerdir ve sorular herkes için net açıklayıcı hazırlanmıştır. Form geneli Evet/Hayır ve Nötr olmak üzere 3 şık sunmakta ve puanlamayla değerlendirme esasına dayanmamaktadır. FEMA tarafından 2002 yılında hazırlanmıştır. Yerinde gözlemsel verilerin puanlamasında; Olası Deprem Şiddeti ve Riski, Yapı Tipi (Betonarme, Yığma, Çelik…), Yaşı, Malzeme Kalitesi, İşçilik Kalitesi. Parametreleri göz önüne alınarak yapılmıştır. Risk değerlendirmesi, skora bağlı puanlama sistemi ile yapılmaktadır. Basic Structural Score (BSS) yapı tipine bağlı olarak seçilmektedir. Verilen cevaplara bağlı olarak yapıya bonus puan eklenmekte ya da puan eksiltmeye gidilmektedir. Hesaplama sonucu ortaya binanın risk puanı çıkmaktadır.

2019 yılı itibari ile uygulamaya giren, mevcut yapıların değerlendirilmesi amacıyla hazırlanmış olan Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar 2019 yönetmeliği ülkemiz koşullarına olan uyumuyla bu çalışmaya en yakın kaynaktır. Bu yöntem 1 ila 7 katlı mevcut yapılar için kullanılabilir. Yöntemde, yapı deprem tehlike bölgesi belirlenmesi için DD-2 deprem yer hareketi düzeyi kullanılacak ve parametre değeri (Sds) yürürlükte olan Türkiye Deprem Tehlike Haritasından alınacaktır. Parametre değeri ile RYTEİE2019 de tanımlanan zemin sınıfları arasındaki ilişki kullanılarak deprem tehlike bölgeleri belirlenecektir. Bu yöntemde, binaların performans puanları, binaların bulundukları yerin deprem tehlikesini ve mevcut bina özelliklerini yansıtan parametrelere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Form, sahada çalışma yürütecek olan teknik personelin doldurması amaçlanarak hazırlandığı için, hedef kitlesi sınırlı kalmaktadır. Ayrıca ilgili merkeze veri iletim hızı, geliştirilmekte olan yönteme oranla oldukça yavaştır.

Avrupa Komisyonu Çevre ve Sivil Koruma Programı kapsamında hazırlanan ‘Post Earthquake Damage and Usability Assesment of Buildings Final Report’ raporunda sunulan, değerlendirme formu incelemeyi gerçekleştirecek hedef kitle olarak, çalışmamıza yakınlık gösterirken.

Puanlama bazlı bir sonuç değerlendirmesi içermemektedir. Sonuç değerlendirmesi subjektif olarak formu dolduran kişi tarafından yazılı olarak yapılmaktadır.

M.C. Yücel, tarafından hazırlanmış olan çalışma, yapıların on-line görsel inceleme yöntemi ile incelenmesi ve puansal bazda bir sonuç oluşturarak risk analizi oluşturmasını sağlayan bir çalışmadır. Başlıkları altında kullanıcıya yöneltilen sorular yardımı ile yapı risk analizini gerçekleştirmektedir. Çalışma sadece betonarme yapıları değerlendirmekte kullanılabilmektedir. Eskiyen yapı stoğunda çoğunluğu oluşturan yığma yapıları ele almamaktadır.

3. Kullanıcı Tarafından Yapı Kaydı Oluşturulması

Yukarda sunulan benzer çalışmalar genellikle teknik elemanların kullanabileceği yöntemler çerçevesinde değerlendirilebilir. Sunulan bu çalışmada hedeflenen tüm yapıların gerek mobil gerekse masaüstü cihazlarla değerlendirilebilmesini sağlamaktır. İnceleme konusu yapı hakkında kullanıcıya yöneltilecek sorular; yapı kaydı, bilgi toplama formu ve değerlendirme soru formu olmak üzere 3 başlıkta belirlenmiştir.

3.1. Yeni Yapı Kaydı Formu

Tespite konu yapı ve tespiti yapan kişi hakkında bilgi edinmek amacıyla oluşturulmuştur. Kişinin kimlik bilgilerini, yapı bilgilerini girmesi, konum ve fotoğraf eklemesi istenir.

3.2. Bina Bilgi Formu

Yapı deprem tehlike bölgesi, kullanım sınıfı ve taşıyıcı sistemi bilgilerinin girilmesi beklenir.

Yapı deprem tehlike bölgesi belirlenmesi için DD-2 deprem yer hareketi düzeyi kullanılacak ve parametre değeri (Sds) yürürlükte olan Türkiye Deprem Tehlike Haritasından alınacaktır. Parametre değeri ile RYTEİE2019 Bölüm 2'de tanımlanan zemin sınıfları arasındaki ilişki kullanılarak deprem tehlike bölgeleri belirlenecektir.

Tehlike bölgesi	S_{DS}	Zemin sınıfı
I	$S_{DS} \geq 1.0$	ZC/ZD/ZE
II	$S_{DS} \geq 1.0$	ZA/ZB
	$1.0 \geq S_{DS} \geq 0.75$	ZC/ZD/ZE
III	$1.0 \geq S_{DS} \geq 0.75$	ZA/ZB
	$0.75 \geq S_{DS} \geq 0.50$	ZC/ZD/ZE
IV	$0.75 \geq S_{DS} \geq 0.50$	ZA/ZB
	$0.50 \geq S_{DS}$	Tüm zeminler

Tablo 1. Deprem Tehlike Bölgesi Belirleme

Kullanım sınıfı seçiminde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 esas alınmıştır. BKS=1 Acil durum, BKS=2 Toplu kullanım, BKS=3 Konut adlandırmaları ile tanımlanmıştır. Çarpan katsayıları yapı değerlendirmesi için oluşturulan formülde TBDY 2018 deki değerleri ile aynı alınmıştır.

Mevcut yapı stoğundaki çeşitlilikte göz önünde bulundurulmuş ve programın her yapı tipinde uygulanabilmesi böylelikle değerlendirmeye tabii tutulabilecek yapı kapsamının arttırılması hedeflenmiştir.

Betonarme, Yığma ve Ahşap/Kerpiç olarak 3 farklı seçenek karşımıza çıkmaktadır. Bu seçeneklerden hangisi işaretlenirse o yapı tipi ile ilgili olan değerlendirme formuna geçilmektedir.

3.3. Yığma Yapı Formu

Kullanıcının farklı puan değerlerine sahip 20 adet soru cevaplandırması istenmektedir. Soru seçimleri kaynak çalışmalar ve araştırmalardan faydalanılarak oluşturulmuştur. Sorular uzmanlık ya da mühendislik bilgisi gerektirmeden, herhangi bir kişinin kolayca anlayıp cevaplandırabileceği şekilde sadeleştirilmiştir. Yığma yapı soru formunda yer alan soruların bir kısmı aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

- Yığma yapı tipi
- Yapı zemin eğimi
- Çevre zemin durumu
- Bina kat adedi
- Bina plan düzeni
- Mevcut hasar durumu
- Bina nizamı
- Malzeme ve işçilik kalitesi
- Harç malzemesi
- Düşey boşluk düzeni
- Döşeme malzemesi
- Duvar birleşim noktaları
- Pencere ve kapı çalışma sorunları
- Çatlak oluşumu
- Gözlemsel durumu

Görüldüğü gibi gözleme esas yapı hakkında genel gözlemsel bilgi edinmek amacıyla düzenlenmiş basit sorulardan oluşmaktadır. Bu soruların cevapları kullanılarak teknik değerlendirme yapılmaktadır.

3.4. Betonarme Yapı Formu

Betonarme yapı soru formunda yer alan soruların bir kısmı ise;

- Betonarme taşıyıcı system tipi

- Yapı zemin eğimi
- Çevre zemin durumu
- Malzeme ve işçilik kalitesi
- Düzensizlik durumu
- Bina plan düzeni
- Komşu bina ilişkisi
- Rutubet oluşumu
- Pencere ve kapı çalışma sorunları
- Çatlak oluşumu
- Gözlemsel durumu

3.5. Ahşap/Kerpiç Yapılar Formu

Herhangi bir mühendislik hizmeti almamış, kerpiç yapılar ile rijit diyafram oluşturmayan ahşap tavanlı yapılar göz önüne alınarak oluşturulmuştur. RYTEİE 2019 yönetmeliği kapsamında, inceleme yapılmaksızın riskli olarak tespitinin öngörüldüğü yapılardır. Yapı türü olarak ahşap/kerpiç seçildiği takdirde, yapı puanı 0 olarak değerlendirilmektedir.

4. Formların Değerlendirilmesi

Kullanıcı tarafından cevaplar teknik değerlendirmeye tabi tutulduktan sonra ortaya yaklaşık yapı risk değeri puanı çıkmaktadır. Yapının değerlendirmesi kullanılacak Performans Puanı (PP), deprem tehlike bölgesi seçimi ile belirlenecek Taban Puan (TP) ile taşıyıcı sistem özelliklerinden gelen Yapı Taşıyıcı Sistem Puanı (YSP) ve soru cevaplarının puan değerlerinin toplamının, TP ile YSP toplamına bölünmesi ve 100 ile çarpılarak 100'lük sisteme dönüştürülmesi ile hesaplanmaktadır.

$$PP = ((TP + \sum^{n}_{i=1}(O_i * OP_i) + YSP) / (TP+YSP))*100$$

PP= Performans Puanı

TP= Taban Puan

O_i= Olumsuzluk Puanı

OP_i= Olumsuzluk Parametresi

YSP= Yapı Sistem Puanı

*PP 0'dan küçük çıktığı takdirde 0 kabul edilecektir.

4.1. Yığma Yapı Formu Değerlendirme

Ülkemiz yapı stoğunun önemli bir bölümünü oluşturan yığma yapıların değerlendirilebilmesi için oluşturulan soru formuna verilecek cevapların değerlendirilebilmesinde kullanılan örnek tablolar aşağıda sunulmaktadır.

Yığma Yapı Sistemi

Donatısız Yığma	Kuşatılmış Yığma	Karma (B/A Çerçeve + Yığma)
0	10	20

Tablo 2: Yığma Yapı Sistem Puanı Tablosu

Deprem Tehlike Bölgesi		
Bölge I	Bölge II-III	Bölge IV
90	100	110

Tablo 3: Taban Puan Tablosu

Olumsuzluk Parametre No	Olumsuzluk Parametresi	Durum 1		Durum 2	
		Parametre Tespiti	Parametre Değeri	Parametre Tespiti	Parametre Değeri
2	Zemin Eğimi	Düz	0	Orta, (Yüksek)	1,(2)
3	Zemin Hasarı	Yok	0	Var	(3)
4	Kat Adedi	0-3	0	3-6,(6<x)	1,(4)
5	Plan Düzeni	Düzenli	0	Düzensiz	1
6	Hasar Durum	Yok	0	Az, Orta, (Ağır)	1, 3, (5)
7	Bina Nizamı	Ayrık	0	Bitişik	1
8	Görsel Kalite	İyi	0	Orta, (Kötü)	1, (2)
9	Harç Malz.	Çimento	0	Kireç, Çamur, Yok	2, 5, 5
10	Düşey Düzen.	Yok	0	Var	3
11	Döşeme Malz.	Betonarme	0	Ahşap, Volta	3, 3
12	Birleşim Nok.	Yok	0	Var	4
13	Pencerelerde Çatlama Kırılma	Yok	0	Var	2
14	Kapı-Pencere Zorlanma	Yok	0	Var	2
15	Kapı-Pencere Köşe Çatlak	Yok	0	Var	1
16	Devam Eden Çatlak Oluşum	Yok	0	Var	2
17	Duvar-Zemin-Tavan Birleşim. Ayrılma	Yok	0	Var	3
18	Çatlama-Kırılma Sesleri	Yok	0	Var	2
19	Bina Eğilme	Yok	0	Var	4
20	Onarım Tekrarlayan Çatlak	Yok	0	Var	3

Tablo 4: Olumsuzluk Parametre Değerleri

2. Zemin Eğimi	3. Zemin Hasarı	4. Kat Adedi	5. Plan Düzeni	6. Hasar Durumu	7. Bina Nizamı	8. Görsel Kalite
-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
9. Harç Malz.	10. Düşey Düzen.	11. Döşeme Malz.	12. Birleşim Noktaları	13. Pencerelerde Çatlama Kırılma	14. Kapı-Pencere Zorlanma	15. Kapı-Pencere Köşe Çatlak
-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
16. Devam Eden Çatlak Oluşum	17. Duvar-Zemin-Tavan Birleşim. Ayrılma	18. Çatlama-Kırılma Sesleri	19. Bina Eğilme	20. Onarım Tekrarlayan Çatlak		
-10	-10	-10	-10	-10		

Tablo 5: Yığma Bina Olumsuzluk Puanları

4.2. Betonarme Yapı Formu Değerlendirme

Betonarme yapıların değerlendirilebilmesi için oluşturulan soru formuna verilecek cevapların değerlendirilebilmesinde kullanılacak bazı örnek tablolar aşağıda verilmektedir.

Betonarme Yapı Sistemi	
Betonarme Çerçeve	Betonarme Çerçeve ve Perde
0	20

Tablo.6: Betonarme Yapı Sistem Puanı Tablosu

Deprem Tehlike Bölgesi		
Bölge I	Bölge II-III	Bölge IV
90	100	110

Tablo 7: Taban Puan Tablosu

Olumsuzluk Parametre No	Olumsuzluk Parametresi	Durum 1		Durum 2	
		Parametre Tespiti	Parametre Değeri	Parametre Tespiti	Parametre Değeri

2	Zemin Eğimi	Düz	0	Orta, (Yüksek)	1,(2)
3	Zemin Hasarı	Yok	0	Var	(3)
4	Görsel Kalite	İyi	0	Orta, (Kötü)	1, (2)
5	Yumuşak Kat / Zayıf Kat	Yok	0	Var	1
6	Düşey Düzen.	Yok	0	Var	2
7	Ağır Çıkma	Yok	0	Var	2
8	Bina Planı Düzeni	Düzenli	0	Düzensiz	1
9	Kısa Kolon	Yok	0	Var	2
10	Bina Nizamı	Ayrık	0	Bitişik	1
11	Hasar Durum	Yok	0	Az, Orta, (Ağır)	1, 3, (5)
12	Küflenme ve Su İzleri	Yok	0	Var	2
13	Pencerelerde Çatlama Kırılma	Yok	0	Var	2
14	Kapı-Pencere Zorlanma	Yok	0	Var	2
15	Kapı-Pencere Köşe Çatlak	Yok	0	Var	1
16	Devam Eden Çatlak Oluşum	Yok	0	Var	2
17	Duvar-Zemin-Tavan Birleşim. Ayrılma	Yok	0	Var	3
18	Çatlama-Kırılma Sesleri	Yok	0	Var	2
19	Bina Eğilme	Yok	0	Var	4
20	Onarım Tekrarlayan Çatlak	Yok	0	Var	3

Tablo 8: Betonarme Bina Olumsuzluk Parametre Değerleri

2. Zemin Eğimi	3. Zemin Hasarı	4. Görsel Kalite	5. Yumuşak / Zayıf Kat	6. Düşey Düzen	7. Ağır Çıkma	8. Plan Düzeni
-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
9. Kısa Kolon	10. Bina Nizamı	11. Hasar Durumu	12. Küflenme ve Su İzleri	13. Pencerelerde Çatlama Kırılma	14. Kapı-Pencere Zorlanma	15. Kapı-Pencere Köşe Çatlak
-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
16. Devam Eden Çatlak Oluşum	17. Duvar-Zemin-Tavan Birleşim. Ayrılma	18. Çatlama-Kırılma Sesleri	19. Bina Eğilme	20. Onarım Tekrarlayan Çatlak		
-10	-10	-10	-10	-10		

Tablo 9: Betonarme Bina Olumsuzluk Puanları

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada mevcut yapı stoğu tespitinin hızlandırılmasını sağlayan ve kullanıcıların yapılarının deprem risk değerlendirmesini kolay ve hızlı bir şekilde yapmasına olanak veren bir uygulama tanıtılmıştır. Ülkemiz mevcut yapı stoğunun önemli bir çoğunluğunu oluşturan yığma, ahşap/kerpiç yapılar ve betonarme yapıların risk değerlendirmesinin yapılması sağlanmıştır. Uygulama içerisinde yer alan soru formları, kaynak çalışmaların ışığında, uzmanlık ve mühendislik bilgisi gerektirmeyecek şekilde düzenlenmiş, cevap şıkları altına yerleştirilmiş görsel örneklemelerle desteklenmiştir. Uygulama platformu seçiminde, en yaygın kişisel kullanım cihazı olan cep telefonları hedef alınarak IOS, Android, Windows Phone altyapıları tercih edilmiştir. Kullanıcılar tarafından yapılan veri girişlerinin depolanması ve oluşturulan yönetici panelinden gerçek zamanlı veri bankası erişimi sağlanmıştır.

Simgeler

Sds**,** Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

Kısaltmalar

BSS, Basic structural score

DD-2, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi

FEMA, Federal Emergency Management Agency

O_i, Olumsuzluk Puanı

OP_i, Olumsuzluk Parametresi
PP, Bina performans puanı
RYTEİE2019,Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar 2019
TBDY2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TBDY2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TP, Taban puan
YSP, Yapı Sistem Puanı

Kaynaklar

1. FEMA (2014) General Earthquake Damage Inspection Checklist.
2. Stavros A. Amagmostopoulos, Marina Moretti, M. Panoutsopoulou, D. Panagiotopoulou, T. Thoma. Post Earthquake Damage And Usability Assessment of Buildings: Further Development and Applications. European Commison- D.G. Enviroment Civil Protection Final Report
3. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
4. Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar 2019
5. FEMA P-154 (2015) Rapid Visual Screening of Buildings For Potential Seismic Hazards: A Handbook Third Edition
6. YÜCEL Mustafa Can, On-line Web-Based Structural Evaluation Program Development For Existing Reinforced Concrete Buildings Against Earthquakes. A Thesis Submitted to The Graduare School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University

Betonarme Binalarda Yüzme Riskini Etkileyen Yapı Alanı-Su Seviyesi İlişkisinin İncelenmesi

M.R. Eryılmaz[1],M.Bikçe[2], S.Göçer[3]

[1,2] İnşaat Müh. Bölümü, İskenderun Teknik üniversitesi, İskenderun

[3]İnşaat Yüksek mühendisi, Mersin Karayolları Bölge Müdürlüğü, Mersin,

Emails: mehmeteryilmaz.mfbe18@iste.edu.tr, murat.bikce@iste.edu.tr, slymngcr@gmail.com

Özet

Betonarme yapıların inşası sırasında, kapalı bir ortam oluşturan bodrum katlar olası bir sel tehlikesinde yüzme riski ile karşı karşıyadır. Bu riskin belirlenmesini amacıyla Excel'de"Yapılarda Yüzme Kontrolü" programı, tez çalışması kapsamında hazırlanmıştır. Betonarme yapılarda yüzey alanlarındaki ve su seviyesindeki değişimin yüzmeye riskine etkisinin belirlenmesi, tasarımcı ve uygulayıcıların dikkatinin çekilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, yapı alanı ve su seviyeleri değişken parametre alınarak, daha önce hazırlanan "Yapılarda Yüzme Kontrolü" programı aracılığıyla kritik yapı alanı ve su sevileri belirlenerek grafiklerde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yüzme riski, Kaldırma kuvveti, Kritik su seviyesi, Kritik yapı alanı

Abstract

During the construction of reinforced concrete structures, the basements, which form an enclosed environment, face the risk of flotation in case of a possible flood hazard. In order to detect the risk, "Flotation Control in Structures" was prepared through Excel within the scope of the present thesis. Determining the effects of change in surface areas and water level on the risk of flotation in reinforced concrete structures is important in terms of attracting the attention of designers and operators. In this study, having the construction area and water levels as variable parameters, the critical structure areas and critical water levels are detected through "Flotation Control in Structures" program, which is prepared beforehand, and the results are presented through graphs.

Keywords: Risk of flotation, Buoyancy force, Critical water level, Critical structure areas

1. Giriş

Küresel ısınmanın olumsuz etkileri, son yıllarda dünyanın birçok bölgesinde hissedilmektedir. Bu etki bazı yerlerde kuraklığa, bazı yerlerde ise aşırı yağışlara neden olmaktadır. Aşırı yağışlar, alt yapının yetersiz kaldığı yerlerde sel ve su taşkınlarına neden olmaktadır. Son dönemlerde yaşanan sel olaylarından küresel ısınmanın ülkemizi de etkilediği anlaşılmaktadır. Ayrıca, küresel ısınma nedeniyle deniz suyu sıcaklığının arttığı ve buna bağlı

olarak buzulların eriyip deniz suyu seviyesinin arttığı görülmektedir [1]. Küresel ısınmanın son yıllarda neden olduğu afetler, durumun düşünülenden daha tehlikeli boyutlara ulaştığını ve gereken tedbirlerin alınmaması halinde daha büyük felaketlere yol açabileceğini göstermektedir [2].

Hindistan'ın güneybatısında bulunan Kerala eyaletinde 2018 yılında yaşanan sel felaketi, 361 can kaybı ve yüzlerce kişinin evsiz kalmasıyla sonuçlanmıştır [3]. Benzer şekilde ABD'de, 2018 yılının Eylül ayında meydana gelen Florence kasırgasının neden olduğu sel baskını sonucunda, çok sayıda can ve mal kaybı yaşamıştır [3].

Artan bu etkiler, yapı mühendislerinin de üzerinde durması gereken bazı sorunları ortaya çıkarmıştır. Küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelen aşırı yağış ve deniz suyu seviyesinin yükselmesi sonucu oluşan sel ve taşkınlar, hafif veya inşa halinde olan yapılar için yüzme riskini doğurmaktadır. Ayrıca tsunami, denizin gelgit etkileri, nehirde suyun beklenen döngüsel etkileri, mevsimsel su baskınları ve taşkınlar ve yeraltı su seviyesinin (YASS) hızla yükselerek öngörülenin üstüne çıkması gibi nedenler de yapılar için yüzme riskini doğurmaktadır [4]. Bu risk çoğu zaman tamamlanmış yapıyı hedefleyen mühendisler tarafından göz ardı edilmektedir. Ancak, sel ve su baskını gibi nedenlerin yapıları, inşa sırasında yüzme riskine maruz bırakabileceği yadsınamayacak bir gerçektir [5].

Tasarımcıları bu konuda uyarmak ve proje aşamasındaki yapının yüzme riskinin kontrol edilmesi amacıyla "Yapı Yüzme Riski" olup/olmadığını yaklaşık olarak belirleyen program İSTE'de yapılan yüksek lisans tezi çerçevesinde hazırlanmıştır [6].

Excel'de hazırlanan programın veri girişinde sadece kat adetleri ve yaklaşık kat alanları bilgileri yer almaktadır [6]. Programda öncelikle çok sayıda örnek projeler çerçevesinde, yapıya etki eden malzemelerin birim alana isabet eden alt ve üst özgül ağırlıklarını dikkate alarak, veri girişi yapılan binanın inşa aşamalarında kat ağırlıkları ayrı ayrı belirlenmektedir. Böylece toplam yapı ağırlığının tasarım sonrası olası en az/fazla değerleri yaklaşık olarak tespit edilmektedir [7]. Ayrıca, programın hata payını azalmak amacıyla daha önceden inşa edilmiş birçok yapıdan elde edilen metraj değerleri ile bu programın değerleri kalibre edilmiştir. Yaklaşık yüzme riskinin belirlenmesi amacıyla olası su seviyeleri dikkate alınmaktadır. İncelenen yapıya dair basit bilgilerin hazırlanan programa girilmesiyle, farklı su seviyeleri için oluşacak kaldırma kuvveti, yapının çeşitli inşa aşamalarındaki yaklaşık ağırlıkları ile kıyaslanarak yüzme riski kontrol edilmektedir [6].

Bu çalışmada, "Yapılarda Yüzme Kontrolü" programı kullanılarak yapı alanı ile su seviyesi ilişkisi araştırılmıştır.

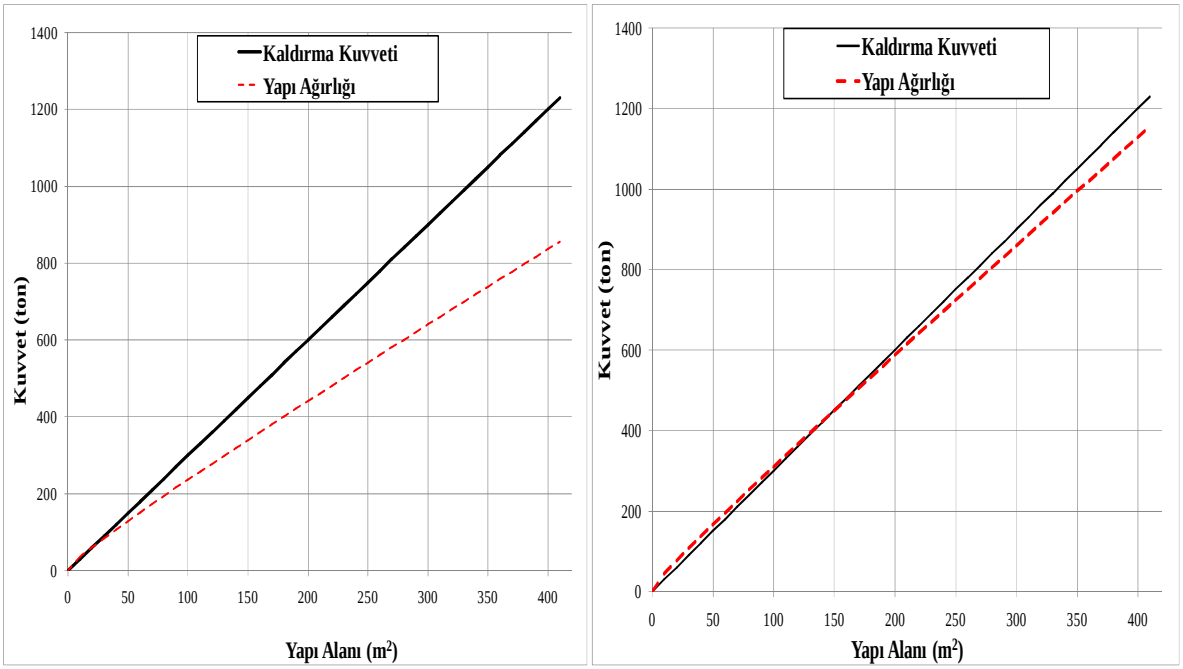
2. Yüzme Riskini Oluşturan Kritik Yapı Alanı ve Su Seviyesi İlişkisinin Belirlenmesi

Yapılan analizlerde "Yapılarda Yüzme Risk Kontrolünü Yapan Program Tasarımı" adlı tez çalışmasında sunulan program kullanılmıştır. Analizin ilk aşamasında 3 farklı kat durumları için su seviyesi sabit tutularak farklı temel yüzey alanı için elde edilen yapı ağırlıkları ve kaldırma kuvvetleri hesaplanıp grafiklere işlenmiştir. Yapı ağırlığı, bodrum, bodrum+zemin ve bodrum+zemin+1.normal kat için her 10 m^2 yapı alanı arttırılarak hesaplanmıştır. Yine bu aşamada normal bir bodrum katı yüksekliği 3 m düşünüldüğü için yapıya gelebilecek maksimum su yüksekliği 3 m sabit tutularak yapı alanı artışına karşılık yapıya uygulanan kaldırma kuvveti hesaplanmıştır (Tablo 1).

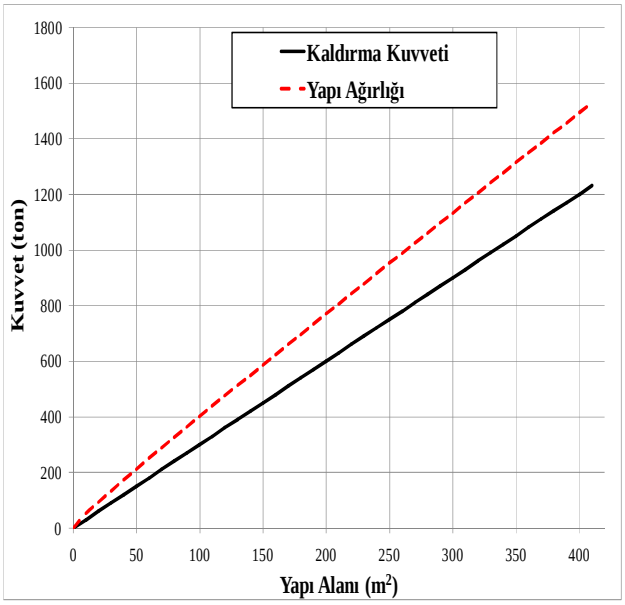
Tablo 1- Bodrum kat durumu için hesaplanan yapı ağırlığı ve kaldırma kuvveti

Yapı Alanı (m^2)	Yapı Ağırlığı (ton)	Kaldırma Kuvveti (ton)	Yapı Alanı (m^2)	Yapı Ağırlığı (ton)	Kaldırma Kuvveti (ton)
0	0	0	110	257.91	330
10	35.75	30	120	278.65	360
20	61.18	60	130	299.28	390
30	84.91	90	140	319.81	420
40	107.77	120	150	340.26	450
50	130.06	150	160	360.64	480
60	151.96	180	170	380.94	510
70	173.55	210	180	401.18	540
80	194.90	240	190	421.37	570
90	216.06	270	200	441.50	600
100	237.06	300			

Şekil 1'deyapı alanı yatay eksende, bu alanlara karşılık gelen yapı ağırlığı ve kaldırma kuvveti de düşey eksende gösterilmektedir. Oluşturulan bu grafiklerde sabit 3 m su yüksekliği için yapının yüzme başlayacağı kritik alanı her kat durumu için tespit edilmiştir (Şekil 1a-c).



(a) **(b)**



(c)

Şekil1 - Çeşitli durumlar için kaldırma kuvveti-yapı ağırlığı kıyaslanması a)Bodrum, b)Bodrum+zemin c)Bodrum+zemin+1.normal kat

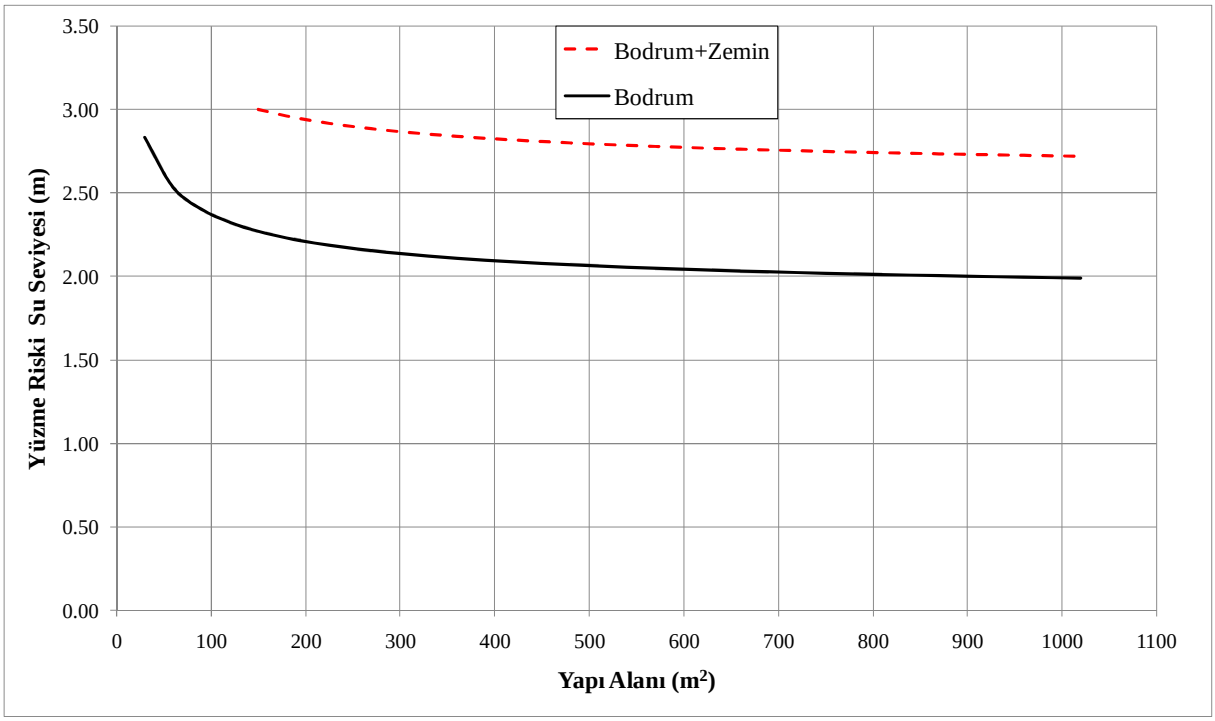
Yüzme tehlikesinin varlığı sadece bodrum ve bodrum+zemin kat durumu için söz konusu olduğundan analizin ikinci aşamasında bu iki kat durumu incelenmiştir. Birinci analiz aşamasında bodrum kat durum için yüzmenin başlayacağı kritik yapı alanı 21.88 m^2, bodrum+zemin kat durumu için ise 150 m^2 olarak bulunmuştur. İkinci aşamada iki kat durumu için yapı alanı sabit tutularak yapıya gelebilecek maksimum 3 m su seviyesine kadar belirli aralıktaki su seviyeleri için kaldırma kuvveti hesaplanıp yüzme riskinin başladığı su yüksekliği tespit edilmiştir (Tablo 2a-b).

Tablo 2–Bodrum/Bodrum+Zemin için yapı alanı-yüzme riski su seviyesi ilişkisi

Bodrum		Bodrum+ Zemin	
Yapı Alanı (m^2)	Yüzme Riski Su Seviyesi (m)	Yapı Alanı (m^2)	Yüzme Riski Su Seviyesi (m)
30	2.83	30	0.00
60	2.53	60	0.00
90	2.40	90	0.00
120	2.32	120	0.00
150	2.27	150	3.00
180	2.23	180	2.96
210	2.20	210	2.93
240	2.17	240	2.90
270	2.15	270	2.88
300	2.14	300	2.86
330	2.12	330	2.85
360	2.11	360	2.84
390	2.10	390	2.82
420	2.09	420	2.81

3. Sonuç ve Öneriler

Bodrum/Bodrum+Zemin kat durumlarında, yapı alanı ve bu alanlara karşılık gelen yüzme riskinin başladığı kritik su yüksekliği değerleri için elde edilen sonuçlar şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2 - Oluşan yüzme riski su seviyesinin bodrum ve bodrum+zemin kat durumu için kıyaslanması

Yüzme riskinin, sadece inşa aşamalarından Bodrum/Bodrum+Zemin kat durumları için bulunduğu, diğer kat durumlarında bulunmadığı anlaşılmaktadır.

Şekil 2'de görüleceği üzere, yüzmenin başlayacağı kritik yapı alanı bodrum katlı durum için 21.88 m^2, bodrum+zemin katlı durum için ise bu değerin 150 m^2 gibi çok az yapı alanlarında bile yapının yüzme tehlikesine maruz kalabileceği görülebilmektedir. Dolayısıyla, yapı tasarım ve inşası sırasında Bodrum/Bodrum+Zemin durumları için yüzme riskinin kesin tasarım üzerinde göz önünde bulundurmasında yarar vardır. Ayrıca, bodrum katın inşa aşamasında küçük yapı alanları için dahi yüzme riskinin olduğu unutulmamalıdır.

Kaynaklar

1. Houghton, J. T.,MeiroFilho, L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenburg, A., &Maskell, K. (1996). Climate change 1995: thescience of climate change. *Climatic Change*, 584.
2. Türkeş, M., Sümer, U. M., & Çetiner, G. (2000). Küresel İklim Değişikliği Ve Olası Etkiler
3. www.theguardian.com/environment/ng-interactive/2018/dec/21/deadly-weather-the-human-cost-of-2018s-climate-disasters-visual-guide Erişim tarihi:19.05.2019
4. Bikçe M.(2017). Investigating the Hazard of Floating in Structures. *International Advanced Researches&Engineering Congress*, (pp. 1875-1881)
5. Bikçe, M., Örnek, M., & Cansız, Ö. F. (2018). The Effect Of Buoyancy Force On Structural Damage: A Case Study. *Engineering Failure Analysis, 92*, (pp. 553-565)
6. Göçer, S.(2018). *Bina Yüzme Riskini Ön Tasarım Aşamasında Belirleyen Program Tasarımı*. Yayımlanmış yüksek lisans tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay
7. Bikçe M.,&Göçer, E. (2017) .Pre-Construction Project Account Approximate Bill Of Quantity Program, *International Advanced Researches&Engneering Congress*, (pp. 1882-1886)

Esnek Derzli Dolgu Duvar – Çerçeve Bağlantısı ve Yerel Zemin Sınıfının Kolon Kesitlerine Etkisinin İncelenmesi

M.M. Erdem[1], E. Emsen[2], M. Bikçe[3]

[1,3] Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
[2]Department of Civil Engineering, Akdeniz University, Turkey
Emails: musab.erdem@iste.edu.tr, eemsen@akdeniz.edu.tr, murat.bikce@iste.edu.tr

Özet

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde, göreli kat öteleme koşuluyla ilgili olarak önemli güncellemelere gidildiği görülmektedir. Müsaade edilen göreli kat ötelemesi sınırı; kat yüksekliğine, yerel zemin sınıfına, bölgenin sismik özelliklerine, yapının dinamik karakterine ve dolgu duvar-çerçeve arası bağlantı türüne bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada ise beş katlı, her iki yönde üçer açıklıklı ideal bir yapı üzerinde, dolgu duvar çerçeve bağlantı türü ve zemin sınıfına bağlı değişen göreli kat ötelemesi sınırının kolon boyut ve donatıları üzerindeki etkisi seçilen üç farklı merkez için incelenmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması grafiklerle sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Göreli kat ötelemesi, 2018 TBDY, Yerel zemin Sınıfı

Abstract

The rule limiting the relative story drifts is one of the criteria which must be met in building design in 2018 Turkish Earthquake Code have been significant changes. The permissible relative drift limit depends on the floor height, local soil class, the seismic characteristics of the region and the dynamic character of the structure and the type of infill wall - frame connection in 2018 TBDY. In this study, the effect of the relative story drift limits, depending on the infill wall frame connection type and the local soil class on the column dimensions and reinforcements were investigated on an ideal structure with 5 floors and 3 spans in both directions. Comparison of results is presented with graphics.

Keyword(s): Relative story drift, 2018 TEC, Local soil class

1. Giriş

Betonarme yapıların tasarımında, yatay ve düşey yüklerin etkisiyle oluşan gerilmelerin yanı sıra şekil değiştirmeler de dikkate alınmaktadır. Deprem yükleri nedeniyle yapıda oluşan yatay ötelemeler güvenliğin sağlanması için yönetmeliklerce sınırlandırılmaktadır. Çeşitli ülkelerin deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, 2019 yılı ocak ayında yürürlüğe giren 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (2018 TBDY) de göreli kat ötelemeleri ile ilgili kurallar bulunmaktadır [1]. 2018 TBDY, göreli kat ötelemelerinin kısıtlanması amacıyla, önceki deprem yönetmeliklerine göre önemli yenilikler içermektedir. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak*

Binalar Hakkında Yönetmelik'te (2007 DBYBHY) göreli kat ötelemesi sınırı, kat yüksekliği, taşıyıcı sistem türü ve bina kullanım amacına göre belirlenirken [2]; 2018 TBDY'de ek olarak yerel zemin sınıfı, kısa ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayıları, yapının doğal titreşim periyodu ve dolgu duvarlar ile taşıyıcı çerçevenin bağlantı türü de dikkate alınmaktadır.

2018 TBDY-4.9.1.'de "*Etkin Göreli Kat Ötelemelerinin Hesaplanması ve Sınırlandırılması*" bölümüne göre; denklem 1'e göre hesaplanan göreli kat ötelemeleri, dolgu duvar – çerçeve bağlantısının bitişik olma durumunda denklem 2; esnek derzli olması durumunda ise denklem 3'ye göre sınırlandırılmaktadır.

$$\delta_{i,max}^{(X)} = \frac{R}{I}\Delta_i^{(X)} \qquad \text{(Denklem. 1)}$$

$$\lambda\,\frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \le 0.008 \times \kappa \qquad \text{(Denklem. 2)}$$

$$\lambda\,\frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \le 0.016 \times \kappa \qquad \text{(Denklem. 3)}$$

Burada, R, *taşıyıcı sistem davranış katsayısı*nı; $\Delta_i^{(X)}$, azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemesini; I, bina önem katsayısını; $\delta_{i,max}^{(X)}$, herhangi bir doğrultuda herhangi bir kat içerisindeki kolon ve perdelerin etkin göreli kat ötelemelerinin en büyüğünü; h_i, kat yüksekliğini; κ, betonarme yapılar için 1, çelik yapılar için 0.5 olarak kabul edilen katsayıyı; λ ise *Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3* ve *Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2*'ye göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmelerinin oranını (Denklem 4) ifade etmektedir.

$$\lambda = \frac{S_{ae}(T)_{DD3}}{S_{ae}(T)_{DD2}} \qquad \text{(Denklem. 4)}$$

2018 TBDY'de *Elastik tasarım spektral ivmeleri* ($S_{ae}(T)$) önceki yönetmeliklerden farklı olarak, Türkiye Deprem Tehlike Haritasından [3] alınan kısa ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayıları (S_S ve S_1), yerel zemin etki katsayıları (F_S ve F_1) ve yapının doğal titreşim periyodu ile hesaplanmaktadır. $S_{ae}(T)$'nin büyüklüğünün belirlendiği *yatay elastik tasarım ivme spektrumu*, Denklem 5 ve 6 ile hesaplanan *tasarım spektral ivme katsayıları* (S_{DS} ve S_{D1}) ve doğal titreşim periyoduna (T) bağlı olarak Denklem 7'ye göre oluşturulmaktadır. F_S ve F_1, 2018 TBDY Tablo 2.1-2'ye göre hesaplanabileceği gibi, TDTH'den de alınabilmektedir [3].

$$S_{DS} = S_S \times F_S \qquad \text{(Denklem. 5)}$$

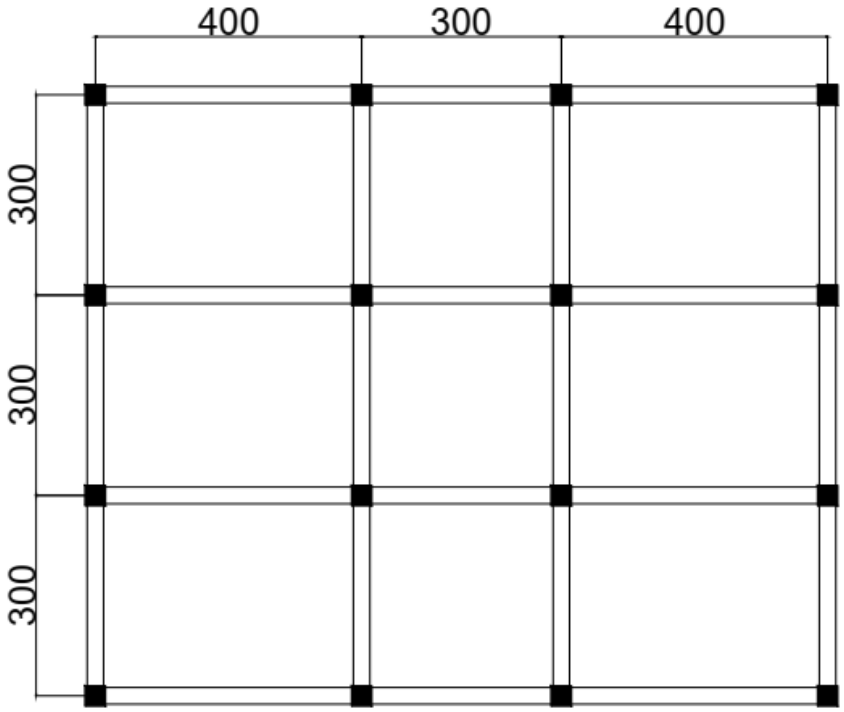
$$S_{D1} = S_1 \times F_1 \qquad \text{(Denklem. 6)}$$

$$
\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) \times S_{DS} && (0 \le T \le T_A) \\
S_{ae}(T) &= S_{DS} && (T_A \le T \le T_B) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} && (T_B \le T \le T_L) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} && (T_L \le T)
\end{aligned}
\qquad \text{(Denklem. 7)}
$$

Yukarıdaki ifadelerden de anlaşılacağı üzere, 2018 TBDY ile göreli kat öteleme sınırlandırmasında önceki yönetmeliğe göre önemli güncellenmeler bulunmaktadır. Bu çalışmada, bir yapının, önceki ve güncel deprem yönetmeliğindeki göreli kat öteleme koşullarına göre kolon tasarımını nasıl etkileyeceği, seçilen üç merkez için karşılaştırılması amaçlanmıştır

2. Seçilen betonarme yapının özellikleri

X ve Y yönlerinde 3'er açıklığı bulunan ve kat yüksekliği 3m olan 5 katlı betonarme yapı bu çalışmada incelenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1 – Betonarme yapı planı

Plan boyutları şekil 1'de görülen ve süneklik düzeyi yüksek çerçevelerden oluşan betonarme yapının kiriş boyutları 30x60 cm'dir. Hareketli yük 2 kN/m^2 ve malzeme özellikleri C30 S420b olan yapıya eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanmıştır.

Bu çalışmada, betonarme binada detayları yukarıda verilen değerler sabit tutularak, TBDY 2018'de sunulan göreli kat ötelemesi koşullarının kolon kesit boyut ve donatıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Zira 2018 TBDY'de; yapıların inşa edileceği konumun sismik özellikleri, yerel zemin özellikleri ve yapıda kullanılacak dolgu duvar – çerçeve bağlantı türüne bağlı olarak göreli kat ötelemesi sınırı değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada değişken olarak;

- ZA ve ZE yerel zemin sınıfı
- yapı konumu
- bitişik veya esnek derzli dolgu duvar – betonarme çerçeve bağlantısı

dikkate alınmış ve enlem/boylamları Tablo 1'de sunulan merkezler için, son iki deprem yönetmeliği koşullarına göre göreli kat öteleme sınırlarının kolon kesit tasarımları üzerine etkileri karşılaştırılmıştır.

Tablo 1 – Kısaltmalar ve değişkenler

Kısaltma	Yapı konumu			Yerel Zemin Sınıfı	Dolgu Duvar - Çerçeve Bağlantı Türü
	Merkez	Enlem	Boylam		
AKS-ZA-EB	Aksaray	38.370285	34.027167	ZA	Esnek Bağlantı
AKS-ZA-BB					Bitişik Bağlantı
AKS-ZE-EB				ZE	Esnek Bağlantı
AKS-ZE-BB					Bitişik Bağlantı
İSK-ZA-EB	İskenderun	36.577295	36.153949	ZA	Esnek Bağlantı
İSK-ZA-BB					Bitişik Bağlantı
İSK-ZE-EB				ZE	Esnek Bağlantı
İSK-ZE-BB					Bitişik Bağlantı
KOC-ZA-EB	Kocaeli	40.765115	29.944507	ZA	Esnek Bağlantı
KOC-ZA-BB					Bitişik Bağlantı
KOC-ZE-EB				ZE	Esnek Bağlantı
KOC-ZE-BB					Bitişik Bağlantı

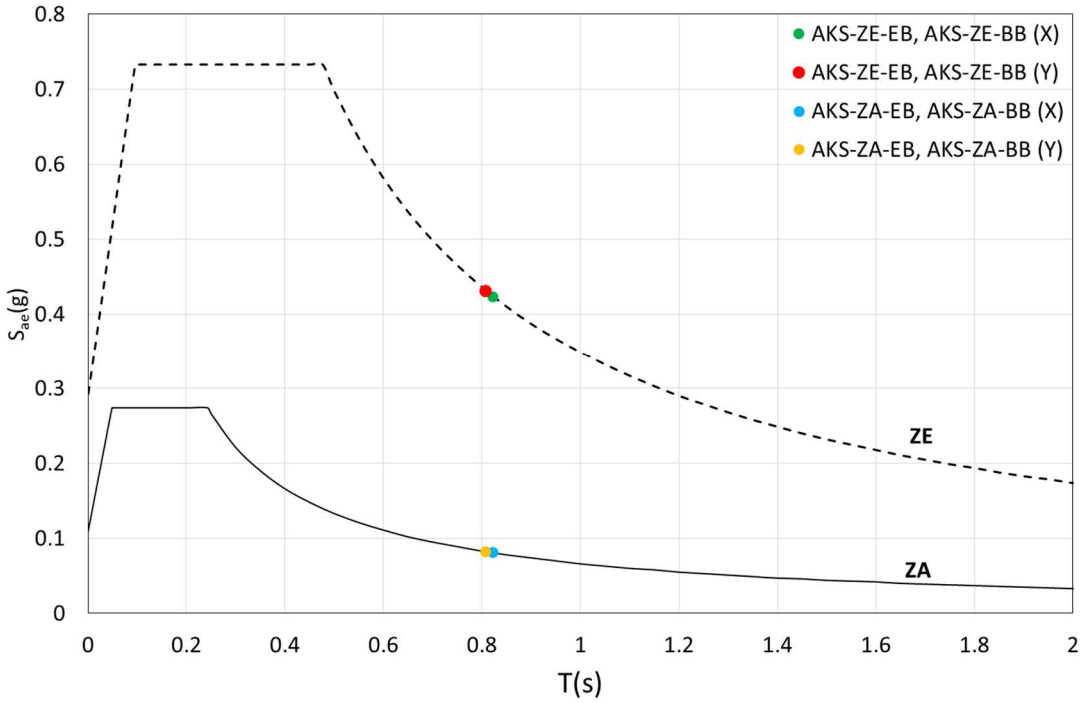
Türkiye'de bu üç konumun seçiminde;

- Aksaray, 2018 TBDY'ye göre en geniş göreli kat öteleme sınırlarına sahip konumlardan biri olması [4],
- Kocaeli, tasarım depremi olan DD2'ye göre en büyük elastik tasarım spektral ivmelerinin elde edileceği konumlardan biri olması [3],
- İskenderun ise yukarıda belirtilen iki konum arasında deprem yüklerinin elde edileceği bir konum olması nedeniyle seçilmiştir.

3. Araştırma bulguları

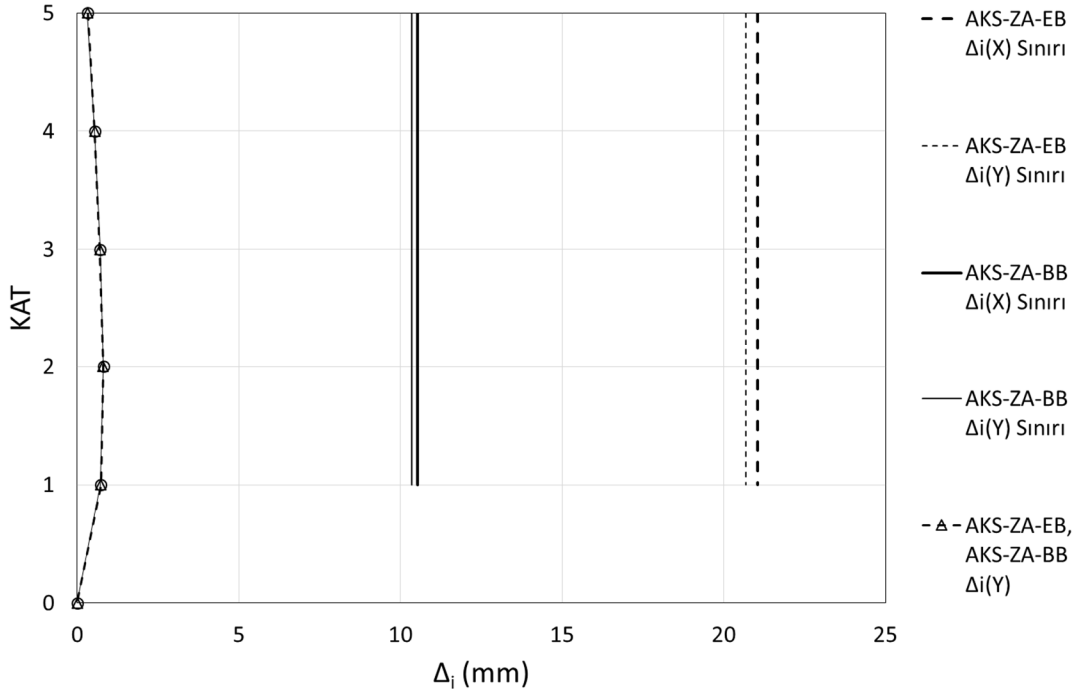
3.1. Aksaray

Aksaray, 2018 TBDY'de belirtilen kurala göre en geniş göreli kat ötelemesi sınırına sahip [4], bununla birlikte, yapının dinamik özelliklerine bağlı olarak en az deprem yüklerinin elde edilebileceği bölgelerden birinde konumlandığı anlaşılmaktadır [3]. Aksaray için belirtilen konumda, güçlü ZA ve zayıf ZE zemin türlerine göre yapılan tasarımlarda, 4 durum için de 2018 TBDY'de belirtilen minimum kolon boyut ve donatılarıyla (30x30 cm kolon boyutları; 8Ø14 kolon boyuna donatısı) göreli kat ötelemesi sınırlarının ve dayanım kriterlerinin sağlandığı anlaşılmıştır. Bu konum için her iki zemin sınıfına göre elde edilen yatay elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 2'de; yapıdan elde edilen kat içindeki en büyük göreli kat ötelemeleri ve TBDY 2018'e göre göreli kat ötelemesi öteleme sınırları ZA ve ZE zemin sınıfları için sırasıyla Şekil 3 ve 4'te görülmektedir.

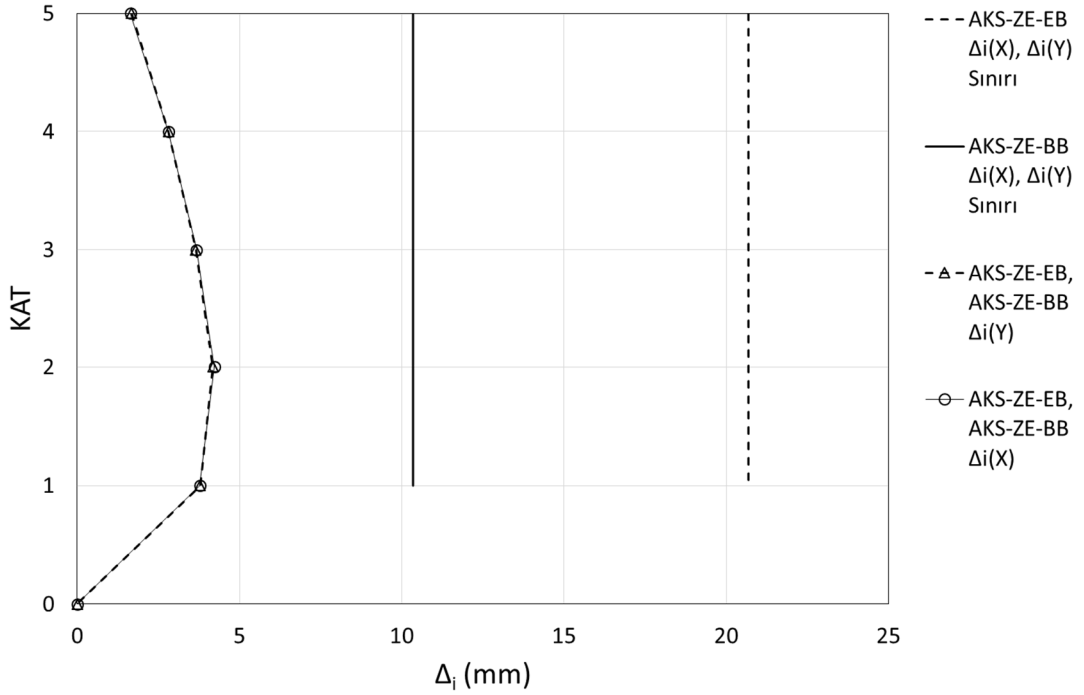


Şekil 2 – Aksaray'da seçilen konuma ait ZA ve ZE zemin sınıflarına göre elastik tasarım ivme spektrumları

Şekil 3-4 incelendiğinde, yapıdan oldukça küçük göreli kat ötelemesi değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Küçük kesit boyutlarıyla tasarlanan binadan elde edilen periyot değerlerinin, Şekil 2'den de anlaşıldığı gibi yapıya daha az deprem yükü etkimesine neden olduğu düşünülmektedir.



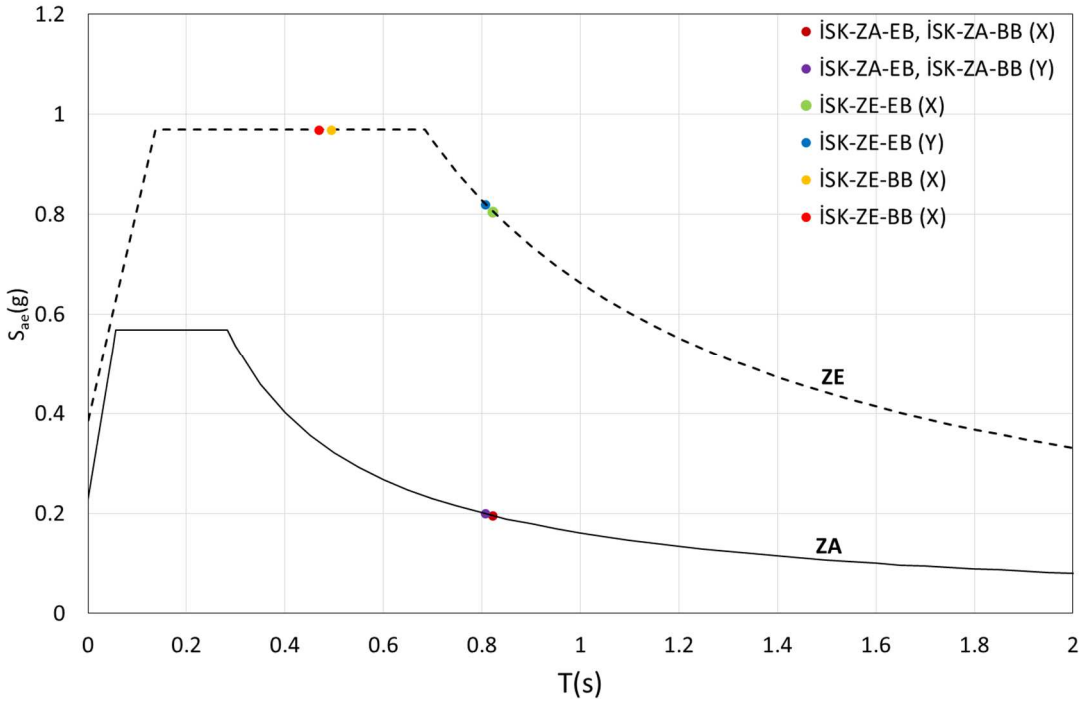
Şekil 3 – Aksaray'da seçilen konumda ZA zemin sınıfı için yapıdan elde edilen göreli kat ötelemeleri ve 2018 TBDY sınırları



Şekil 4 – Aksaray'da seçilen konumda ZE zemin sınıfı için yapıdan elde edilen göreli kat ötelemeleri ve 2018 TBDY sınırları

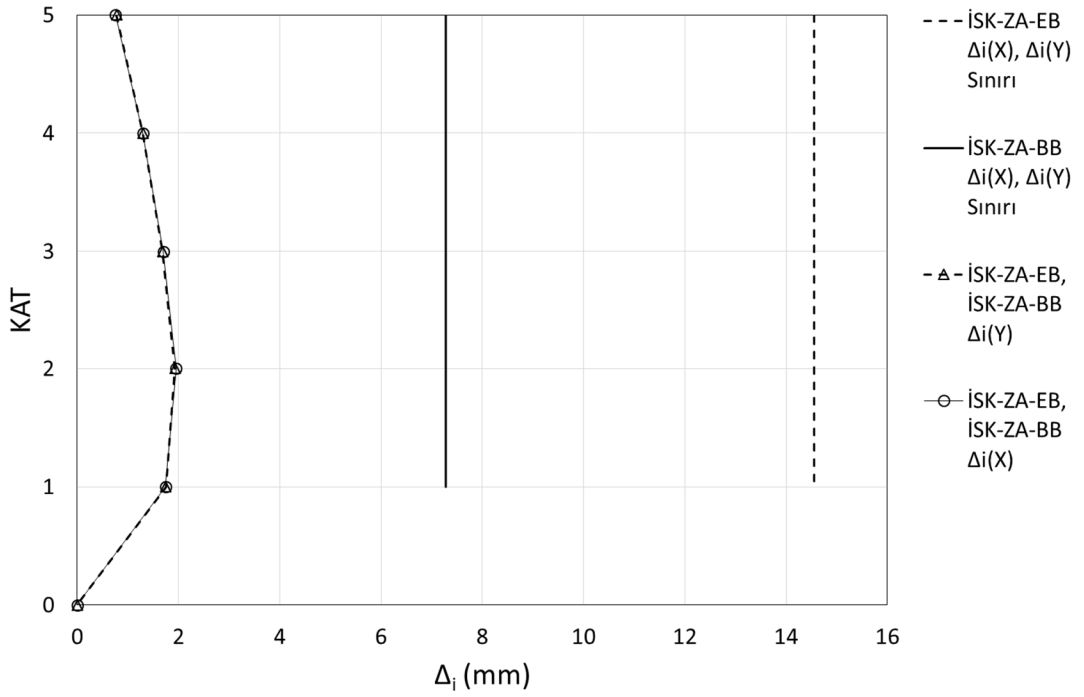
3.2. İskenderun

İskenderun, bu çalışmada uç örnekler olarak seçilen Aksaray ve Kocaeli arasında bir bölgeyi temsil etmektedir. Yapılan tasarımlarda, ZA zemin sınıfı için esnek derzli ve bitişik dolgu duvar – çerçeve bağlantı türlerine göre yapılan tasarımların her ikisinde de, yapı göreli kat ötelemesi ve dayanım kriterlerini 30x30 cm kolon boyutları ve 8Ø14 kolon boyuna donatıları ile sağlamıştır. Çoğunlukla zayıf zemin sınıfının hakim olduğu İskenderun'da, ZE zemin sınıfına göre esnek derzli bağlantı türü için yapılan tasarımda 30x30 cm kolon kesiti ve 8Ø20 kolon boyuna donatılarıyla göreli kat öteleme kriterleri sağlamıştır. Fakat bitişik bağlantı türü durumunda göreli kat ötelemesi kriteri 50x50 cm kolon kesiti ve 12Ø20 boyuna donatı ile 2018 TBDY sınırına çok yakın bir değer ile sağlanmıştır. İskenderun için her iki zemin türüne göre elde edilen yatay elastik tasarım ivme spektrumları Şekil 5'te, yapılardan elde edilen göreli kat ötelemeleri ve yönetmelik sınırları ZA ve ZE zemin sınıfları için Şekil 6 ve 7'de gösterilmektedir.

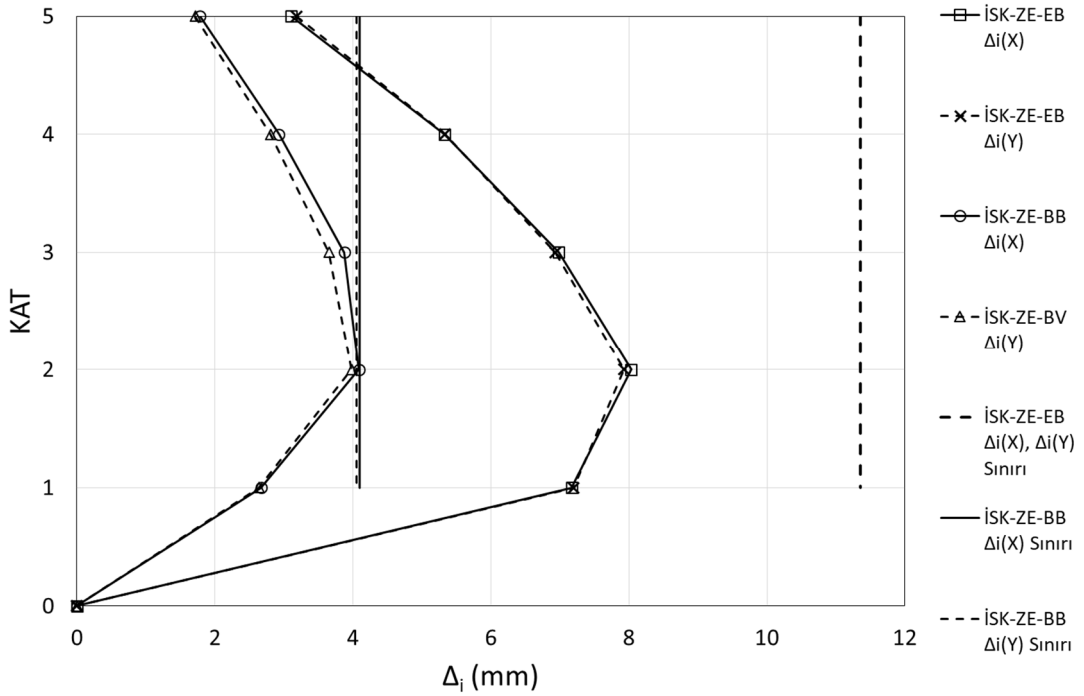


Şekil 5 – İskenderun'da seçilen konuma ait ZA ve ZE zemin sınıflarına göre elastik tasarım ivme spektrumları

İskenderun'da ZA sınıfı zemin için yapılan tasarımlarda yapıdan elde edilen ötelemelerin, 2018 TBDY'ye göre hesaplanan göreli kat ötelemesi sınırlarının çok altında olduğu görülmektedir (Şekil 6). Ancak, ZE zemin sınıfı için yapılan analizlere göre, bitişik dolgu duvar çerçeve bağlantı türü tercih edilmesi durumunda, göreli kat öteleme sınırının sağlanması için artırılan kesit boyutlarının yapının yanal rijitliğini artırdığı, buna bağlı olarak Şekil 5'ten de anlaşılacağı gibi daha büyük deprem yüklerinin yapıya etkidiği; bununla birlikte yapının ekonomiklikten uzaklaştığı anlaşılmaktadır.



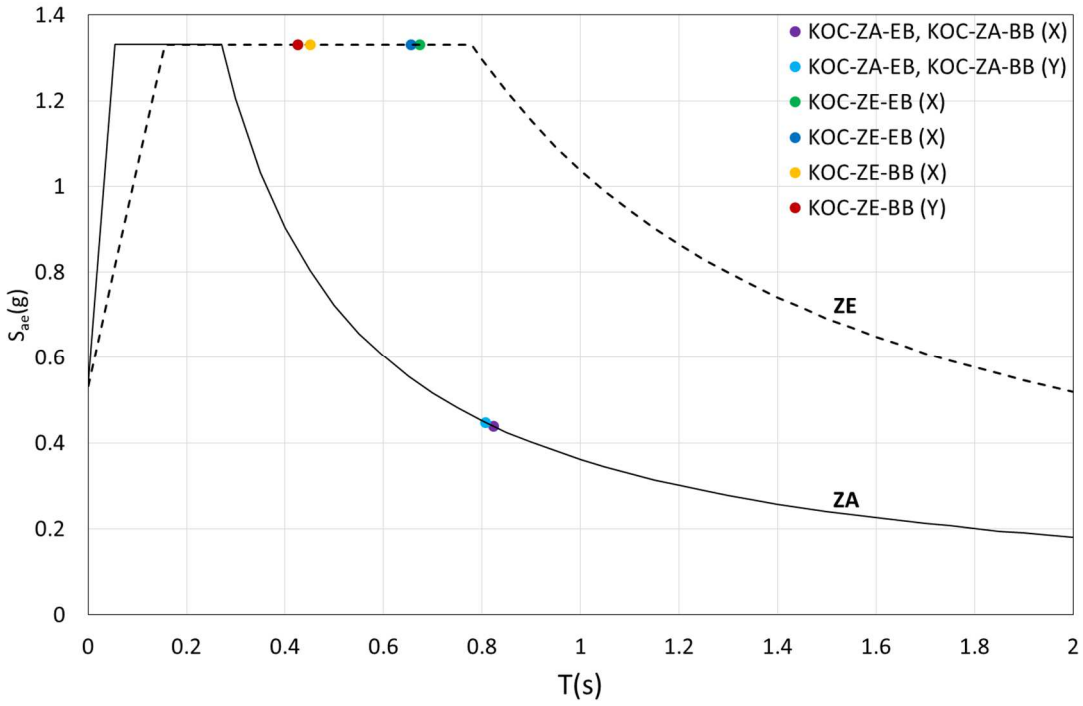
Şekil 6 – İskenderun'da seçilen konumda ZA zemin sınıfı için yapıdan elde edilen göreli kat ötelemeleri ve 2018 TBDY sınırları



Şekil 7 – İskenderun'da seçilen konumda ZE zemin sınıfı için yapıdan elde edilen göreli kat ötelemeleri ve 2018 TBDY sınırları

3.3. Kocaeli

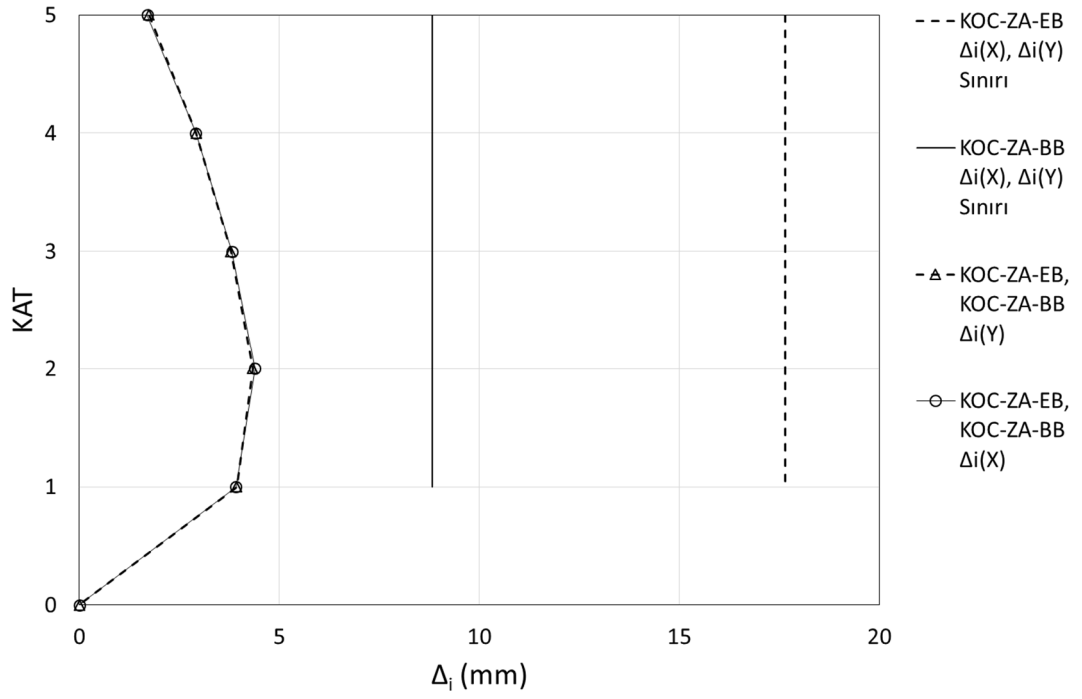
Kocaeli, Türkiye'de en büyük harita spektral ivme katsayılarına [3], bağlantılı olarak da yüksek deprem yüklerine sahip bölgelerden birinde konumlanmaktadır. Bununla birlikte, 2018 TBDY'ye göre izin verilen göreli kat öteleme sınırının oldukça az olduğu anlaşılmaktadır [4]. Kocaeli için ZA zemin türüne göre yapılan tasarımlarda yapı, 2018 TBDY'de tanımlanan minimum kesit boyutları ve boyuna donatıları (30x30 cm kolon boyutları; 8Ø14 kolon boyuna donatısı) kullanıldığında yanal rijitliğin düşük ve doğal titreşim periyodunun az olmasına bağlı olarak oldukça düşük deprem yükleri almıştır (Şekil 8). Yapıdan elde edilen göreli kat ötelemelerinin ise 2018 TBDY'ye göre hesaplanan öteleme sınırlarının oldukça altında kaldığı Şekil 9'dan anlaşılmaktadır.



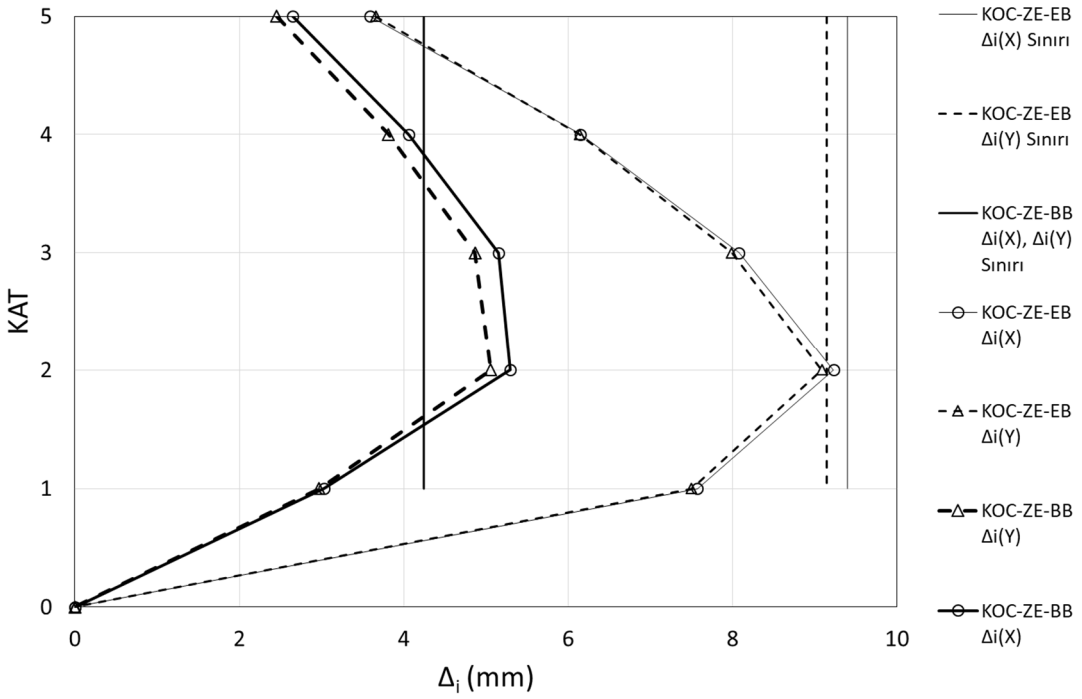
Şekil 8 – Kocaeli'den seçilen konuma ait ZA ve ZE zemin sınıflarına göre elastik tasarım ivme spektrumları

ZE yerel zemin sınıfı ile yapılan analizlerde ise, Şekil 8'den de anlaşılacağı üzere yapı oldukça yüksek deprem yüklerine maruz kalmıştır. Seçilen konumdan ZE zemin türü için TDTH'den alınan yatay elastik tasarım ivme spektrumu incelendiğinde (Şekil 8) 0.15 – 0.78s doğal titreşim periyodu aralığı için maksimum seviyede yatay elastik tasarım spektral ivmeleri elde edilmektedir. Esnek derzli bağlantı durumu için izin verilen göreli kat ötelemesi değerleri ve dayanım kriterleri 35x35 cm kolon boyutları ve 12Ø22 boyuna donatıları ile TBDY sınırlarına çok yakın öteleme değerleri ile sağlanmıştır.

Bitişik bağlantı durumunda ise, 60x60 cm kolon kesitleri ve 12Ø25 boyuna donatı kullanılmasına rağmen, dayanım kriterleri sağlansa da göreli kat ötelemesi kriterleri sağlanamamıştır.



Şekil 9 – Kocaeli'den seçilen konumda ZA zemin sınıfı için yapıdan elde edilen göreli kat ötelemeleri ve 2018 TBDY sınırları



Şekil 10 – Kocaeli'den seçilen konumda ZE zemin sınıfı için yapıdan elde edilen göreli kat ötelemeleri ve 2018 TBDY sınırları

4. Sonuçlar

Bu çalışmada 5 katlı ve her iki yönde 3'er açıklıklı bir betonarme bina üzerinde, yerel zemin sınıfı, dolgu duvar – çerçeve bağlantı türü ve konumun sismik özelliklerinin kolon kesit boyutları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen verilere göre ZE'ye göre ZA zemin sınıfı için daha düşük deprem yükleri ve geniş öteleme sınırları elde edilmektedir. İncelenen koşullarda, göreli kat ötelemesi sınırlarını sağlamak için kesitlerin büyütülmesinin, yapının artan kütle ve rijitliğinine bağlı deprem yüklerinin artmasına, bununla birlikte göreli kat ötelemesi sınırlarının daha çok daralmasına neden olduğu, yapıyı ekonomiklikten uzaklaştırdığı anlaşılmaktadır.

Bitişik yerine esnek derzli bağlantı elemanlarının tercih edilmesi durumunda ise, göreli kat öteleme sınırlarının genişlemesinin kesitlerin küçülmesiyle birlikte yapının daha düşük deprem yüklerine maruz kalmasına imkân sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkürler

Bu çalışma, TÜBİTAK 1001 programı ile desteklenen 118M317 numaralı proje kapsamında yapılmıştır.

References

1. Erdem M.M., Bikçe M. (2017) Maksimum Azaltılmış Göreli Kat Ötelemelerinin Güncel (DBYBHY2007) ve Yeni Yönetmelik Taslağına (TBDY2016) Göre Mukayesesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* **32:2**, 253-262

2. TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD, Ankara.

3. DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

4. TDTH. (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası, AFAD, Ankara.

Hatay'da Kentsel Dönüşüme Giren Binaların Beton Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi

N. Sabahoğlu[1], M.R. Eryılmaz[2], M. Bikçe[3]

[1-3]Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
Emails: nilaysabahoglu.mfbe18@iste.edu.tr, mehmeteryilmaz.mfbe18@iste.edu.tr, murat.bikce@iste.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, Hatay ilinde Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun çerçevesinde "Riskli Yapı" olarak belirlenmiş olan, ticari/konut türünde 525 adet betonarme bina istatistiksel olarak incelenmiştir. Yetkili firmalar tarafından hazırlanan Riskli Bina Tespit Raporu İnceleme Formundaki verilere göre incelenen yapılar; taşıyıcı sistem türü, yapım yılı, donatı sınıfı, basınç dayanımı gibi çeşitli veriler grafiklerle sunulmuş ve istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İncelenen riskli yapıların büyük çoğunluğunun; 1-2 katlı yapılar olduğu, 1975-90 arasında yer aldığı, 5-15 MPa basınç dayanımında oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kentsel dönüşüm, Riskli yapı, İstatistiksel değerlendirme, Basınç dayanımı, 6306

Abstract

In this study, 525 reinforced concrete buildings which are determined as 'Risky Structure' within the scope of the Law on Transformation of Areas Under Disaster Risk in Hatay province, have been examined statistically. The structures examined according to the data of the Risky Building Detection Report Review Form prepared by the authorized companies; various types of data such as conveyor system type, construction year, reinforcement class, compressive strength are presented with graphics and evaluated statistically. The majority of the risky structures examined; it is determined that there are 1-2 storey buildings, between 1975-90 and they have 5-15 MPa compressive strength.

Keywords: Urban transformation, Risky structure, Statistics, Compressive strenght, 6306

1. Giriş

Türkiye, yeryüzünde sismik risk bakımından oldukça önemli olan Alp-Himalaya deprem kuşağı içerisinde bulunmaktadır. Tektonik yapısına göre Türkiye'de Kuzey Anadolu (KAF), Doğu Anadolu (DAF) ve Batı Anadolu Fay (BAF) zonları bulunmaktadır. Sismik konumundaki önemi nedeniyle, 5.5 büyüklüğü üzerinde deprem oluşturabilecek diri fay veya fay segment miktarının 485 olduğu belirtilmektedir (Duman, 2015).

Ölü Deniz ve Doğu Anadolu Fayları ile Kıbrıs Yayının birleşiminde yer alan Hatay, tarih boyunca pek çok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. MÖ 148-MS 1894 yılları arasında bu bölgede birçok deprem olduğu, bu depremler sonucunda ciddi can ve mal kayıplarının yaşandığı

bilinmektedir (AFAD, 2019). Tarihsel kayıtlarda, 13 Ağustos 1822'de meydana gelen depremin, Gaziantep, Antakya, Islahiye ve Halep bölgesinde ciddi yıkıma neden olduğu, 30.000-60.000 arası insan kaybına yol açtığı belirtilmektedir (Ambraseys, 1989). Bu deprem sonrası Amik Ovası ve İskenderun kıyı kesiminde sıvılaşma gözlenmiş ve bazı yerleşim birimleri su altında kaldığı kaydedilmektedir (Ambraseys, 1989). 3 Nisan 1872'de Amik gölünde meydana gelen deprem Antakya ve Samandağ'ı tamamen yıktığı, Samandağ'da 300 ve 17600 nüfuslu Antakya'da 500 can kabının olduğu, ayrıca Samandağ'da sıvılaşma ve tsunami görüldüğü ifade edilmektedir (Ambraseys, 1989). 1951'de İskenderun'da 5.8 ve 1997 yılında ise Antakya'da 5.4 büyüklüğünde meydana gelen depremlerde sırasıyla; 13, 1841 bina hasar aldığı kaydedilmiştir (KOERI, 2019). Hatay ilinin sismik konumu ve tarihsel deprem geçmişi, gelecekte de bölgede meydana gelebilecek olası depremlerin etkisinde olacağı gerçeğini açıkça göstermektedir.

17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremleri sonrası Düzce'de yıkılmış ve/veya hasar görmüş betonarme binalar üzerinde hasarlı/sız deneyler neticesinde 34 adet binanın 16'sında beton basınç dayanımların 20 MPa'ın altında kaldığı görülmüştür (Uygur, 2006). 19 Mayıs 2011'de tarihinde 5,7 büyüklüğünde Kütahya-Simav Depremi sonrası bölge ve çevresinde incelenen 113 adet betonarme binadan alınan karot numunelerinin incelenmeleri neticesinde basınç dayanımların 4-12 MPa arasında değiştiği ve ortalamanın 7 MPa değerinde olduğu gözlenmiştir (Çaycı, 2012).

Nüfus artışıyla birlikte kırsal alanlardan kentlere göçün hızlanması ülkemizde konut ihtiyacını arttırmıştır. Hızlı kentleşme, gecekondu artışı ve çevresel bozulma gibi sorunları beraberinde getirmektedir (Cushman & Wakefield, 2014). Bu sıkıntılarla beraber Türkiye'nin aktif bir sismik bölgede bulunması, mevcut birçok yapının depreme dayanıksız olması ve bu tarz dayanıksız yapıların deprem öncesinde tespiti ve yenilenerek/iyileştirilerek dönüştürülmesi gerekliliği kentsel dönüşüm fikrini ortaya çıkarmıştır. Ülkemizde Marmara ve Düzce depreminden sonra çarpık kentleşmeyi önlemek, yaşanabilir kent alanları oluşturmak ve olası bir depremde hasar görebilecek binaların dayanıklılığını arttırmak amaçlanmıştır (Uslu ve Uzun, 2014). 2011 yılında meydana gelen Van Depremi'nden sonra birçok ilde Deprem Master Planları hazırlanmıştır (Uslu ve Uzun, 2014). Gelişen bu olaylar doğrultusunda riskli binaların depreme dayanıklı yapılar haline dönüştürülmesi, fen, sanat standartlarına uygun, güvenli yaşama çevrelerini teşkil etmek amacı ile 31.05.2012 tarihinde 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi (ARAAD) Hakkında Kanun yayınlanmıştır (ÇŞB, 2012).

6306 sayılı kanunun yürürlüğe girmesiyle ülke genelinde yoğun bir dönüşüm faaliyeti başlamıştır. Yetkilendirilen firmalar tarafından uygulama yönetmeliği çerçevesinde incelenen ve dönüşümü gerçekleştirilen mevcut binaların değerlendirilmesine dönük incelemeler de başlamıştır. Kentsel dönüşüme uğramış Eskişehir'deki 112 adet betonarme bina verisinin incelenmesi neticesinde; beton dayanımlarının %15'inin 5 MPa'ın altında, %80'inin 10 MPa'ın altında olduğu ve %98'inin 20 MPa'ın altında olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Canbaz ve Şengel, 2015). Bursa ilinde kentsel dönüşüme uğramış 500 adet betonarme bina incelenmiş, bina yaşı

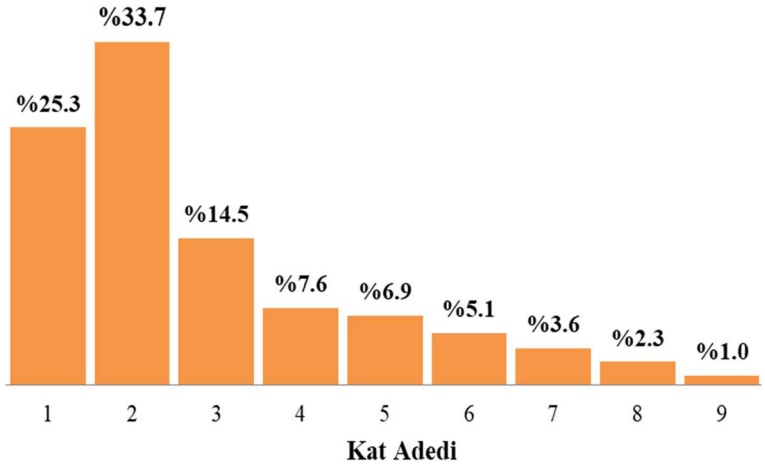
arttıkça beton basınç dayanımının düştüğü, 12.71 MPa değerindeki ortalama dayanımın 3.99-27.93 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir (Beyaz ve Livaoğlu, 2019).

Bu çalışmada, Hatay İli'nde 6306 sayılı ARAAD Hakkındaki Kanun kapsamında yetkili firmalar tarafından riskli yapı olarak değerlendirilen, rastgele seçilmiş 525 adet betonarme binaya ait veriler incelenerek istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

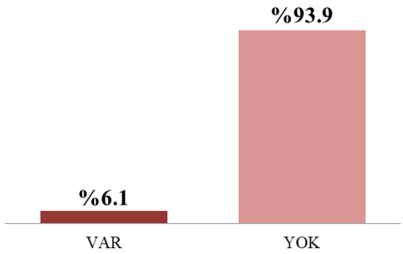
2. Yöntem ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Hatay ilinde bulunan ve yetkili firmalar tarafından 1 Nisan 2019 tarihine kadar 6306 sayılı Kanun kapsamında "Riskli yapı" olarak değerlendirilerek kentsel dönüşüme girmiş olan betonarme binalardan 525 adedi seçilmiştir. Bu binaların yapım yılı, beton basınç dayanımı, donatı tipi ve korozyonu, kentsel dönüşüme girdiği yaşı, binaların projeli veya projesiz olması gibi hususlar değerlendirilmiştir.

Rastgele seçilerek incelenen betonarme yapıların; %25.3'ü bir katlı, %33.7'si iki katlı ve %14.5'i ise üç katlıdır (Şekil 1). Bekleneceği gibi incelenen yapıların %93.6 gibi büyük bir oranında projesi mevcut değildir (Şekil 2).



Şekil 1 – Kat adetlerine göre bina yüzdeleri



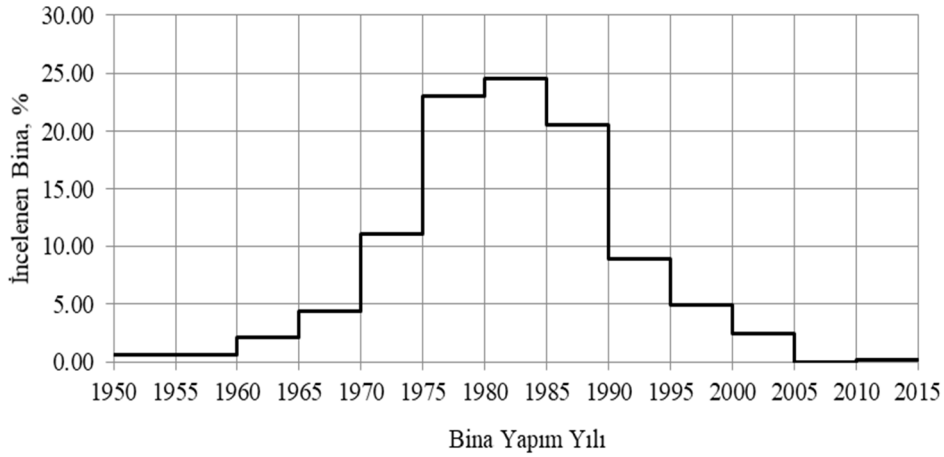
Şekil 2 – Binaların proje durumuna göre oranları

Şekil 1'de görüleceği üzere riskli olarak değerlendirilerek kentsel dönüşüme giren yapıların büyük bir kısmı düşük katlıdır. İncelenen binaların %37.33'ünde donatının korozyona uğradığı belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1 – İncelenen yapılarda mevcut donatı sınıfları ve donatıda korozyon oluşumu

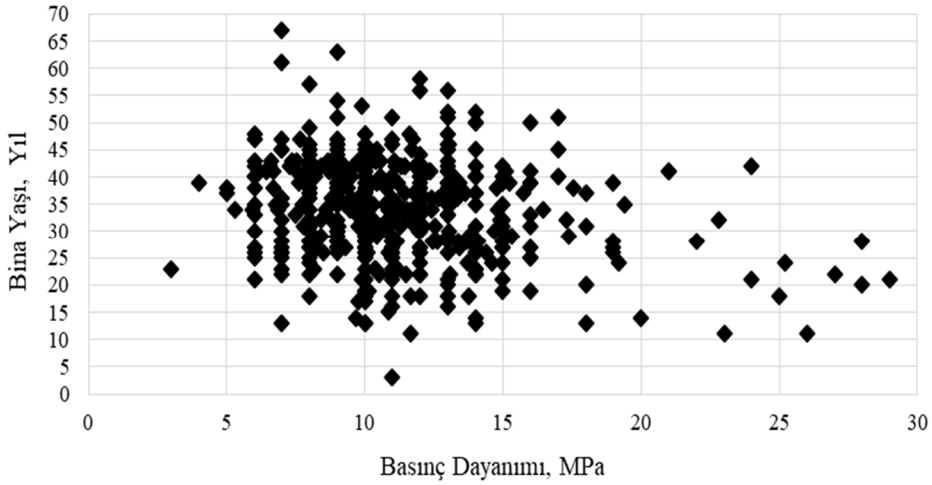
Mevcut Donatı Sınıfları			Donatıda Korozyon Oluşumu	
S220	**S420**	**S220 ve S420 Karışık**	**Var**	**Yok**
%94.1	%3.4	%2.5	%37.33	%62.67

İncelenen binaların; %94.1'inde S220, %3.4'lük kısımda S420, %2.5'inde ise hem S220 hem de S420 donatı sınıfı tespit edilmiştir (Tablo 1). Rastgele seçilen tüm yapılardan; %0.57'si 1950-55, %11.05'i 1970-75, %23.05'i 1975-80, %24.57'si 1980-85, %20.57'si 1985-90, , %8.95'i 1990-95 arasında inşa edilmiştir (Şekil 3). Bu binaların %68.19'luk gibi büyük bir kısmının 1975-90 yılları arasında olmasının yanı sıra, düşük de olsa %2.67'lik gibi bir oranın yakın tarihte (2000-15) inşa edildiği görülmektedir.



Şekil 3 – İncelenen betonarme binaların yapım yılları

İncelenen betonarme binaların bina yaşları ve bu yapıların karot numunelerinden elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 4'te görülmektedir.



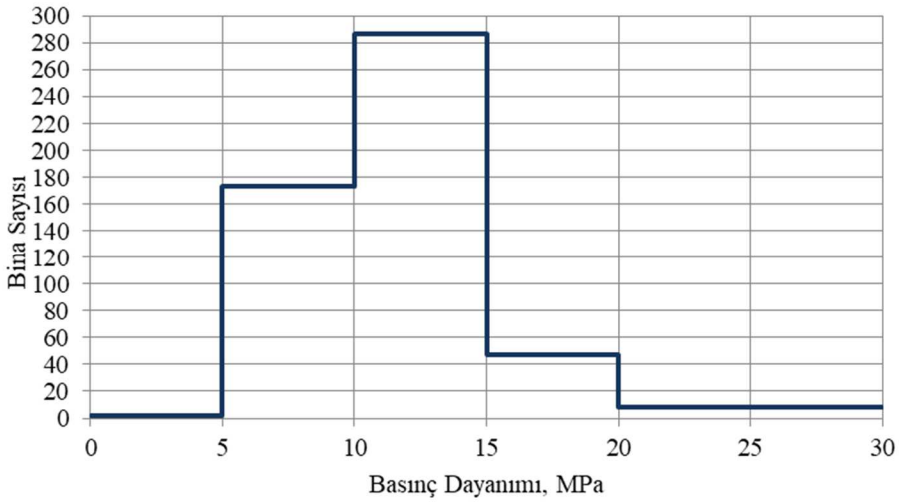
Şekil 4 – Bina yaşı-basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 4 incelendiğinde seçilen bina yaşlarının 3-67 yıl arasında değiştiği, 15-50 yaşındaki binaların basınç dayanımlarının büyük çoğunluğunun 6-15 MPa aralığında olduğu görülmektedir. Ayrıca, basınç dayanımı 20-30 MPa aralığında elde edilen bina sayısının oldukça az oldukları dikkat çekmektedir. İncelenen binaların karot numune sonuçlarına göre en çok tekrar eden beton basınç dayanımı 10 MPa olarak elde edilmiş olup diğer istatistiksel analiz sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2 – Basınç dayanımı değerlerinin istatistik analizi

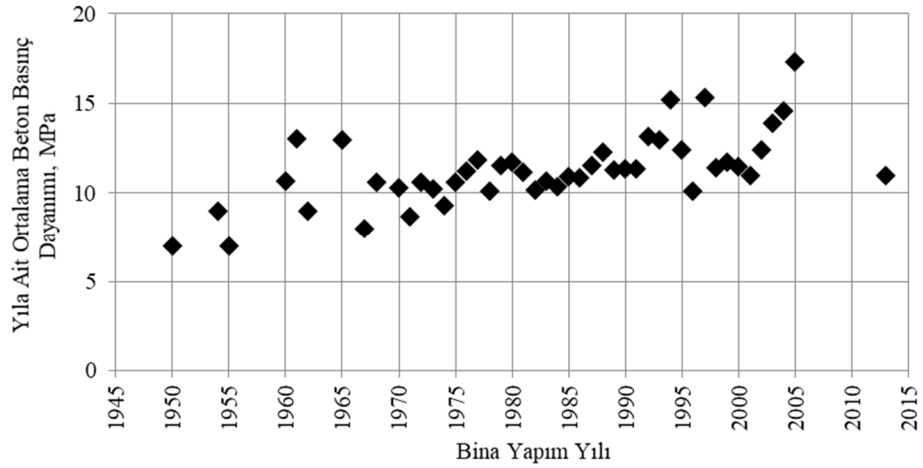
En Küçük Dayanım (MPa)	En Büyük Dayanım (MPa)	Ortalama Dayanım (MPa)	Standart Sapma (MPa)
3	29	11.24	3.58

Analiz sonuçlarına göre en düşük 3 ve en büyük 29 MPa basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. Her ne kadar en büyük basınç dayanımı 20 MPa'nın üstünde olsa da salt basınç dayanımının yüksek olması yapının risksiz değerlendirilmesi için yeterli olmayacağı unutulmamalıdır. Seçilen binaların sayısı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 5'te gösterilmiştir.



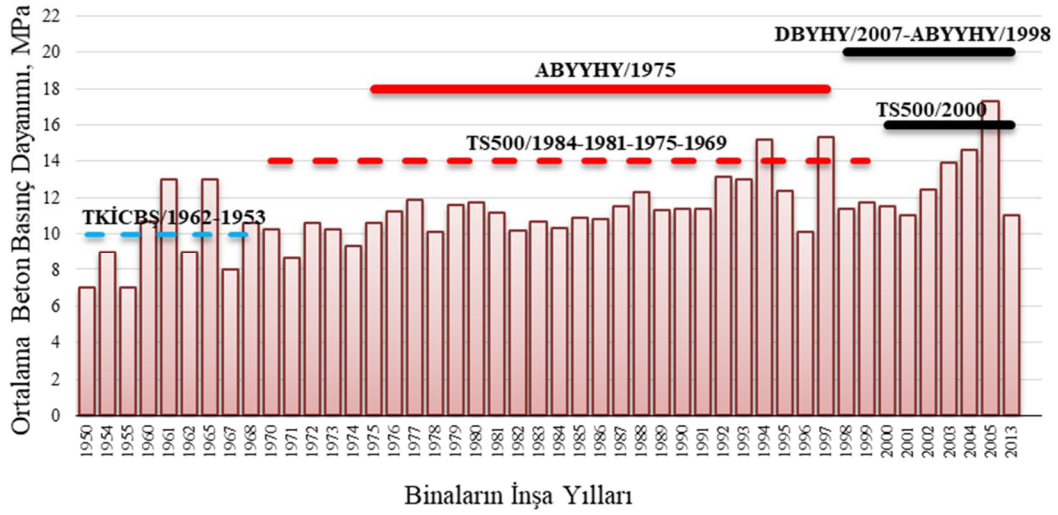
Şekil 5 – Binaların mevcut beton basınç dayanım değerleri

İncelenen betonarme binaların 2 adedi 5 MPa'ın altında, 173 adedi 5-10 MPa arasında, 287 adedi 10-15 MPa arasında, 47 adedi 15-20 MPa arasında, 8 adedi 20-25 MPa arasında ve 8 adedi 25-30 MPa arasındadır (Şekil 5). Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğinde (DBYYHY, 2007) en düşük beton sınıfı C20 iken Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY, 2018) bu sınıf en az C25'e yükseltilmiştir. İncelenen yapılardan TBDY'yi sağlayan yalnızca 6 adet bina bulunmaktadır. Seçilen yapıların yıllara ait beton basınç dayanımının dağılımı Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6 – Binaların yapım yıllarına göre ortalama beton basınç dayanım değerleri

Yukarıdaki şekle göre 1960-2005 yılları arasında 5-15 MPa arasında beton basınç dayanımlı binalar inşa edilmiştir. Hazır beton ilk olarak Almanya'da 1903 yılında ortaya çıkmasına rağmen, Türkiye'de 1976 yılından sonra kullanılmaya başlanmıştır (Karakule, Akakın ve Uçar, 2004). Ülkemizde hazır beton sektörünün başladığı yıldan sonra bile, Şekil 6'da da görüldüğü üzere, incelenen binalarda olması gereken kalitede basınç dayanımları üretilmemiştir. Şekil 6'da yıllara göre beton basınç dayanımında artış beklenirken, bu durumun pek de gerçekleşmediği anlaşılmaktadır. Şekil 7'de betonarme binaların ortalama beton basınç dayanım değerleri ile inşa edildikleri yılda kullanılan yönetmeliklerdeki izin verilen en düşük beton basınç dayanım değerlerinin mukayesesi görülmektedir.



Şekil 7 – Yıllara göre elde edilen ortalama beton basınç dayanımı değerleri ile yönetmeliklerin ve standardların kıyaslanması

Şekil 7'de görüldüğü üzere; bu çalışmada incelenen 525 yapıdan büyük çoğunluğunun, yetkili firmalar tarafından tespit edilen ortalama basınç dayanımlarının, ilgili standart ve yönetmelik şartlarını sağlamadığı görülmektedir.

3. Sonuçlar

Hatay İli'nde riskli bina olarak tespit edilmiş rastgele seçilen 525 adet betonarme binanın istatistiksel değerlendirilmesi sonucu;

- yapıların %88.19'luk kısmının 1970-95 arasında inşa edildiği ve bunların beton basınç dayanımlarının 5-15 MPa aralığında olduğu, yalnızca 16 adet binada basınç dayanımlarının 20-30 MPa aralığına girdiği,
- riskli olarak belirlenen yapıların büyük çoğunluğunun 1-2 katlı yapılar olduğu,
- incelenen binaların %37.33'ünde donatı korozyonu tespit edildiği,

görülmüştür. Hatay İli aktif fayların etkisinde olması nedeniyle, can ve mal kayıplarını minimize edebilmek için mevcut yapıların değerlendirilmesi ve depreme dayanıklı hale dönüştürülmesi oldukça önemlidir. Yeni yapılacak yapıların da güncel deprem yönetmeliği ve standartları sağladığı kontrol edilerek denetlenmelidir.

Kaynaklar

1. 1998 Deprem Yönetmeliği, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
2. 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun (2012, 31 Mayıs). *Resmi Gazete* (Sayı: 28309). www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/05/20120531-1.htm
3. ABYYHY-1975 (1975), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

4. AFAD, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2019). Tarihsel Depremler. www.deprem.afad.gov.tr/tarihseldepremler. Erişim tarihi: 08.05.2019
5. Ambraseys, N. N. (1989). Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal International*, *96*(2), 311-331.
6. Betonarme şartnamesi (1953), Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti
7. Betonarme şartnamesi (1962), Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti
8. Beyaz, A., & Livaoğlu, R. Bursa İli kentsel dönüşüm çalışmalarında elde edilen beton basınç dayanımının değerlendirilmesi. U*ludağ University Journal of the Faculty of Engineering, 24*(1), 63-74.
9. Canbaz, M., ve Şengel, S. (2015). Betonarme binalarda kentsel dönüşüm uygulamaları: Eskişehir, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *2*(2), 9-16
10. Cushman & Wakefield Araştırma Yayını. (2014). Kentsel Dönüşüm Araştırma Raporu- Türkiye. www.cushmanwakefield.com.
11. Çaycı, B. T. (2012). *Simav depremi sonrası bina yapısal özellikleri ile hasar seviyesi ilişkisinin araştırılması* (Yayımlanmış yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale.
12. ÇŞB, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012). 6306 sayılı Kanunun Uygulama Yönetmeliği, EK-2, Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar. Değişiklik, 25.07.2014 tarih ve 29071 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
13. DBYYHY-2007 (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
14. Duman, T. Y. (2015). Yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritaları ve Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi Açısından Önemi, MTA –Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
15. Karakule, F., Akakın, T., & Uçar, S. (2004). Türkiye'de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü. Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul
16. KOERI, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/. Erişim tarihi: 20.05.2019
17. TS 500/1969. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
18. TS 500/1975. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
19. TS 500/1981. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
20. TS 500/Nisan 1984. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
21. TS-500 (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
22. Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2018), Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.
23. Uslu, G., ve Uzun, B. (2014). Kentsel dönüşüm projelerinde deprem etkisi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, *6*(2), 1-11.
24. Uygur, İ. (2006). Düzce ilindeki betonarme binaların yeniden yapılanma sürecinde incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, *9*(4), 279-288.

Esnek Derzli Dolgu Duvarların Düzlem İçi ve Düzlem Dışı Davranışı

Osman Fatih BAYRAK[1], M. Musab ERDEM[2], Murat BİKÇE[3], Engin EMSEN[4]

[1,2,3] İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Türkiye
[4] İnşaat Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Türkiye
Emails: info@osmanbayrak.org, musab.erdem@iste.edu.tr, murat.bikce@iste.edu.tr, eemsen@akdeniz.edu.tr

Özet

1 Ocak 2019 tarihinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesi ile dolgu duvarlı çerçevelerin göreli kat öteleme sınırları güncellenmiş ve uygulamaya yönelik yenilikler getirilmiştir. Bu çalışmada, yeni bir yaklaşım olan dolgu duvarların çerçeve sistemden bağımsızlaştırıldığı esnek derzli durum incelenmiştir. Esnek malzeme ve taşıyıcı elemanların iç yüzeylerine ankrajlanan C-profiller, Sap2000 yazılımında yay (boşluk) eleman olarak modellenmiştir. Tek açıklık ve tek açıklık, tek genişliğe sahip iki farklı betonarme çerçevenin deplasman kontrollü analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile çerçeve sistemlerin düzlem içi ötelemelerde dolgu duvarlardan bağımsız çalıştığı, fakat düzlem dışı hareketinde dolgu duvarlarda gerilmeler meydana getirdiği görülmüştür.

Keyword(s): Dolgu duvar, Esnek Derzli Bağlantı, Düzlem İçi Davranış, Düzlem Dışı Davranış

1. Giriş

Betonarme çerçevelerde, yapı alanını bölümlere ayırmak ve yaşam alanlarının dış ortam ile izolasyonunu sağlamak amacıyla, farklı malzeme ve şekilde üretilebilen dolgu duvarlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Belli bir rijitliği olmasına karşın, taşıyıcı olmayan elemanlar olarak genellikle sınıflandırılan dolgu duvarların, sadece modal kütleye katkı sağladığı varsayılmaktadır. Dolgu duvarların yatay rijitliğe katkısı rezerv eleman olarak öngörülmekte ve bu etki tasarımda ihmal edilmektedir. Oysa ki dolgu duvarlar çerçeve sistemin davranışını olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Asteris, 2008, Tar, 2010, Zarnic & Tomazevic, 1984). Deprem ve rüzgâr etkisindeki yapılarda, dolgu duvarlar düzlem içi ve düzlem dışı zorlanmalara maruz kalmaktadır. Çerçeve sistemin içerisine oluşturulmuş dolgu duvarlar aynı düzlemde, yapının rijitliğini, yatay yük taşıma kapasitesini ve deprem performansını artırması gibi olumlu etkilere sahip olduğu gözlenmektedir (Şekil 1a) (Sevil, Baran & Canbay, 2010). Buna karşı duvarların planda ve düşeyde asimetrik konumlandırılmasıyla yapısal düzensizlikler meydana getirebilmektedir (Colangelo, 2005, Crisafulli, Carr & Park, 2000, Karslıoğlu, 2005). Ayrıca, düzlemine dik doğrultudaki düşük rijitlik, dolgu duvarın, olası bir yatay kuvvette düzlem dışı hasar alarak göçmesine neden olabilmektedir (Şekil 1b) (Kanıt, Erdal, Işık, Ömer, Yener, Serimer, Uğur & Atımtay, 2005, Al Hanoun, Abrahamczyk & Schwarz, 2019).

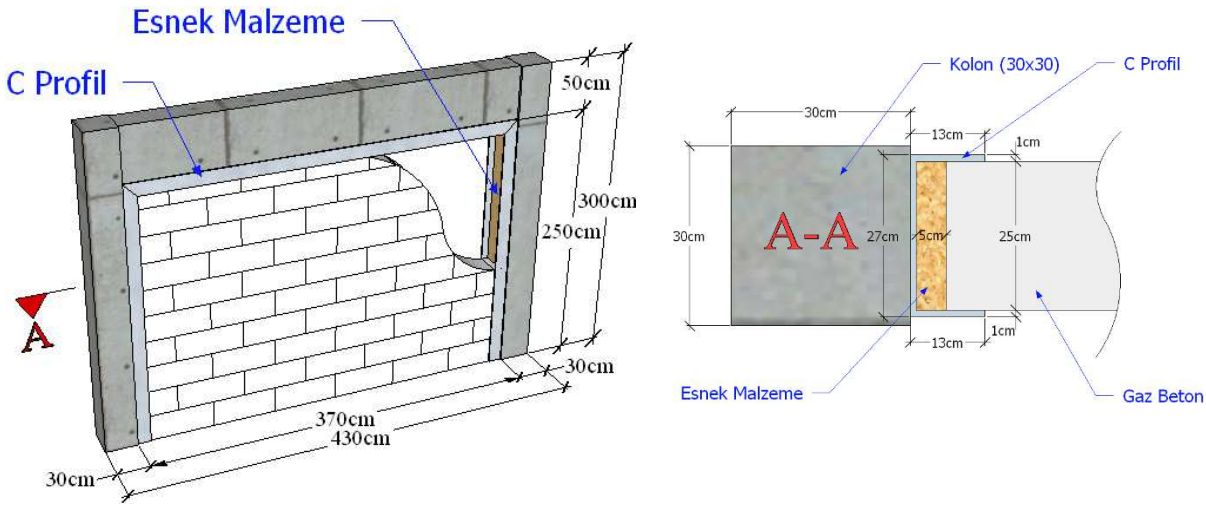
Şekil 1 – Dolgu duvarların hasarı (a) düzlem içi , (b) düzlem dışı (Bayülke, 2003)

Dolgu duvar davranışının yapı analiz modeline basit olarak yansıtılamaması, söz konusu etkinin dikkate alındığı yapı tasarımını zorlaştırmaktadır. Bu etki nedeniyle; tasarım ile uygulama arasındaki fark kaçınılmaz olacağı düşünülmektedir. Dolgu duvar hasarını minimize etmek amacıyla, 1 Ocak 2019'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) dolgu duvar-çerçeve arası esnek derzsiz/derzli durumlar için etkin göreli kat öteleme sınırı güncellenmiştir. 2018 TBDY – Bilgilendirme Eki 4C "*Dolgu Duvarlari İçin Esnek Bağlantı Detayı Örneği*" dikkatle incelendiğinde, esnek bağlantının sadece düzlem içi davranışta etkili olduğu, düzlem dışı hareketin kısıtlanmasının ise dolgu duvarın salt profil içinde kalacağı yani taşıyıcı eleman hareketiyle uyumlu davranacağının kabul edildiğini düşündürmektedir. Oysa ki, esnek bağlantı yönteminin; dolgu duvarın gevrek ve çerçevenin sünek bağımsız hareketlerini yapabilmesi, depremde tasarım ile uygulamanın örtüşmesi ve yapısal/yapısal olmayan elemanlarda en az hasarın oluşması maksatlarıyla esnek derzsiz bağlantıya bir alternatif olarak sunulduğu anlaşılmaktadır. Bu prensip düzlemsel davranışta olduğu gibi düzlem dışı davranışta da sağlanabilmesi son derece yararlı olacaktır.

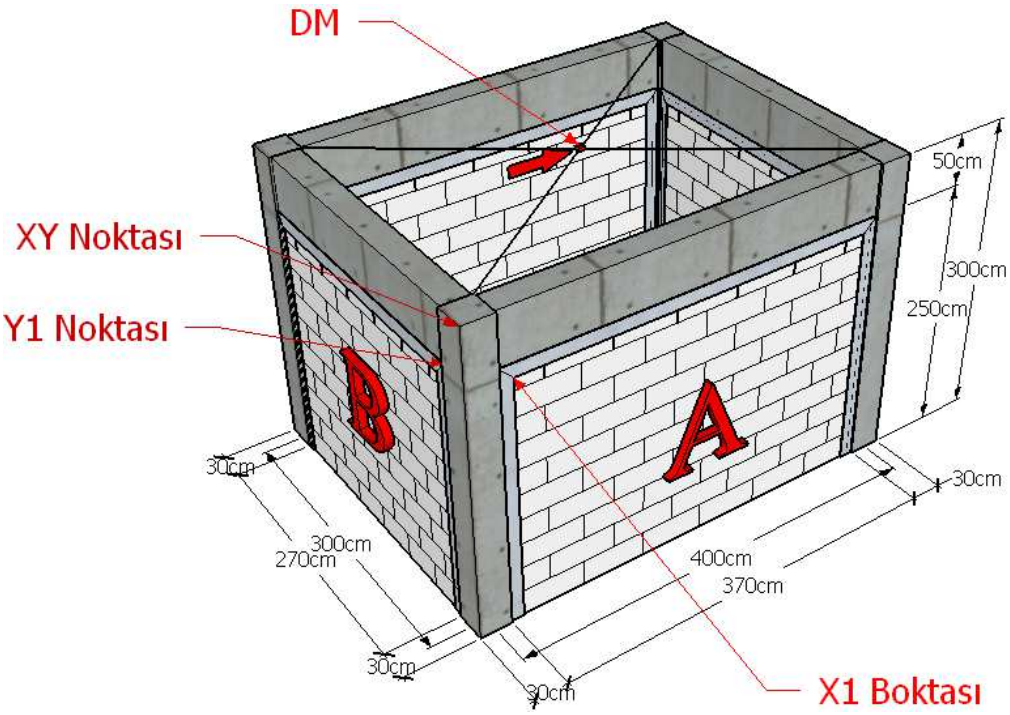
Bu çalışmada, 2018 TBDY'de seçenek olarak sunulan esnek derzli bağlantı, tek kat ve tek açıklık için, düzlemsel ve üç boyutlu çerçeve olarak Sap2000 yapı analizi programında modellenerek düzlem içi ve düzlem dışı davranışlar açısından incelenmiştir (CSI, 2018). Modellenen çerçevelerin esnek derzleri 2018 TBDY tarafından sınırlandırılan göreli kat ötelemelerinin en büyük sınır değerini kapsayacak şekilde oluşturularak, deplasman kontrollü analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile dolgu duvarlı çerçevelerde oluşabilecek gerilmeler ve ötelemeler izlenmiştir.

2. Modelleme ve Analiz

Esnek derzli durum için, düzlemsel ve üç boyutlu iki adet çerçeve sistem incelenmiştir (Şekil 2, 3). Her iki betonarme çerçevede, beton sınıfı için C25/30, donatı sınıfı için S420 kullanılmıştır. Kolonları 30x30cm, kirişleri 25x50 olan çerçeve sistem arasına oluşturmak üzere uzunluğu 60 cm, yüksekliği 25 cm, kalınlığı 25 cm olan gaz beton seçilmiştir. Ayrıca TBDY'nde önerilmesi üzere dolgu duvar elastisite modülü 1000 MPa kabul edilmiştir.



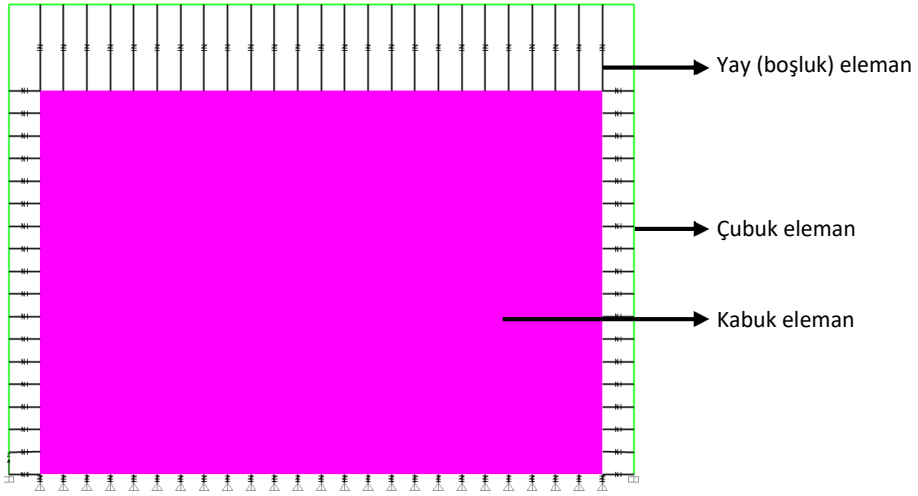
Şekil 2 – Düzlemsel çerçeve boyutu ve en kesiti



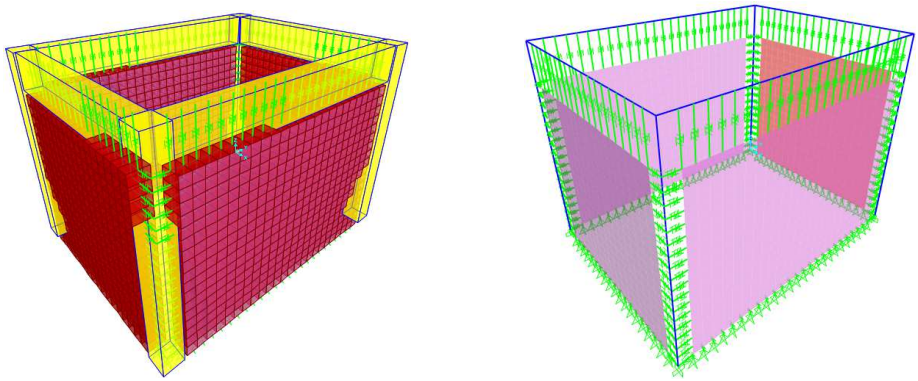
Şekil 3 – Üç boyutlu çerçeve system ve izlenen noktalar

Şekil 3'te görüldüğü gibi çerçeve sistemler esnek derz ile birbirinden ayrılarak düzlem içi hareketi serbest bırakılıp düzlem dışı davranışı kısıtlanmıştır. Erdem ve Bikçe yaptığı çalışmada, Türkiye için her ilde seçilen konumlara ait azaltılmış göreli kat öteleme sınırını inceleyerek izin verilen en büyük sınır değerin 2.7 cm ile Aksaray il merkezinde olduğunu belirtilmiştir (Erdem & Bikçe, 2017). Sınır değerin sağlanmasında kalınlığı 5 cm olarak seçilen esnek malzeme 27 cm C-profiller ile kolon ve kiriş iç yüzeylerine ankrajlanarak dolgu duvar çevrelenmiştir. Üç boyutlu çerçeve sistemin A yüzeyinin sol üst köşe noktası X1, B yüzeyinin sağ üst köşe noktası Y1 ve A-B kesişim kolonunun üst köşe noktası XY olarak adlandırıldığı Şekil 4'te görülmektedir. Rijit diyaframlı çerçeve sistemler Sap2000 yazılımında modellenerek DM noktasının A yüzeyi doğrultusunda 6 cm ötelenmesi ile deplasman kontrollü analiz

gerçekleştirilmiştir. Kabuk olarak modellenen dolgu duvar ile çerçeve arası bağlantı sadece basınca çalışabilen yaylar (boşluk elemanlar) ile sağlanmıştır.(Şekil 4, 5).



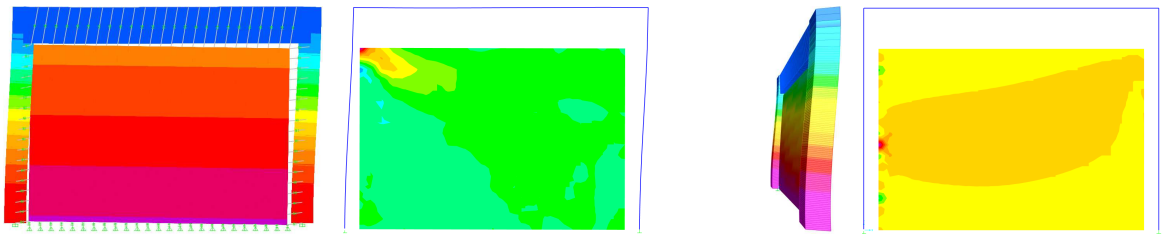
Şekil 4 – Sap2000 modeli elemanları



Şekil 5 – Üç boyutlu çerçeve Sap2000 modeli

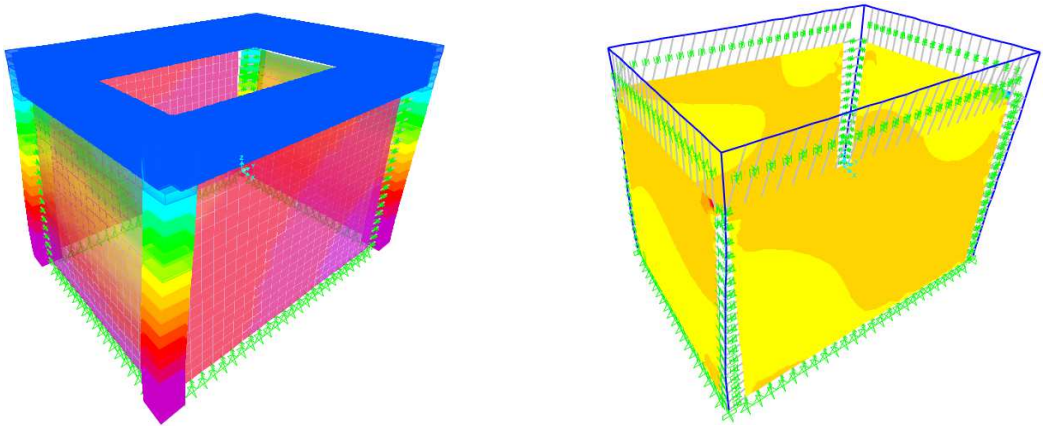
3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan deplasman kontrollü analiz ile düzlemsel dolgu duvarlı çerçeve sistemin şekil değiştirmesi ve dolgu duvarda meydana gelen gerilmeler Şekil 6 a, b'de gösterilmiştir. Üç boyutlu çerçeveye ait deplasman kontrollü analiz sonuçları Şekil 7 a,b'de verilmiştir. Çerçevelerin düzlem içi ve düzlem dışı davranışının incelenmesi amacıyla X1, Y1 ve XY noktası deplasmanları karşılaştırılmıştır (Şekil 8).



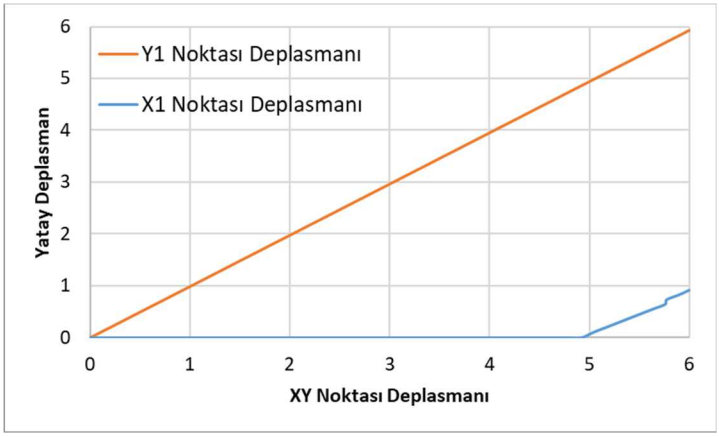
(a) **(b)**

Şekil 6 –Çerçeve deplasmanı ve dolgu duvar gerilmesi (a) Düzlem içi, (b) düzlem dışı,



(a) **(b)**

Şekil 7 – Üç boyutlu (a) Çerçeve deplasmanı ve (b) dolgu duvar gerilmesi



Şekil 8 – X1, Y1 ve XY noktası deplasmanları

Elde edilen bulgulardan, C-profil ve esnek derzin yaylarla modellendiği çerçevelerin 5 cm düzlem içi ötelenmesi ile dolgu duvarlara gerilme aktarmadığı görülmüştür. Ancak düzlem dışı hareket C-profiller ile kısıtlanarak bu doğrultuda esnek bir malzemenin bulunmaması durumunda, duvarlarda gerilmelerin oluşmasına neden olmuştur. Yapılan analizlerden, çerçevelerin kontrollü 5 cm düzlem içi ötelenmesi ile dolgu duvarlarda herhangi bir hasar beklenmezken düzlem dışı davranışta oluşacak gerilmelerden dolayı hasar oluşmasının olası bir durum olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda, düzlem dışı oluşabilecek gerilmelerin önüne geçilerek olası bir hasarın engellenmesi bir sonraki araştırma konusu olarak düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

Dolgu duvarlı çerçevelerin 2018 TBDY'nde önerildiği şekliyle esnek derzli yapılması durumu için düzlemsel ve üç boyutlu olarak hazırlanan iki farklı modelin Sap2000'de deplasman kontrollü analizleri gerçekleştirilmiştir. Çerçeve ile dolgu duvar arasına bırakılan 5 cm esnek derz elemanının hesaplanan azaltılmış göreli kat ötelemeleri için yeterli olduğu anlaşılmıştır. Çerçevelerin düzlem içi hareketinin 5 cm ötelemeye kadar dolgu duvarlardan bağımsız olduğu, dolgu duvarda gerilme oluşturmadığı, ancak, düzlem dışı davranışta gerilmelerin meydana geldiği görülmüştür.

Teşekkürler

Yazarlar, TÜBİTAK 118M317 nolu proje kapsamında yapılan çalışmalara, TÜBİTAK tarafından sağlanan destek için teşekkürü borç bilirler.

Kaynaklar

1. Asteris, P. G. (2008). Finite element micro-modeling of infilled frames. Electronic Journal of Structural Engineering, 8(8), 1-11.
2. Tar, İ. Ö. (2010). Dolgu duvarların modellenmesinde kullanılan eşdeğer basınç çubuğu yöntemlerinin karşılaştırılması, Phd Thesis.
3. Žarnić, R., & Tomaževič, M. (1984). The behaviour on masonry infilled reinforced concrete frames subjected to cyclic lateral loading.
4. Sevil, T., Baran, M., & Canbay, E. (2010). Tuğla dolgu duvarların B/A çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; deneysel ve kuramsal çalışmalar. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 2(2), 35-42.
5. Colangelo, F. (2005). Pseudo-dynamic seismic response of reinforced concrete frames infilled with non-structural brick masonry. Earthquake engineering & structural dynamics, 34(10), 1219-1241.
6. Crisafulli, F. J., Carr, A. J. & Park, R. (2000). Analytical modelling of infilled frame structures-a general review. Bulletin-New Zealand Society for Earthquake Engineering, 33(1), 30-47.
7. Karslıoğlu, Ö. (2005). Çok Katlı Binalarda Bulunan Tuğla Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkileri.KSÜ. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
8. Kanıt, R., Erdal, M., Işık, N. S., Ömer, C. A. N., Yener, M. K., Serimer, G., Uğur, L.O. & Atımtay, E. (2005). Düzlem dışı yüklenen yığma yapıların deneysel davranışı.
9. Bayülke, N. (2003). Betonarme yapinin dolgu duvari. Türkiye mühendislik haberleri, 85-98.
10. Al Hanoun, M. H., Abrahamczyk, L., & Schwarz, J. (2019). Macromodeling of in-and out-of-plane behavior of unreinforced masonry infill walls. Bulletin of Earthquake Engineering, 17(1), 519-535.
11. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
12. Berkeley, C. (2018). SAP2000 version 20.2. Computers and Structures. Inc., California.
13. ERDEM, M. M., & BİKÇE, M. (2017). Maksimum Azaltılmış Göreli Kat Ötelemelerinin Güncel (DBYBHY2007) ve Yeni Yönetmelik Taslağına (TBDY2016) Göre Mukayesesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32(2), 253-262.

Doğu Anadolu Bölgesi Don Derinliğinin Tahmini

S. Yedek[1] ve M. Bikçe[2]

[1, 2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Turkey
Email: seda_yedek@hotmail.com, murat.bikce@iste.edu.tr

Özet

Ülkemizdeki soğuk iklimlerin yaşandığı bölgelerde inşa edilen yapıların tasarımında, zeminde oluşan donma ve çözülmenin yapıda oluşturacağı etki ve değişimler hesaba katılmalıdır. Özellikle yüzeysel temel derinliğinin belirlenmesinde don penetrasyon derinliği göz önünde bulundurularak tasarım yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Modifiye Berggren yöntemi kullanılarak Doğu Anadolu Bölgesindeki tahmini don penetrasyon derinliğinin hesaplanması amaçlanmıştır. Zemin özellikleri ve sınıfları için 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre tanımlamaların dikkate alındığı bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi don derinliği penetrasyon haritası oluşturulmuştur.

Keyword(s): Don derinliği, TBDY 2018, Donma-çözülme problemi, Donma kabarması, Temel derinliği

Abstract

In the design of buildings constructed in the regions where cold climates are experienced in our country, the effects and changes to be created on the ground by freezing and thaw should be taken into account. Especially in determining of the surface depth, of the frost penetration depth is very important to be considered of the design. In this study, it is aimed to calculate the estimated depth of frost penetration in Eastern Anatolia by using Modified Berggren method. Soil properties, for the 2018 Turkey Building Earthquake Regulations considered classes ground determined and as a result of the calculations made in this direction, Eastern Anatolia Region map of the frost penetration depth was created.

Keyword(s): Frost depth, TBDY 2018, Frost-thaw problem, Frost heave, Basic depth

1. Giriş

Dünya üzerinde toprağın donma ve çözülmesi oldukça yaygın bir durumdur. Yeryüzündeki kara parçalarının yaklaşık %50'si yıllık döngü esnasında belirli bir zaman diliminde donmakta ve arazide %20 oranında permafrost tabaka oluşturmaktadır [1-2]. Hava sıcaklığının 0°C'nin altına düştüğü ve belirli miktarda su içeriğine sahip bölgelerde don olayı gerçekleşmektedir. Bu olay, büyük miktarda su içeren topraklarda, buz merceklerinin oluşması ve gelişmesiyle birlikte zeminde don kabarmalarının oluşumuna neden olmaktadır. Don kabarması, suyun toprak katmanları içerisinde donmasından kaynaklanan toprak yüzeyinin yükselmesi anlamına gelmektedir. Taber (1930) don kabarmasının özelliklerini deneysel olarak gösteren ilk çalışmadır [3].

Ülkemizde özellikle Doğu Anadolu Bölgesinde (DAB) toprakta meydana gelen mevsimsel donma ve çözülme, inşaat mühendisliği yapılarının tasarımını etkileyen önemli bir faktördür. Türkiye'de Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından 2008 yılında ulaşım esnek yapıları için don penetrasyon derinliği haritası çıkarılmıştır [4]. Ancak, don olayının yalnızca ulaşım yapıları için değil, temel ve istinat yapılarına etkisinin de göz önünde bulundurulduğu güncel don derinliği haritası ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bina temellerinde ve yollarda don kabarması sonucunda oluşan plastik deformasyonun yol açtığı çatlaklar soğuk bölgelerde ekonomik açıdan endişe duyulmasına yol açmaktadır [2]. Donma-çözülme olayının başlaması ve buz merceklerinin gelişmesiyle temeller istinat ve ulaşım yapıları, düşey ve yanal gerilmelere maruz kalmaktadır. Zeminde oluşan yer hareketleri ek baskı altındaki inşaat yapılarının hareket ederek hasar almasına sebep olmaktadır [2, 5, 6]. Ancak bu hasarın, tasarım sürecinde toprakların don derinliğinin dikkate alınmasıyla en aza indirilebileceği belirlenmiştir. Özellikle temeller don olayının etkisiz hale getirilmesi için genellikle don çizgisinin altına inşa edilmektedir [6].

Donma derinliği, hava sıcaklığına, toprak ısıl özelliklerine, toprak su içeriğine, rüzgâr hızı ve yağış gibi iklim koşullarının bir fonksiyonu olarak nitelendirilmektedir [6-7]. Tahmini don derinliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan birçok çalışmada farklı deneysel ve amprik yöntemler uygulanmıştır [2, 6, 8-12]. Bu yöntemler donma ve çözülme sırasında topraklardaki ısı ve su transfer işlemlerinin farklılık derecelerine göre değişmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde donma- çözülme evresi sırasında toprağın mekanik ve fiziksel özelliklerinin değişmesiyle beraber temeller ve alt yapıların olumsuz etkilenebileceği belirlenmiştir [6, 11]. Toprakta donma miktarının belirlenmesinde en önemli faktör hava sıcaklığı olduğundan, birçok araştırmacı don derinliği ile hava sıcaklığını ilişkilendirmeye çalışmıştır [13-18]. Stefan (1890), hava sıcaklığı gözlemlerini kullanarak toprak donma derinliğini ampirik olarak belirlemek için "Stefan denklemi" olarak adlandırılan ampirik bir ilişki geliştirmiştir [13]. Jumikis'in (1977), zeminde meydana gelen don derinliği tespiti için Stephan'ın analitik çözümünü kullanmaya yönelik araştırmasından sonra, Haas ve Winters (1984), donma gözlenen günlerin sıcaklığına dayanan deneysel bir metod önermiştir [14-15]. Agnieszka (1996) ve Steuer (2003), Hava Dondurma Endeksinin (AFI), don derinliğinin belirlenmesi için ana yönetim faktörü olduğunu önermiştir [16-17]. Bu indeks tamamen hava sıcaklığıyla ilgili olduğundan herhangi bir bölge için değerlendirilebilir ancak toprağa ait özelliklerin bilinmezliği nedeniyle doğruluğu tartışmaya açık bir konudur. Tahmini don derinliğinin belirlenmesinde daha sağlıklı sonuçlar elde etmek için toprağın sıcaklığını belirlenmesi gerekir. Bu amaç doğrultusunda çeşitli modeller ve deneysel araçlar oluşturulmuştur [2]. Fox (1992), Stefan denklemi ile toprak donma ve çözülmesinin, topraktaki su sızıntısı ve drenaj üzerindeki etkilerini açıklamak amacıyla bir hidroloji modeli oluşturmuştur [18]. Callendar ve McCleod (1896) ise yaptıkları deneysel çalışmayla istasyonlardan alınan ilk sıcaklık değerlerini kullanarak toprağı bu sıcaklığa maruz bırakmış ve mevsimsel donmayı belirlemeyi amaçlamışlardır [19]. Flerchinger (2013), don olayının, donma kabarması, aşınabilirlik, sızma, toplam stabilite ve çözünme hareketi üzerindeki etkilerini araştırmıştır [20]. Thomas ve Trat (1984) iki boyutlu modellerde toprakların donması ve çözdürülmesi üzerinde çalışmıştır [21]. Mckeown ve Clark (1988), toprağa ait termal rejim ve çakılların donma sürecini incelemiştir [9]. McCormick (1993),

karayollarında oluşan don olayını araştırmıştır [22]. Degaethano ve Cameron (2001) normal iklim verilerini kullanarak toprakların maksimum don penetrasyon derinliğini simüle etmiştir [23]. Hava indeksinin yanı sıra toprak özelliklerinin ve yüzey indeksinin bilinerek don derinliğinin hesaplanması amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmıştır [10]. Argue ve Denyes, maksimum don penetrasyon derinliği ile donma indeksi arasındaki ilişkiyi incelemiştir [24].

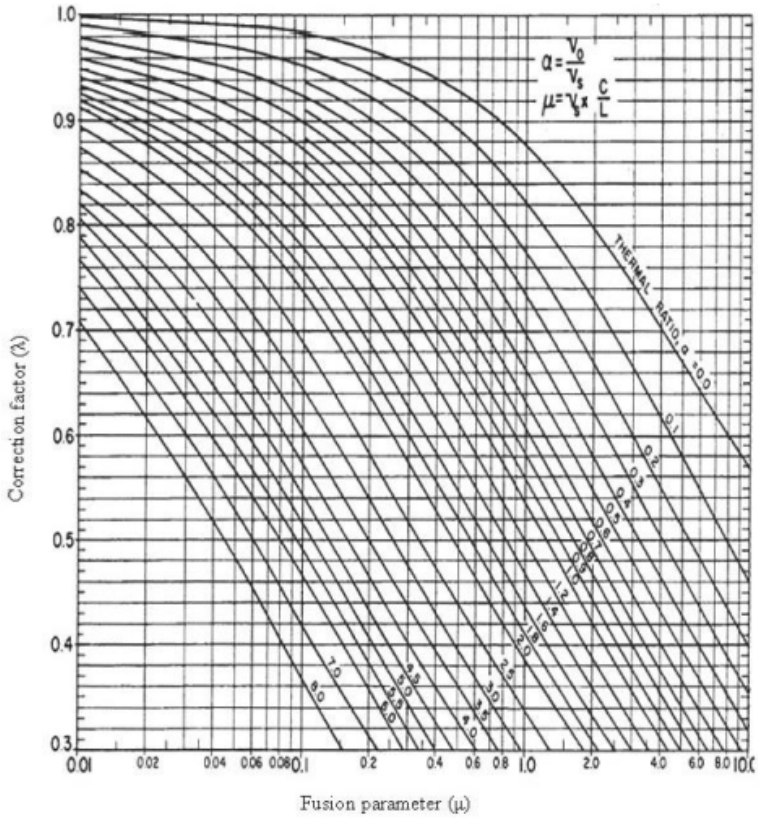
Zemin tipine ve karla kaplı olup olmamasına bağlı olarak donma endeksinden maksimum don derinliğini tahmin etmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir [25-26]. Huen ve arkadaşları Kuzey Ontario'da kurulan yol hava durumu bilgi sisteminden (RWIS) toplanan sıcaklık verileri ile don derinliğini tahmin etmeye çalışmıştır [25]. Tighe ve arkadaşları (2007) Kanada'nın Quebec kentinde don derinliğinin tahmini için deneye dayalı bir yöntem geliştirmek amacıyla araştırma yapmıştır [26]. Yürüttüğü bu araştırmada katman yüzeyi sıcaklığı ve kümülaif donma derecesi gününü dikkate alarak hesapladığı don derinliği değerlerini, gerçekte ölçülen değerlerle karşılaştırarak ilişkilendirmiş ve istatistiki bir denklem elde etmiştir [26]. Chisholm ve Phang, Ontario'daki farklı istasyonlardan gelen verileri kullanarak hesaplanan kümülatif donma derecesi günü ile don derinliğini belirlemek için ampirik bir denklem geliştirmişlerdir [8]. Berggren ise ısı faz değişimleri dikkate alarak Neumanın önerdiği denklemi geliştirmeye yönelik incelemeler yapmıştır [27-28].

Geçen yüzyıla kadar yaygın olarak kullanılan Stefan denklemi toprağın ve suyun hacimsel ısı kapasitesini göz önüne almadığından, sonuçların doğruluğu tartışılmalıdır. Aldrich ve ark. (1953), boyutsuz iki parametrenin bir fonksiyonu olan "Berggren Denklemine" bir düzeltme faktörü uygulayarak "ModBerggren denklemini" oluşturmuşlardır [10]. Bu düzeltme katsayısı termal oran (α) ve füzyon parametresi (μ) bağlı olarak değişir (Şekil 1). Sonuç olarak, Modifiye Berggren denklemi de dâhil olmak üzere don derinliğinin tahminini geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada toprakta meydana gelen donma-çözülme olaylarının bina temellerinde oluşturacağı hasarı minimum düzeye indirmek amacıyla DAB'nin don penetrasyon derinliği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında DAB'sinin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY) yer alan zemin sınıflarına göre, tahmini don penetrasyon derinliğinin ModBerggren denklemi kullanılarak hesaplanmıştır [26].

Son yıllarda toprakların donma derinliğini belirlemek için yeni yöntemler veya ilişkiler geliştirmek amacıyla birçok girişimde bulunulmuştur. Türkiye'de ise KGM tarafından 2008 yılında hazırlanan Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberinde dona hassas zeminlerin sınıflandırılmasına yer verilmesine rağmen don penetrasyon derinlikleri belirlenirken yalnızca hava sıcaklık değerleri ele alınarak oluşturulan bir amprik formülle elde edilmektedir [4]. Zemine ait özelliklerin dikkate alınmaması don derinliği haritasının güncellenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında ülkemizde özellikle kış aylarının sert geçtiği ve karın yılın yaklaşık 120 günü yerde kaldığı DAB don derinliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır [30]. 39° 25′ 35″ Kuzey enlemleri ile 41° 14′ 4″ Doğu boylamları arasında yer alan DAB yaklaşık olarak 171061 km^2 alan kapsamaktadır [12]. Dört mevsim yağış görülen

DAB yıllık 2200 mm yağış almaktadır [12]. Belirtilen yağış durum ile özellikle son yıllarda ülkemizde ortalama hava sıcaklıklarının düşmesi ve karasal ikliminde etkisiyle bölgenin büyük bir kısmının don etkisine maruz kaldığı gözlenmektedir. Donma-çözülme döngüsü zeminin fiziksel, kimyasal ve termal özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yapılan çalışma kapsamında bu değerler, 2018 TBDY'de yer alan her bir zemin sınıfı için literatür araştırmasından zemin özellikleri elde edilmiş ve Tablo 1 de gösterilmiştir [29, 31, 32].



Şekil 1 - μ füzyon parametresine bağlı, λ düzeltme faktörü (v_0 ortalama yıllık sıcaklık, v_s donma derecesi gününe bağlı ortalama sıcaklık, C hacimsel ısı kapasitesi, L latent ısısı) [6]

Tablo 1 - 2018 TBDY de belirtilen zemin sınıfları ve literatürde belirtilen özellikleri [29,31-32]

Zemin Tipi	İçeriği	Termal İletkenlik (W/m.K)	Su İçeriği (%)	Özgül Ağırlık (g/m^3)
ZA	Sağlam, sert kayalar	4.5	1	2.67
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	4.2	2	2.55
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	3.28	9.6	2.16
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	3.34	20.2	1.73
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları	3.57	28.5	1.48

Tahmini don derinliğinin belirlenmesindeki bir diğer etken ise hava sıcaklığı ve bunlara bağlı oluşturulmuş endeks değerleridir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden ölçüm periyodu

1927-2018 yılları arasındaki ortalama hava sıcaklık değerleri, her il için ayrı ayrı alınarak Tablo 2'de gösterilmiştir [33].

Tablo 2 - 1927-2018 ölçüm periyodunda aylara göre ortalama hava sıcaklıkları (ºC) [33]

İLLER	AYLARA GÖRE HAVA SICAKLIKLARI (°C)											
	1.Ay	2.Ay	3.Ay	4.Ay	5.Ay	6.Ay	7.Ay	8.Ay	9.Ay	10.Ay	11.Ay	12.Ay
Ağrı	-15.6	-14.5	-8.0	0.6	5.3	8.2	12.1	11.8	6.8	1.9	-3.5	-10.8
Ardahan	-16.8	-15.9	-8.9	-1.2	3.2	5.8	8.8	8.5	4.3	-0.1	-5.5	-12.7
Bingöl	-6.0	-5.0	-0.2	5.7	10.1	14.7	19.0	18.6	13.6	8.2	2.2	-2.9
Bitlis	-6.6	-5.8	-2.0	3.2	7.4	11.5	15.6	15.1	15.1	10.7	0.9	-4.3
Elazığ	-4.0	-3.1	0.9	6.4	10.9	15.3	19.4	19.2	14.6	8.9	3.1	-1.3
Erzincan	-7.0	-5.5	-0.8	4.7	8.8	12.1	15.5	15.3	10.8	5.8	0.7	-4.1
Erzurum	-14.0	-12.6	-7.1	0.0	4.4	7.3	11.2	11.2	6.5	1.8	-3.7	-10.3
Hakkâri	-8.0	-6.8	-1.8	4.0	9.2	14.0	18.3	18.1	13.9	7.8	1.2	-4.8
Iğdır	-8.1	-5.6	0.1	6.1	10.6	14.3	18.0	17.2	12.2	6.0	0.3	-4.7
Kars	-16.4	-15.0	-8.4	-0.7	3.9	6.6	9.9	9.7	5.3	-0.5	-4.8	-12.0
Malatya	-3.4	-2.1	2.2	7.5	11.9	16.2	19.9	19.9	15.5	9.9	3.9	-0.8
Muş	-10.8	-9.6	-2.9	4.2	8.8	12.6	17.0	16.9	12.2	6.8	0.5	-6.0
Tunceli	-5.6	-4.2	1.0	6.2	10.2	14.5	18.9	18.5	13.3	8.2	2.0	-2.4
Van	-7.6	-7.2	-2.9	2.6	7.0	10.8	14.6	14.6	10.7	5.6	0.3	-4.7

2. Sayısal Yöntem ve Modelleme

Don derinliğinin belirlenmesi amacıyla birçok araştırmacı çeşitli yöntemler geliştirmeye çalışmıştır. İlk olarak Neuman 1860'lı yıllarda ısı transfer fazı değişimini kullanarak bir denklem oluşturmuştur [27]. Daha sonra 1891 de Stefan sıvı katmanlardaki hiçbir ısı transferinin olmadığını varsaymıştır ve Neumanın yaptığı çalışmayı geliştirerek formülü daha anlaşılır hale getirmiştir. Denklem 1' de Stefan denklemi verilmiştir [27].

$$P = \sqrt{\frac{48 k_f n CFDD}{L}} \qquad \text{(Denklem 1)}$$

$$\mathrm{L} = \gamma_d w \qquad \text{(Denklem 2)}$$

Burada, P, don derinliğini, k_f, termal iletkenliği, n, boyutsuz parametreyi, CFI, kümülatif donma derecesi günü indeksini, L, latent ısısını, w, su içeriğini, g_d, kuru birim hacim ağırlığı tanımlanmaktadır [13].

Stefan yaptığı çalışmada toprağın ve suyun hacimsel ısı kapasitesini dikkate almadığından yanlış sonuçlar çıkmasına sebep olabilmektedir [2]. Bu nedenle don derinliğinin, daha doğru tahminini geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında; Nixon ve McRoberts denklemi ve ModBerggren denklemi yer almaktadır [10, 34]. Aldrich ve arkadaşları Berggren denklemine bir düzeltme faktörü uygulamışlardır. Düzeltme katsayıları (λ), toprak kütlesindeki sıcaklık değişimlerinin etkilerini açıklayan, ısıl oran (α) ve füzyon parametreleri (μ) boyutsuz iki parametrenin bir fonksiyonu olarak belirlenmiş ve Şekil 1'de gösterilmiştir

[10]. Düzeltme faktörü uygulanarak oluşturulan ModBerggren denklemi (Denklem 3) aşağıda gösterilmiştir [6];

$$P = \lambda\sqrt{\frac{48k_f nCFDD}{L}} \quad \text{(Denklem 3)}$$

Burada, λ, düzeltme katsayısıdır ve diğer tüm değerler Stefan denklemiyle aynıdır. Ayrıca bu çalışma kapsamında, formülde geçen n boyutsuz parametresi literatür araştırmaları sonucu 0.9 olarak kabul edilmiştir [27]. Hava indeksi (I_{af}), sıcaklığın 0°C'nin altına düştüğü aylara göre belirlenmiştir. Yüzey indeksi (I_{sf}) ise hava endeksinin "n" boyutsuz parametresine oranıyla elde edilmiştir.

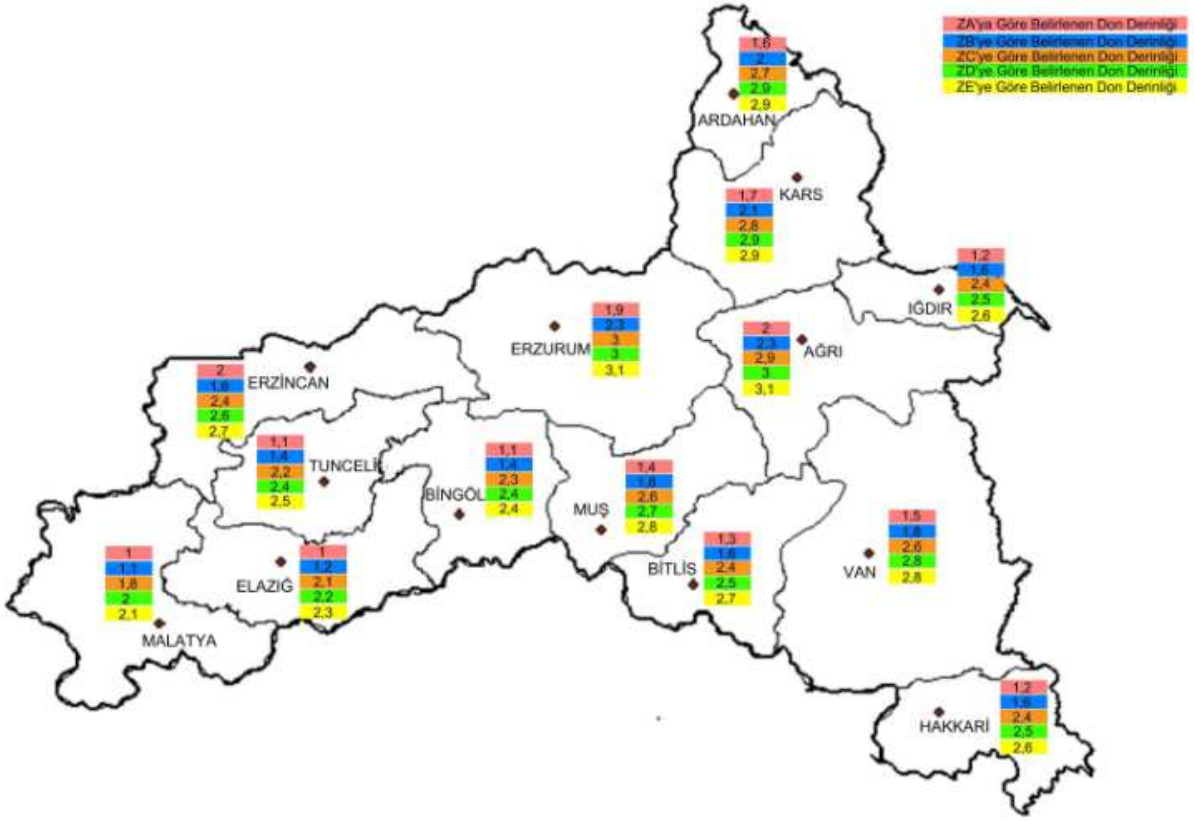
Termal oran, ilk sıcaklık farkının (ortalama yıllık sıcaklık -32 ° F) ve ortalama sıcaklık farkının, füzyon parametresi ise ortalama hacimsel ısı kapasitesi ve hacimsel ısı füzyonunun bir fonksiyonudur [35]. Kullanılacak olan sıcaklığa bağlı parametre özellikleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Modifiye Berggren denklemine çok katmanlı homojen olmayan topraklarda, kümülatif donma derecesi günü (CFDD) her katman için uygulanabilmektedir [6]. Donma penetrasyon derinliği tüm donmuş tabakaların kalınlıklarının toplamı olarak tahmin edilebilmektedir. Denklem 4'de ifade edilen CFDD şöyle tanımlanmaktadır [6]:

$$CFDD_n = \frac{L_n d_n}{24}\left(\sum_1^{n-1} R_n + \frac{R_n}{2}\right) \quad \text{(Denklem 4)}$$

Burada, L_n, n'inci katmanın volumetrik ısı kapasitesini, d_n, n'inci katman derinliğini, Rn, n'inci katmandaki termal yayılmayı, $CFDD_n$, don seviyesinin n'inci katmana nüfuz etmesi için gereken kümülatif donma derecesi gününü tanımlamaktadır. Her zemin sınıfı ve bölgede ki tüm iller için belirlenen bu parametrelerle, ModBerggren denklemi kullanılarak DAB don derinlikleri hesaplanmıştır (Şekil 2).

Tablo 3 - Don derinliği parametreleri

İller	v_o	v_s	Iaf (°C.gün)	Isf (°C.gün)
Ağrı	-0.48	8.62	1446	1301
Ardahan	-2.54	7.81	1840	1656
Bingöl	6.50	3.14	422	380
Bitlis	5.07	4.18	562	506
Elazığ	7.53	2.51	251	226
Erzincan	4.69	3.89	523	471
Erzurum	-0.44	8.57	1437	1293
Hakkâri	5.43	4.78	643	579
Iğdır	5.53	5.54	554	498
Kars	-1.87	7.39	1741	1567
Malatya	8.38	1.89	189	170
Muş	4.14	6.54	880	792
Tunceli	6.72	3.66	366	329
Van	3.65	5.00	673	606



Şekil 2 - DAB Zemin Sınıflarına Göre Don Penetrasyon Derinlikleri

3. Sonuçlar

Bu çalışmada donma-çözülme işleminin bölgedeki yapı temelleri üzerindeki zararlı etkileri açıklanmıştır. DAB'nin tahmini don derinliğini gösteren bir kontur haritası sunulmuştur. Sunulan harita verileri incelendiğinde don derinliğinin en fazla olduğu illerin Erzurum ve Ağrı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca zemin sınıflarına göre don derinlikleri incelendiğinde dona en hassas zemin sınıfının ZE olduğu sonucuna varılmıştır. Bu analiz yöntemleri sonucunda don derinliğinin toprak içeriği ve hava sıcaklığına bağlı olarak suya doygunluğun fazla olduğu zemin sınıflarında daha derin olduğu çıkarımı yapılmıştır. Yapılan her bina temeli tasarımında belirlenen zemin sınıfına göre ayrı ayrı çıkarılan don derinlikleri, tasarımcılara hem ekonomik açıdan hem de yapı güvenliği açısından kolaylık sağlanması amaçlanarak belirlenmiştir.

Kaynaklar

1. Sharratt, B.S., J.K. Radke, L.D. Hinzman, I.K. Iskandar, and P.H. Groenevelt. 1997. Physics, chemistry, and ecology of frozen soils in managed ecosystems: An introduction. p. 1–7. In I.K. Iskandar et al. (ed.) Int. Symp. Physics, Chemistry, and Ecology of Seasonally Frozen Soils.U.S. Army Cold Regions Res. Eng. Lab. Spec. Rep. 97–10.
2. Sharratt, Brenton S. and McCool, Donald K., "Frost Depth" (2005). Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. 1405. http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1405
3. Taber, S., "The Mechanics of Frost Heaving", The Journal of Geology, Volume. 2, pp. 303-317, 1930.
4. Sağlık, A., & Güngör, A. G. (2008). Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. *KGM, ANKARA, TÜRKİYE*.
5. Liu, Z., X. Yu, Y. Sun, and B. Zhang, "Formulation and Characterization of Freezing Saturated Soils". Journal of Cold Regions Engineering, Volume 27(2), pp. 94-107, 2012.

6. Baladi, G., & Rajaei, P. (2015). Predictive modeling of freezing and thawing of frost-susceptible soils (No. RC-1619). Michigan. Dept. of Transportation. Office of Research Administration.
7. Khalili, A., Rahimi, H., & Agha Shariatmadari, Z. (2007). Validation of air freezing index (AFI), for determination of frost penetration depth in typical arid and semi-arid zones of Iran. Desert, 12(1), 23-31.
8. Chisholm, R. A., and W. A. Phang. "Measurement and Prediction of Frost Penetration in Highway", Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No 918, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., pp. 1-10,1983.
9. McKeown, S., Clark, J. I., & Matheson, D. (1988). Frost penetration and thermal regime in dry gravel. Journal of cold regions engineering, 2(3), 111-123
10. Aldrich Jr, P. Harl, and H. M. Paynter. "Analytical Studies of Freezing and Thawing ofSoils", Technical Report No. 42, Arctic Construction and Frost Effects Laboratory, NewEngland Division U.S. Army Corps of Engineers, Boston, MA, U.S. Arctic Constructionand Frost Effects Lab Boston Ma, 1953
11. Bianchini, A., & Gonzalez, C. R. (2012). Pavement-transportation computer assisted structural engineering (PCASE) implementation of the modified Berggren (ModBerg) equation for computing the frost penetration depth within pavement structures(No. ERDC/GSL-TR-12-15). Engineer Research And Development Center Vicksburg Ms Geotechnical And Structures Lab.
12. Orakoglu, M. E., Liu, J., & Tutumluer, E. (2016). Frost depth prediction for seasonal freezing area in Eastern Turkey. Cold Regions Science and Technology, 124, 118-126.
13. Stefan, J. 1890. Uber die Theorie der Eisbildung, Insbesondere uber die Eisbildung im Polarmeere. Sitzungsber Akad. Wiss. Wien Math Naturwiss. Kl. Abt. 1, 98(Iia) 965–983.
14. Jumikis, A. R. (1977). Thermal Geotechnics, Rutgers Uni. Press, New Brunswick, 277, 303.
15. Haas, W. M., & Winters, L. H. (1984). Freezing Degree-days and Frost Penetration under Roads. In proceedings. In 3rd International Specialty Conference on Cold Regions Engineering, Edmonton, Alberta (pp. 1151-1165).
16. Agnieszka, G., 2003. Comparison of Calculated and Observed Depth of Frost Penetration in West Poland. Faculty of Civil and Environmental Engineering, Instute of Structural Engin. ASCE, New York, NY.
17. Steuer P. M., 1996. Probability Distribution Used in 100 years Return Period of Air Freezing Index. Jour. Cold Reg. Eng. Vol. 10, no.1, Pages 25-35.
18. Fox, J. D. (1992). Incorporating freeze-thaw calculations into a water balance model. *Water Resources Research*, *28*(9), 2229-2244.
19. Callendar, H.L., and C.H. McCleod. 1896. Observations of soil temperatures with electrical resistance thermometers. Trans. Royal Soc. Canada. Second series. Vol. 2. Sec. 3:109–126.
20. Flerchinger, G.N., 2013. Heat and water relations during freezing and thawing, freeze–thaw impacts on infiltration, freeze–thaw impacts on aggregate stability and factors affecting the impact. Reference Module in Earth Systems and EnvironmentalSciences. Elsevier (North Holland Publishing Co., Amsterdam)
21. Thomas, H. P. and Trat, R. G. 1984. TwoDimensional Simulations of Freezing andThawing in soils. In Proceedings of the 13 International Specialty Conference of ColdRegions Engineering, Edmonton, Alberta,PP. 265-274.
22. McCormick, G. 1993. Frost Penetrationbeneath Cleared Pavements. In: "Frost inGeotechnical Engineering". ISBN:9054103191, Balkema, Rotterdam, PP. 117-126.
23. Degaethano, A. T., Cameron, D. C., 2001. Physical Simulation of Maximum Seasonal Soil Freezing Depth in the United States Using Routine Weather Observation. Jour. App. Meteorology.Vol.40, pages 546-556.
24. Argue, G. H.; and Denyes, B. B. (1974) "Estimating the Depth of Pavement Frost and Thaw Penetrations", Transportation Research Record, Volume 497, p 18- 30.
25. Huen, K.; Tighe, S.; Mills, B.; and Perchanok, M. (2006) "Development of Tolls for Improved Spring Load Restriction Policies in Ontario", The Annual conference of the Transportation Association of Canada (TAC), Charlottetown, Prince Edward Island.
26. Tighe, S. L., B. Mills, C.T. Haas., and S. Baiz, "Using Road Weather Information Systems (RWIS) to Control Load Restrictions on Gravel and Surface-Treated Highways", Ministry of Transportation Engineering Standards Branch Report, 2007.
27. Jiji, L. M. "Heat Conduction", Berlin: Springer, 2009

28. Berg, R. L. "Calculating Maximum Frost Depths At Mn/Road: Winters 1993-94, 1994-95 And 1995-96", No. MN/RC-97/21, 1997.
29. Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (TBDY), (2018), Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.
30. Sensoy, S., Demircan, M., Ulupinar, Y., Balta, I., 2008. Climate of Turkey. Turkish State Meteorological Service, 401, Ankara, Turkey http://www.mgm.gov.tr/files/en-usclimateofturkey.pdf Jan. 20, 2014
31. Karaman, E. (2008). Sert kayaçlarda delinebilirlik tayini (Doctoral dissertation, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
32. Hamdhan, I. N., & Clarke, B. G. (2010, April). Determination of thermal conductivity of coarse and fine sand soils. In Proceedings of World Geothermal Congress (pp. 1-7).
33. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma Dairesi Başkanlığı, (2019). *1950-2017 İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri*, Ankara. www.mgm.gov.tr, www.mgm.gov.tr
34. Nixon, J. F., and E.C McRoberts. A Study of Some Factors Affecting the Thawing of Frozen 7 Soils. Canadian Geotechnical Journal, Vol.10.3, 1973, pp. 439-452
35. Arctic and Subarctic Construction Calculation Methods for Determination of Depths of Freeze and Thaw in Soils. Technical Manual: TM5-852-6/AFM , Army, U. S., and US Air Force., 1966.

GÜÇLENDİRME UYGULAMASI YAPILAN BİR BİNANIN GÜÇLENDİRME ÖNCESİ VE SONRASINDA ORTAM TİTREŞİM ÖLÇÜMLERİ İLE BAZI DİNAMİK PARAMETRELERİNİNHESAPLANMASI

C.V. ÇAĞLAR[1], S.KAÇIN[2]
[1]Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey
[2]Dr., Department of Civil Engineering, Iskenderun Technical University, Turkey

Emails: ccaglar.mfbe18@iste.edu.tr, selcuk.kacin@iste.edu.tr

Özet

Bu çalışmada İskenderun ilçe sınırları içerisinde, depreme dayanıklılık konusunda detaylı incelemeye tabii tutularak, güçlendirme kararı verilen bir okul binasının güçlendirme öncesinde ve güçlendirme sonrasında titreşim deneyleri yapılarak bazı dinamik karakteristik özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.Güçlendirme çalışmaları başlamadan önce okulun mevcut durumunun tespiti amacıyla ortam titreşimleri (ambient vibration) etkisi altında yapının tepki değerleri kayıt altına alınmıştır güçlendirmeden sonra aynı deneyler tekrar edilmiştir. Yapı için ortam titreşim kayıtları incelenmiştir. Güçlendirme öncesinde ve güçlendirme sonrasında elde edilen kayıtların analizi ile yapının periyot ve sönüm değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılarda güçlendirme çalışmaları sonucunda dinamik karakteristik özellikleri nasıl değiştiği belirlenmiştir. Bina aynı zamanda ETABS yapı analiz programı ile de modellenerek titreşim kayıtlarından elde edilen değerler ile program sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ortam Titreşimi, Doğal Frekans, Mod Şekli, Sönümleme Oranı

Abstract

In this study, it is aimed to compare some dynamic characteristic features of a school building, which has been decided to be strengthened, before and after strengthening by vibration tests. In order to determine the current state of the school, the reaction values of the structure were recorded under the effect of ambient vibrations before the reinforcement studies started and the same experiments were repeated after reinforcement. Environmental vibration records for the structure were investigated. Analysis of the records obtained before and after reinforcement and the period and damping values of the structure were compared. It has been determined how dynamic characteristics change as a result of strengthening studies. The building was also modeled by ETABS building analysis program and the results of the vibration recordings were compared with the program results.

Keywords: Ambient Vibration, Natural Frequency, Mode Shape, Damping ratio

1. Giriş

Yapılar dinamik yükler etkisinde birçok farklı karakteristik özellik gösterir. Dinamik yükler etkisindeki belirsizliklerin yanı sıra dinamik davranışa etkiyen parametrelerdeki belirsizlikler, yapıdinamikdavranışınıngerçekçiolarakbelirlenmesinizorlaştırmaktadır.

Dinamik parametreler olarak adlandırılan doğal frekans, mod şekli ve sönüm oranının mevcut yapının özelliklerini yansıtacak şekilde deneysel yöntemler ile belirlenmesi, yapı dinamik davranışının daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Yapı dinamik karakteristikleri, oluşturulan analitik modellerin doğruluğunun kontrolü ve yapıya etkiyecek deprem kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Yapının önem arz eden birinci periyot değerine bağlı olarak basitleştirilmiş yaklaşımlarla beraber dinamik analizler de yapılmaktadır. Ayrıca yapının modal davranışından yola çıkılarakrijitlik dağılımı ve burulma düzensizliği olup olmadığı hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı dinamik karakteristiklerin yapıya etkisini titreşim testleri yapılarak gerçekçi olarak belirlemek oldukça önemlidir [1]

Geçmişten günümüze gelişen teknoloji ile beraber titreşimlerin belirlenmesine dayalı modal analiz yöntemi, yapının dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir. Tepki sinyallerini içinde barındıran fonksiyonlar yapı dinamik parametrelerini içermektedir.Bu yöntem yapı dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi gibi birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır [2].

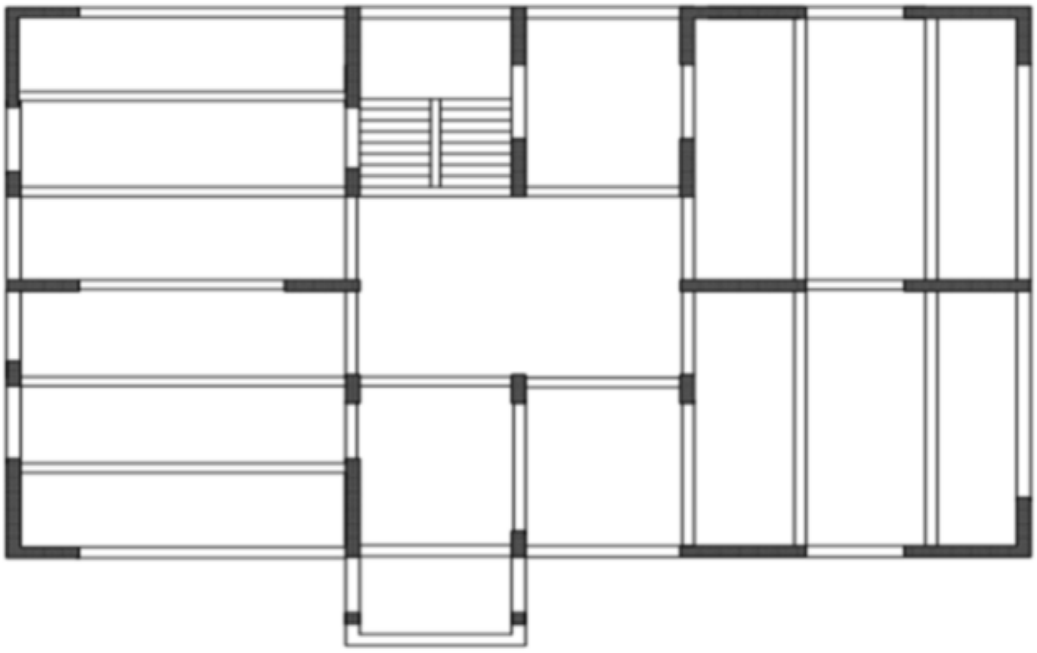
Bu çalışmada,mevcut bir okulun güçlendirme yöntemiyle depreme dayanıklı hale getirilmesi amaçlanmış ve yapıya perdeler eklenmiştir. Bu yapının dinamik parametrelerinin belirlenebilmesi için güçlendirme işlemi öncesinde ve güçlendirme işlemi sonrasında ortam titreşim" kayıtları alınmıştır. Ölçümler Ticaret ve Sanayi Odası İlköğretim okulunda gerçekleştirilmiştir. Yapı ETABS analiz programında tasarlanarakmod şekilleri ve doğal frekanslar elde edilmiştir. Yapıdan ölçülen değerler ile analizle elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. Yapının dinamik parametrelerinde meydana gelen farklılıklar belirlenmiştir Yapının ortam titreşimleri altında gösterdiği tepkiler ölçülmüştür. Bu tepkilerin ölçülüp istenilen veri formatına dönüştürülmesi işlemi için MATLAB programından yararlanılmıştır.

2. İncelenen Bina

Yapılan çalışmada Hatay İli İskenderun ilçesinde yer alan Ticaret ve Sanayi Odası İlkokul binasında ölçümler yapılmış ve binanın mod şekilleri, sönüm oranları ve doğal frekansları elde edilmiştir. Binanın inşası 1968 Türkiye Deprem Yönetmeliği sonrası, 1973 yıllında gerçekleştirilmiş ve betonarme taşıyıcı sistemden oluşmaktadır.Bina her kat 3.05 m yüksekliğinde ve 3 kattan oluşmaktadır. Şekil 1'de Ticaret ve Sanayi Odası İlkokulu binası gösterilmektedir.

Şekil 1. Ticaret ve Sanayi Odası İlkokulu binasının görünüşü

Yapının taşıyıcı elemanlarında meydana gelen hasarlar ve yapıda meydana gelen çatlaklar üzerine öncelikle durum tespiti için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen çalışmalar sonucunda binada güçlendirilme çalışmaları yapılmasına karar verilmiştir. Güçlendirme kararı verilen yapının planı Şekil 2.'de verilmiştir.



Şekil 2. Ticaret ve Sanayi Odası İlkokulu binasının kat planı

Yapının güçlendirme çalışmaları için yapıya dışardan dört adet perde eklenmesi işlemiyle güçlendirme uygulaması yapılmıştır. Binaya perde ilavesi işlemi bina kullanıma kapalı vaziyetteyken gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3. Ticaret ve Sanayi Odası İlkokulu binasına perde ilavesi öncesi ve sonrası

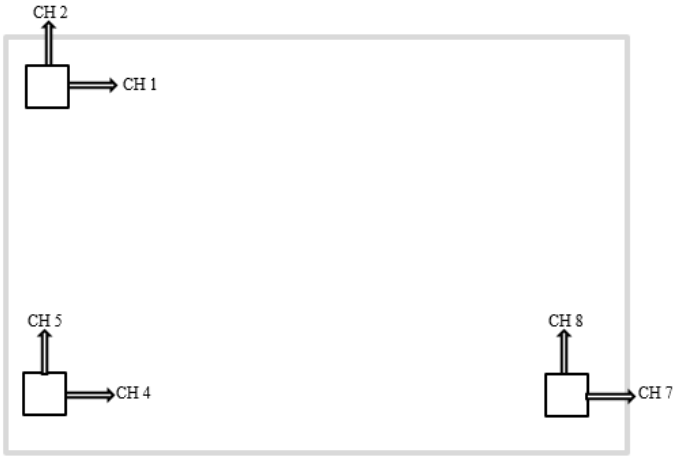
Ortam titreşimleri etkisi altında bina üzerinde meydana gelen tepkiler ölçülmüştür. Ölçümlerde İskenderun Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuvarında bulunan Testbox 2010 cihazları kullanılmıştır.

Yapılan ölçümlerde sadece tepkilerin oluşturduğu titreşimlere bağlı Modal Analiz çalışması amaçlanır. Bu ölçümler esnasında binanın kendi operasyonel sistematiği içinde kalınırken bina üzerinde ekstra yük oluşturmaya gerek duyulmaz [3].

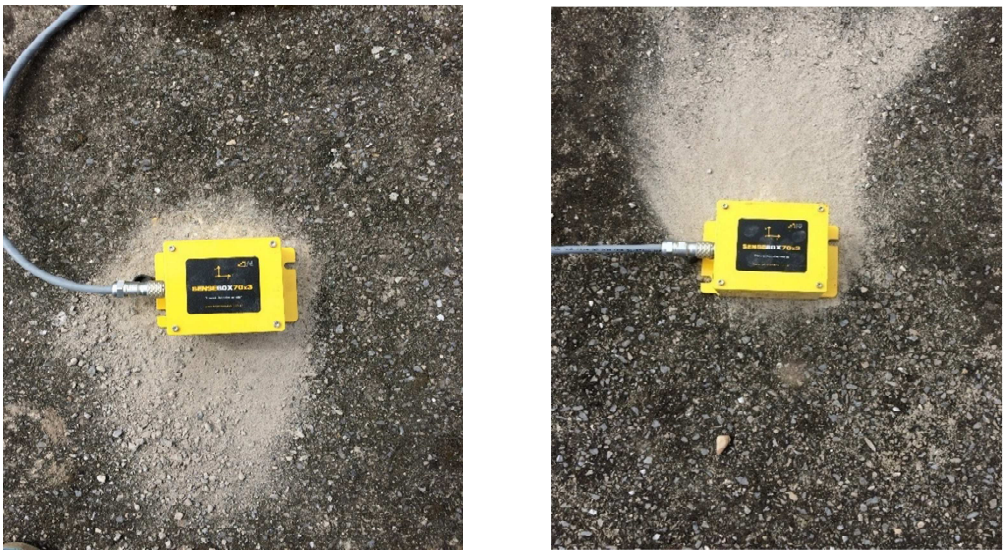
Ölçümler esnasında binada oluşan titreşimleri ölçmek amacıyla üç eksenli sensörler kullanılmıştır. Kullanılan sensörler binanın çatısına köşe noktalarda yer alacak şekilde yerleştirilmiştir. Sensörlerin yerleşimleri ve bağlantıları tamamlandıktan sonra kayıt alma işlemine başlanmıştır. Ölçümler sırasında elde edilen titreşim sinyallerini taşınabilir bilgisayara aktarmak için kayıt üniteleri kullanılmıştır.

Ticaret ve Sanayi Odası İlkokul binasında ortam titreşimlerinin meydana getirdiği tepkileri ölçmek için sensörler (hızölçer) kullanılmıştır. Ölçümler sırasında sensörlerden üç boyutlu olacak şekilde saniyede 100 kayıt alınmıştır. Bina üzerindeki ölçümler toplamda üç noktadan geçekleştirilmiştir. Şekil 4'de sensörlerin yerleştirilme düzeni görülmektedir.

Sensörler öncelikle kayıt alınan kat döşemesi yüzeylerine yerleştirilmiş ve kayıt ünitesine kablolar yardımıyla bağlanmıştır. Kayıt ünitesini de ağ kontrol merkezine (NCC) bir dönüştürücü ile bağlanmıştır.

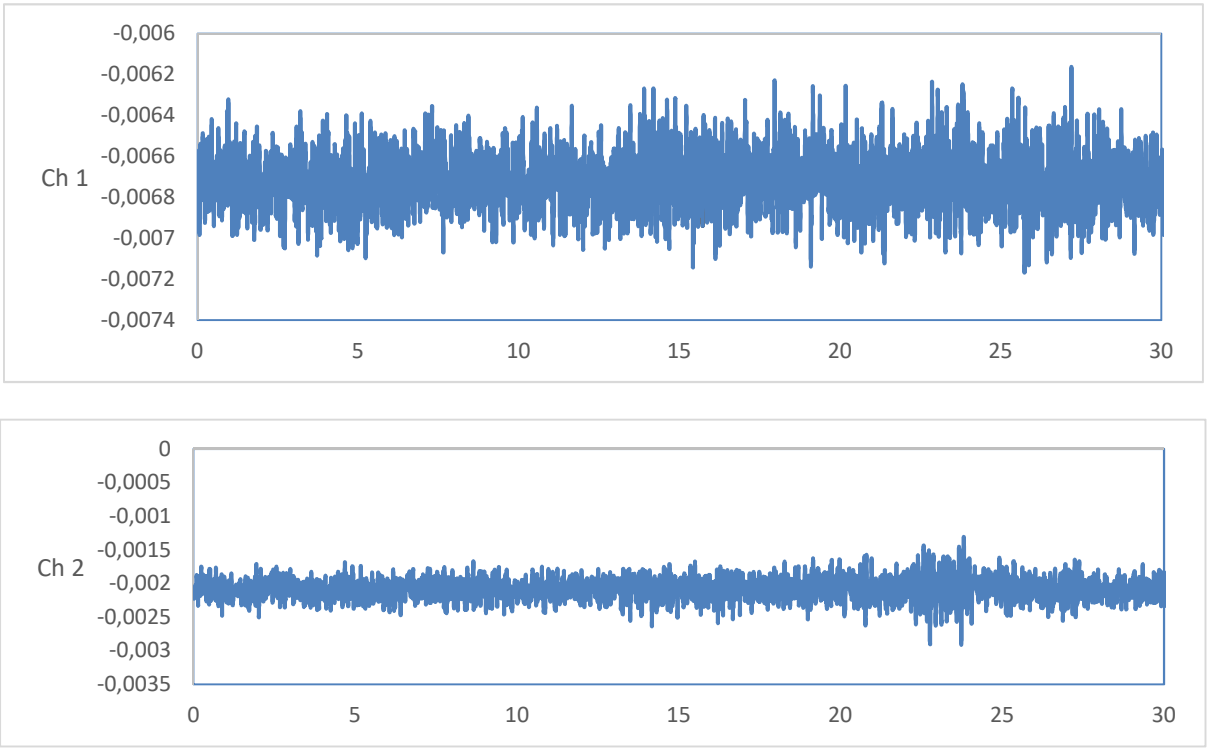


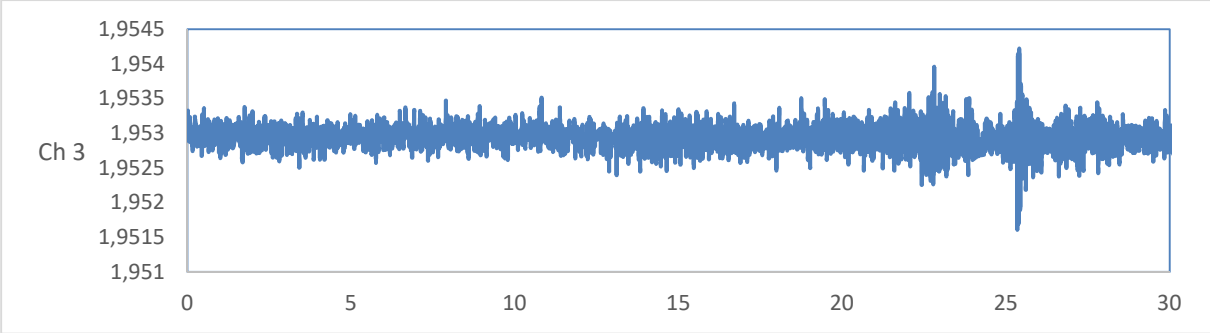
Şekil 4. Ticaret ve Sanayi Odası İlkokulu binasında sensörlerin yerleşim düzeni



Şekil 5. Ticaret ve Sanayi Odası İlkokulu binasında ölçümler için kullanılan sensörler

Ortam titreşimleri etkisi altında binanın tepkileri altmış dakika boyunca kayıt altına alınmıştır. Ölçümler sırasında zaman aralığı 0.01 s olarak ayarlanmıştır. Bu kayıtların analizi için MATLAB kullanılmıştır. Bir kayıt örneği Şekil 6.'te sunulmuştur.





Şekil 6. Titreşim kaydı örneği (x,y,z koordinatlarında)

Bina periyodunun dinamik karakteristik parametrelerinin en önemlisi olan periyod değerinin bulunması için elde edilen kaydın Fouirer dönüşümü incelenmiştir. Bu grafikte genlik değerine karşılık gelen frekans değeri yapının modal frekans değerini yansıtmaktadır [4].
Paket program olarak Matlab programı kullanılmıştır. Titreşim kayıtlarında daha büyük değerlerde olan yapının en üst kat döşemesine yerleştirilen sensörlerin aldığı kayıtlar kullanılmış ve yapı frekanslarının bu kayıtlarla belirlenmesi amaçlanmıştır.

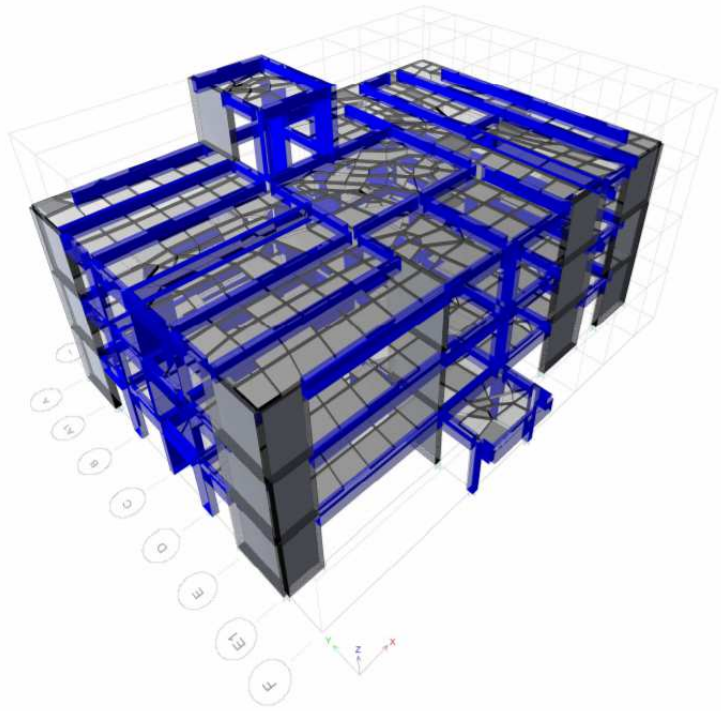
Yerleştirilen üç sensörden paket program kullanılarak elde edilen yapının x ve y frekans değerleri Tablo1'de görülmektedir.

Tablo 1. Güçlendirme öncesi MATLAB programı ile elde edilen doğal titreşim frekans değerleri

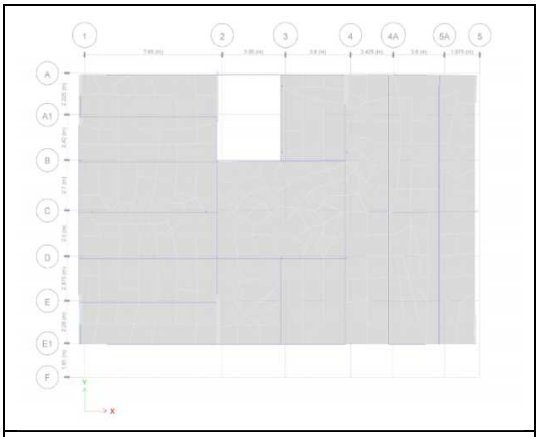
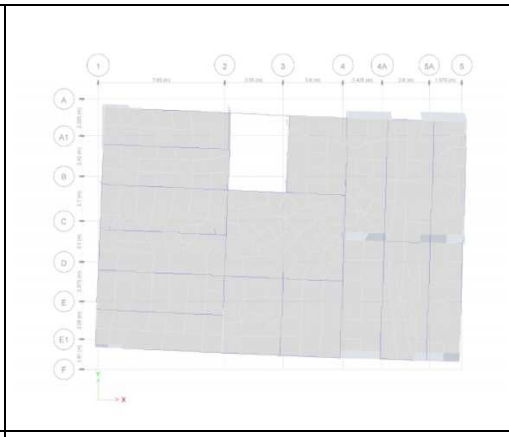
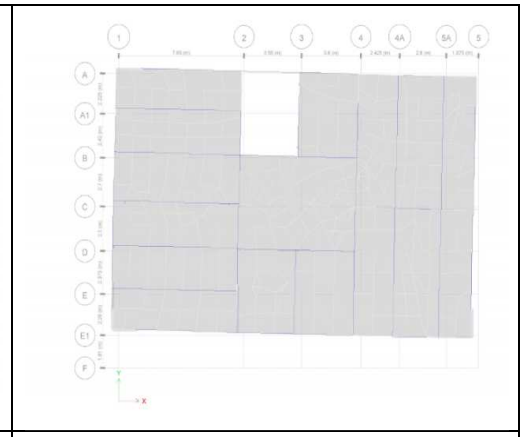
Sensör Numarası	FrekansDeğeri (Hz)
Sensör 1	6.4095
Sensör 2	6.3878
Sensör 3	6.4000

İncelenen titreşim kayıtlarından yola çıkılarak yapının sönüm oranı da belirlenebilir. Bu niyetle genlik değerinin belirli oranının ($\sqrt{2}$ oranında) altında yer alan eksende tespit edilmiş olan frekans değerleri kullanılmaktadır [5]. $\zeta = \frac{f2-f1}{2f0}$

Elde edilen deneysel verileri karşılaştırmak amacıyla bina ETABS Programı ile modellenmiştir. Binanın modelleme çalışmalarıyla elde edilen değerleri, ölçümler sonrasında elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Binanın ETABS Modeli

		
X Yönü: 0.116 s	**Y yönü: 0.14 s**	**Burulma: 0.094 s**

Şekil 8. Binanın 1., 2. ve 3. Mod Şekli

Modellenen binanın ilk iki modu sırasıyla boyuna doğrultuda ötelemeyi ve enine doğrultuda ötelemeyi ifade ederken, üçüncü modun ise burulma modunu ifade ettiği görülmektedir.

Tablo 2'de güçlendirme öncesinde ETABS programından elde edilen yapı frekans değerleri ve Tablo 3'te ise binanın titreşim kayıtlarından elde edilen frekans değerleri ile bina modellendikten sonra hesaplanan frekans değerlerinin karşılaştırılması sunulmuştur.

Tablo 2. Güçlendirme öncesi ETABS programı ile elde edilen yapı frekans değerleri

Bulunan Mod	Periyot
1	0.140
2	0.116
3	0.094
4	0.082
5	0.049

Tablo 3. MATLAB ve ETABS program sonuçlarının karşılaştırılması

	1.Mod FrekansDeğeri (Hz)	2.Mod FrekansDeğeri (Hz)	3.Mod FrekansDeğeri (Hz)
Tittreşimkayıtları	0.156	0.1412	0.111
ETABS	0.140	0.116	0.094

Deneyler yapının güçlendirme uygulaması sonrasında tekrar edilmiştir. Güçlendirme sonrasında deneyler tekrar edilirken sensörler güçlendirme öncesi deneylerin yapıldığı noktalara yerleştirilmiştir. Tablo 4'te güçlendirme sonrası titreşim kayıtlarından alınan doğal frekans değerleri ve Tablo 5'te ise güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrası titreşim kayıtlarından elde doğal frekans değerleri karşılaştırılması sunulmaktadır.

Tablo 4. Güçlendirme sonrası MATLAB programı ile elde edilen doğal titreşim frekans değerleri

Sensör Numarası	FrekansDeğeri (Hz)
Sensör 1	6.9027
Sensör 2	6.9076
Sensör 3	6.9521

Tablo 5. Güçlendirme öncesi ve sonrası MATLAB elde edilen doğal titreşim frekans değerleri

Sensor Numarası	GüçlendirmeÖncesiFrekansDeğeri (Hz)	GüçlendirmeSonrasıFrekansDeğeri (Hz)
Sensör 1	6.4095	6.9027
Sensör 2	6.3878	6.9076
Sensör 3	6.4000	6.9521

Tablodan da görüldüğü gibi yapının doğal titreşim frekans değerlerinde belirgin bir değişiklik söz konusudur. Yapı frekansının %8 değiştiği görülmektedir.Ancak Tablo 6'da görüldüğü gibi yapının sönüm oranında % 2 oranında değişiklik gözlenmektedir.

Tablo 6. Güçlendirme öncesi ve sonrası MATLAB elde edilen modal sönüm oranları

Sensor Numarası	GüçlendirmeÖncesiSönümOranı (%)	GüçlendirmeSonrasıSönümOranı (%)
Sensör 1	2.6018	2.6715
Sensör 2	2.0299	2.7070
Sensör 3	2.2410	2.4425

3. Sonuçlar

Yapılan çalışma kapsamında, Hatay İli İskenderun ilçesinde yer alan Ticaret ve Sanayi Odası İlkokul binasında ortam titreşimleri altında ölçümler yapılmış ve bazı dinamik parametreler hesaplanmaya çalışılmıştır. Yapıya güçlendirme öncesinde ve sonrasında aynı testler uygulanmıştır. Yapının ETABS paket programı ile modellemesi yapılarak doğal frekanslar ve mod şekilleri elde edilmiştir. Ölçülen değerler ile elde edilen değerlerin karşılaştırması yapılmıştır. Yapının güçlendirme öncesine göre periyodu %8 değişmiştir. Buna karşın sönüm oranında pek fazla bir değişiklik gözlenmemiştir.

Kaynaklar

1. Kaçın, S.,Bikçe, M., Geneş, M.C., Doğanay, Ela., & Ünlüsoy, Ü. (2011). Güçlendirme uygulaması yapılan bir binanın güçlendirme öncesi ve sonrasında titreşim ölçümleri ile bazı dinamik parametrelerinin hesaplanması. Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
2. Çelik, O.C. (2002). Forcedvibrationtesting of existingreinforcedconcretebuildings. A ThesisSubmittedToTheGraduate School Of Natural AndAppliedSciences Of TheMiddle East Technical University JUNE 2002.
3. Dinçer, S., Aydın, E., & Gencer, H. (2015). Binalarda yapısal sağlık takibi için enstrümantasyon yöntemleri. Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı (ss. 747-790). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
4. Şafak, E. (2007). Yapı Titreşimlerinin İzlenmesi: Nedir, Neden Yapılır, Nasıl Yapılır, ve Ne Elde Edilir? Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı (ss. 285-293). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
5. Chopra, A. K. (2012). Dynamics of StructuresTheoryAnd Applications ToEarthquakeEngineering (4th ed.).

6. Ivanovic S.S.,Trifunac M.D., &Todorovska M.I. (2000). Ambientvibrationtests of structures. ISET JournalofEarthquakeTechnology(pp. 165-197).
7. TS-500 (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
8. TS-10465 (1992),Beton Deney Metotları - Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune AlınmasıveBasınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Metot), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
9. ETABS: Structural Analysis Program, ComputersandStructuresInc., Berkeley.

Buckling Analysis of Symmetric Laminated Composite Plates

Ali Dogan[1]

[1]*Department of Civil Eng., Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, Turkey*

Email:, ali.dogan @iste.edu.tr,

Abstract

This paper investigates the buckling analysis of symmetrically thick composite plates. Using the Hamilton's principle, the governing equation for thick composite plates is derived. Considering the Navier solution technique, closed form solutions are attained and buckling loads are found by solving the eigenvalue problems. Results of the numerical studies for the buckling of laminated composite plates (LCP) are demonstrated and benchmarked with former studies in the literature and ANSYS.

Keywords*:* Buckling analysis, laminated composite plate, shear deformation theory.

1. Introduction

Recently, due to the many paramount properties advanced composite materials such as laminated plates are found an application area in the engineering projects. Tremendous researches have been performed on the LCP to clarify the advantages of using these types of materials. One of the focused topics in research subject is the buckling analysis of the composite plates.

Reissner theory (1945) is one of the theories which include the shear deformation effect and many researchers have studied on the buckling analysis of LCP by using Reissner theory. Noor (1975) examined the stability and vibration analysis of the composite plates. Qatu used energy function to develop governing equations of LCP. Phan and Reddy (1985) are analysed of laminated composite plates using a higher-order shear deformation theory. Reddy and Khdeir (1989) investigated buckling and vibration analysis of LCP. Many studies have been performed on characteristics of plates by Qatu (2004). By applying different plate theories. Dogan et al. (2010) have analyzed the effects of anisotropy and curvature on vibration characteristics of laminated shallow shells using shear deformation theory. Dogan (2012) investigated the effect of dimension on mode-shapes of composite shells. Akavci (2007) presented buckling and free vibration analysis of symmetric and antisymmetric laminated composite plates on an elastic foundation. Akavci et al. (2007) examined buckling and free vibration behavior of LCP on elastic foundation by using first order shear deformation theory (FSDT). Functionally graded plates thermal buckling analysis have been investigated by Akavci (2014) using the theory of hyperbolic shear deformation. Sophy (2013) was studied buckling and free vibration of exponentially graded sandwich plates resting on elastic foundations under various boundary conditions.

In this research, buckling analysis of symmetric LCP are investigated using various of number of layers, plate edge ratio and anisotropy ratio. This study might be a pioneer work in terms of laminated composite plates and experimental studies.

2. Equations

A lamina is produced with the isotropic homogenous fibers and matrix materials (Fig. 1). Any point on a fiber, and/or on matrix and/or on matrix-fiber interface has crucial effect on the stiffness of the lamina. Due to the big variation on the properties of lamina from point to point, macro-mechanical properties of lamina are determined based on the statistical approach.

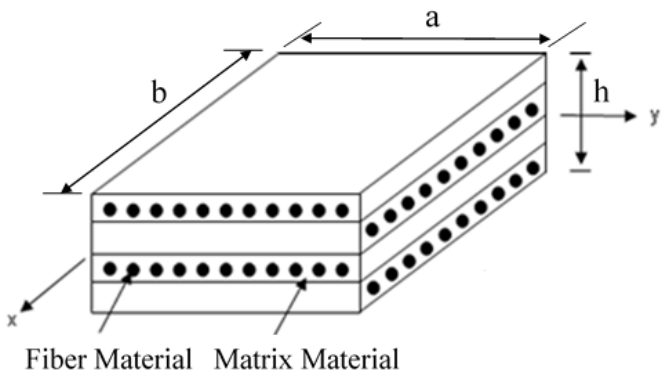


Figure. 1. Fiber and matrix materials in laminated composite plate

According to FSDT, the transverse normal does not cease perpendicular to the mid-surface after deformation. It will be assumed that the deformation of the plates is completely determined by the displacement of its middle surface. Using the given equation below (Eq.1) nth layer lamina plate stress-strain relationship can be defined in lamina coordinates (Qatu 2004).

$$\begin{bmatrix}\sigma_x\\ \sigma_y\\ \sigma_z\\ \tau_{yz}\\ \tau_{xz}\\ \tau_{xy}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\overline{Q}_{11} & \overline{Q}_{12} & \overline{Q}_{13} & 0 & 0 & \overline{Q}_{16}\\ \overline{Q}_{12} & \overline{Q}_{22} & \overline{Q}_{23} & 0 & 0 & \overline{Q}_{26}\\ \overline{Q}_{16} & \overline{Q}_{26} & \overline{Q}_{33} & 0 & 0 & \overline{Q}_{36}\\ 0 & 0 & 0 & \overline{Q}_{44} & \overline{Q}_{45} & 0\\ 0 & 0 & 0 & \overline{Q}_{45} & \overline{Q}_{55} & 0\\ \overline{Q}_{16} & \overline{Q}_{26} & \overline{Q}_{36} & 0 & 0 & \overline{Q}_{66}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\varepsilon_x\\ \varepsilon_y\\ \varepsilon_z\\ \gamma_{yz}\\ \gamma_{xz}\\ \gamma_{xy}\end{bmatrix} \quad (1)$$

The displacement based on plate theory can be written as

$$\begin{aligned} u(x,y,z,t) &= u_0(x,y,t) + z\,\varphi_x(x,y,t)\\ v(x,y,z,t) &= v_0(x,y,t) + z\,\varphi_y(x,y,t)\\ w(x,y,z,t) &= w_0(x,y,t)\end{aligned} \quad (2)$$

where u, v, w, φ_x and φ_y are displacements and rotations in x, y, z direction, orderly. u_o, v_o and w_o are mid-plane displacements.

Equation of motion for plate structures can be derived by Hamilton's principle

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} (T + W - U\,dt = 0 \tag{3}$$

where T is the kinetic energy of the structure

$$T = \frac{\rho}{2} \int \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \right\} dxdydz \tag{4}$$

W is the work of the external forces

$$W = \int_x \int_y (q_x u + q_y v + q_z w + m_x \psi_x + m_y \psi_y) dxdy \tag{5}$$

in which q_x, q_y, q_z, m_x, m_y are the external forces and moments per unit length, respectively. U is the strain energy and defined as,

$$U = \frac{1}{2} \int \left(\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \sigma_z \varepsilon_z + \tau_{xy} \gamma_{xy} + \tau_{xz} \gamma_{xz} + \tau_{yz} \gamma_{yz} \right) dxdydz \tag{6}$$

Solving equation 3 gives set of equations called equations of motion for plate structures. This gives equation 7 in simplified form as,

$$\frac{\partial}{\partial x} N_x + \frac{\partial}{\partial y} N_{yx} + q_x = I_1 \ddot{u}^2 + I_2 \ddot{\psi}_x^2$$

$$\frac{\partial}{\partial y} N_y + \frac{\partial}{\partial x} N_{xy} + q_y = I_1 \ddot{v}^2 + I_2 \ddot{\psi}_y^2$$

$$\frac{\partial}{\partial x} Q_x + \frac{\partial}{\partial y} Q_y + q_z + k_0 w + k_1 \Delta^2 w = I_1 \ddot{w}^2 \tag{7}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} M_x + \frac{\partial}{\partial y} M_{yx} - Q_x + m_x = I_2 \ddot{u}^2 + I_3 \ddot{\psi}_x^2$$

$$\frac{\partial}{\partial y} M_y + \frac{\partial}{\partial x} M_{xy} - Q_y + m_y = I_2 \ddot{v}^2 + I_3 \ddot{\psi}_y^2$$

Equation 7 is defined as equation of motion for thick plates. Where I_1, I_2 and I_3 are mass moment inertia. Based on the FSDT plate, moment resultants are M_x, M_y and M_{xy}, in plane force resultants are N_x, N_y, N_{xy} and transverse shearing force resultants are Q_x and Q_y. The force and moment resultants are defined as

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} & B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} & B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} & B_{16} & B_{26} & B_{66} \\ B_{11} & B_{12} & B_{16} & D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} & D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} & D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{0x} \\ \varepsilon_{0y} \\ \gamma_{0xy} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \tau \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$\begin{bmatrix} Q_x \\ Q_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{55} & A_{45} \\ A_{45} & A_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{0xz} \\ \gamma_{0yz} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \{A_{ij}, B_{ij}, D_{ij}\} &= \int_{-h/2}^{h/2} \{1, z, z^2\} \overline{Q}_{ij} dz \qquad i, j = 1,2,6 \\ \{A_{ij}\} &= K_S \int_{-h/2}^{h/2} \overline{Q}_{ij} dz \qquad i, j = 4,5 \\ [I_1, I_2, I_3] &= \int_{-h/2}^{h/2} \rho(1, z, z^2) dz \end{aligned} \tag{9}$$

Where the parameter K_s is the shear correction factor. Here, K_s is taken as 5/6.

The Navier type solution might be implemented to thick and thin plates. This type solution assumes that the displacement section of the plates can be denoted as sine and cosine trigonometric functions. A plate with shear diaphragm boundaries on all edges is assumed. For simply supported thick plates, boundary conditions can be arranged as follows:

$$\begin{aligned} N_x = w_0 = v_0 = M_x = \psi_y = 0 \qquad x = 0, a \\ N_y = w_0 = u_0 = M_y = \psi_x = 0 \qquad y = 0, b \end{aligned} \tag{10}$$

The displacement functions of the satisfied the boundary conditions are applied;

$$u_0(x,y,t) = \sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty} U_{mn} \mathrm{Cos}(x_m x)\mathrm{Sin}(y_n y)\mathrm{Sin}(\omega_{mn} t)$$

$$v_0(x,y,t) = \sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty} V_{mn} \mathrm{Sin}(x_m x)\mathrm{Cos}(y_n y)\mathrm{Sin}(\omega_{mn} t)$$

$$w_0(x,y,t)=\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}W_{mn}\mathrm{Sin}(x_m x)\mathrm{Sin}(y_n y)\mathrm{Sin}(\omega_{mn}t) \tag{11}$$

$$\psi_x(x,y,t)=\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\psi_{xmn}\mathrm{Cos}(x_m x)\mathrm{Sin}(y_n y)\mathrm{Sin}(\omega_{mn}t)$$

$$\psi_y(x,y,t)=\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\psi_{ymn}\mathrm{Sin}(x_m x)\mathrm{Cos}(y_n y)\mathrm{Sin}(\omega_{mn}t)$$

where $x_m=m\pi/a$, $y_n=n\pi/b$. and ω_{mn} is the naturel frequency.

The loads are defined as,

$$q(x,y,t)=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}Q_{mn}(t)\mathrm{Sin}(x_m x)\mathrm{Cos}(y_n y) \tag{12}$$

where

$$Q_{mn}(t)=\frac{4}{ab}\int_0^a\int_0^b q(x,y,t)\mathrm{Sin}(x_m x)\mathrm{Cos}(y_n y)\,dx\,dy \tag{13}$$

Substituting the above equations into the equation of motion in matrix form,

$$[N]=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\\0&0&\alpha^2\overline{N_x}+\beta^2\overline{N_y}&0&0\\0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0\end{bmatrix}\quad[K]=\begin{bmatrix}K_{11}&K_{12}&K_{13}&K_{14}&K_{15}\\K_{21}&K_{22}&K_{23}&K_{24}&K_{25}\\K_{31}&K_{32}&K_{33}&K_{34}&K_{35}\\K_{41}&K_{42}&K_{43}&K_{44}&K_{45}\\K_{51}&K_{52}&K_{53}&K_{54}&K_{55}\end{bmatrix}\quad[\Delta]=\begin{bmatrix}U_{mn}\\V_{mn}\\W_{mn}\\\psi_{xmn}\\\psi_{ymn}\end{bmatrix} \tag{14}$$

Equation 12 can be arranged in a closed form as follows:

$$([K_{mn}]-\omega[N])\Delta=0 \tag{15}$$

where $[K_{mn}]$, stiffness matrices, [N] is buckling load.

3. Numerical solutions and discussions

In current research, buckling analyses of symmetric LCP are investigated. Navier solution procedure for buckling analysis of LCP is obtained. The computer programs have been prepared

using Mathematica program separately for the solution of the buckling analysis of LCP. The results were compared with the semi-analytical method and the ANSYS finite element software and previous studies in the literature. The effects of the E_1/E_2, and a/b ratio are also investigated.

In numerical calculations, the material and geometrical properties are defined as: a = 1m (a/b = 1, 2; a/h = 10, ρ = 2000 kg/m^3, $E_1 = 40\times10^3$ MPa (E_1/E_2 =3, 10, 20, 30, 40), $G_{12}/E_2 = G_{13}/E_2 = 0.6$, $G_{23}/E_2 = 0.5$, $\upsilon = 0.25$. In the analysis, following parameter is studied for non-dimensional buckling load as;

$$\lambda = \overline{N_x}\frac{a^2}{E_2 h^3} \tag{16}$$

It can be seen from Tables 1 that the non-dimensional buckling load factors increase when the ratio of E_1/E_2 change from 3 to 40 (Fig. 2). The non-dimensional buckling load factors decrease when the ratio of a/b change from 1 to 2 for Table 2. Also, the non-dimensional buckling load factors obtained for present study seem to be compatible with other study. Buckling analysis results showed that when the number of layer increases, the non-dimensional buckling load factors obtained by present study increase as well.

Table 1. Unaxial non-dimensional buckling load factors of (0/90/90/0) laminate for different orthotropy ratios (a/b=1 and a/h=10)

Method	E_1/E_2				
	3	**10**	**20**	**30**	**40**
CLPT [7]	5.7538	11.4920	19.7120	27.9360	36.1600
HSDT [7]	5.1143	9.7740	15.2980	19.9570	23.3400
3D Elasticity [6]	5.2944	9.7621	15.0191	19.3040	22.8807
ANSYS (FEM)	7.2290	11.2470	16.2720	19.4090	23.8800
Akavci [3]	5.4192	10.0671	16.6358	19.3040	24.1601
Present Study	5.4550	10.0056	15.3828	19.7824	23.4746

Table 2. Unaxial non-dimensional buckling load factors of (0/90/0) rectangular plate for various values of a/b ratio (b/h= 10 and E_1/E_2=40)

a/b	Unaxial				Biaxial			
	Setodeh [11]	**Akavci [3]**	**Ansys [Fem]**	**Present Study**	**Setodeh [11]**	**Akavci [3]**	**Ansys [Fem]**	**Present Study**
1	22.234	22.115	22.514	22.334	9.942	9.953	9.955	10.208
2	16.424	16.308	18.122	16.450	3.269	3.261	3.328	3.290

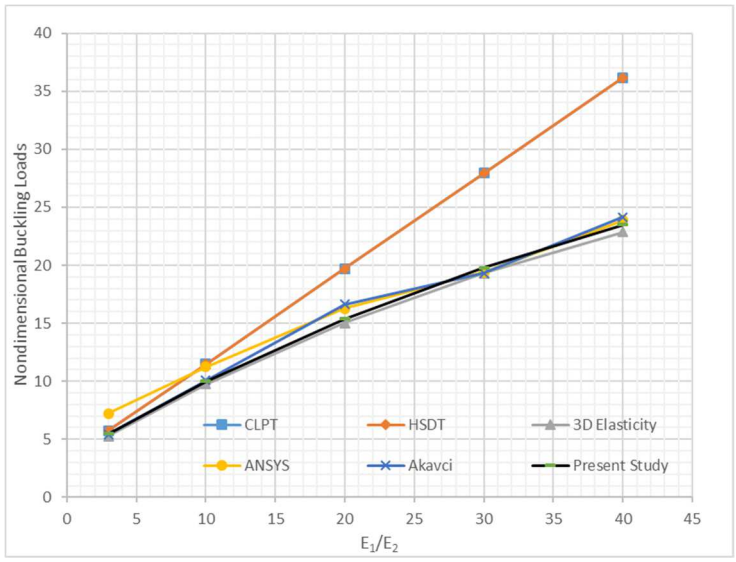


Figure 2. Effect of orthotropy ratio on the uniaxal buckling load factor of a square symmetrically [0/90/90/0] laminated plate.

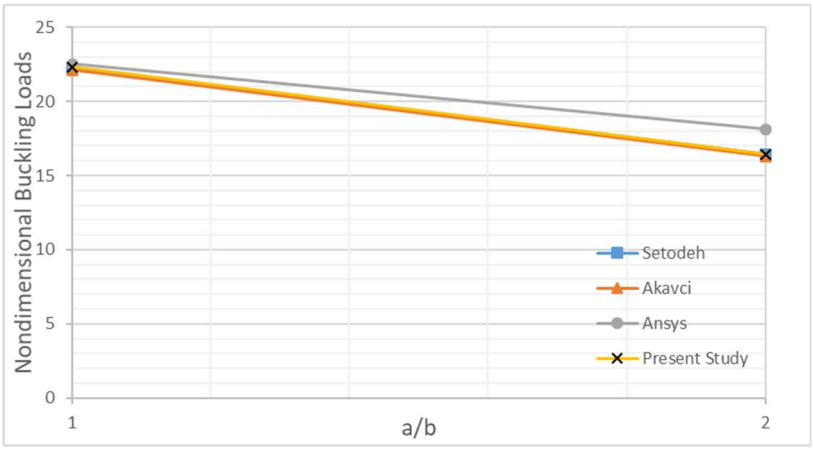


Figure 3. Effect of edge ratio on the uniaxal buckling load factor of [0/90/0] laminated plate.

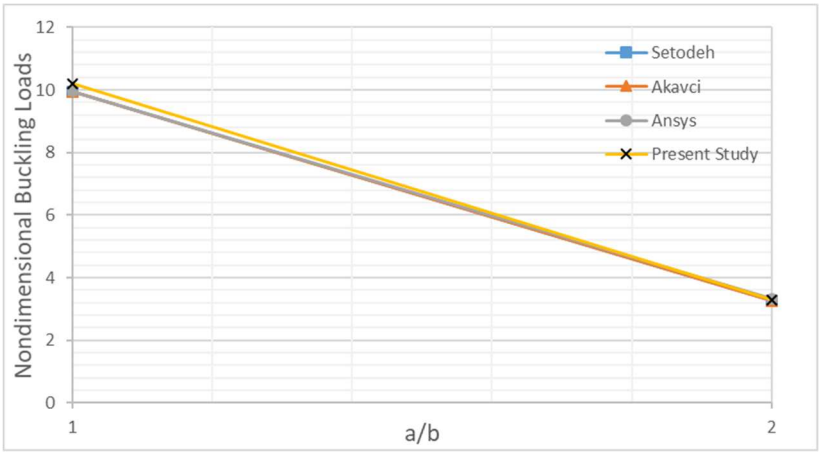


Figure 4. Effect of edge ratio on the biaxal buckling load factor of [0/90/0] laminated plate.

4. Conclusions

In this study, buckling analysis of symmetrically LCP resting is theoretically investigated. By applying Hamilton's principle, the governing equation for thick LCP is obtained. The solutions are gathered by using Navier solution method. The effects of a/b, E_1/E_2 ratios on buckling loads are examined. The most important observations and results are summarized as follows:

- The non-dimensional buckling load factors obtained for present study seem to be compatible with other study.
- The a/b, E_1/E_2 ratios, are playing a crucial role on buckling loads.
- The non-dimensional buckling load factors decrease when the ratio of a/b change from 1 to 2.
- The non-dimensional buckling load factors increase when the ratio of E_1/E_2 change from 3 to 40.
- The number of layer increases, the non-dimensional buckling load factors obtained by present study increase as well. (Table1-2).

References

1. Akavci SS, Yerli HR, Dogan A., 2007. The first order shear deformation theory for symmetrically laminated composite plates on elastic foundation. Arab J Sci Eng.32,341-8.
2. Akavci SS., 2014. Thermal buckling analysis of functionallygraded plates on an elastic foundation according to a hyperbolic shear deformation theory. Mech Compos Mater. 50(2), May, 2014 (Russian Original 50(2), March-April, (2014).
3. Akavci SS., 2007. "Buckling and Free Vibration Analysis of Symmetric and Antisymmetric Laminated Composite Plates on an Elastic Foundation" Journal of Reinforced Plastics and Composites. 26(18), p.1907-1919.
4. Dogan A, Arslan HM, Yerli HR., 2010. Effects of anisotropy and curvature on free vibration characteristics of laminated composite cylindrical shallow shells. Struct Eng Mech.35(4),493-510.
5. Dogan A, Arslan HM., 2012. Investigation of the effect of shell plan-form dimensions on mode-shapes of the laminated composite cylindrical shallow shells using SDSST and FEM. Steel and Composite Structures, An Int\'l Journal. 12(4),303-24.
6. Noor AK., 1975. Stability of Multilayered Composite Plates, Fibre Science Technology, 8(2), p.81-89.
7. Phan, N.D. ,Reddy, J.N. 1985. "Analysis of Laminated Composite Plates Using a Higher-order Shear Deformation Theory." International Journal for Numerical Methods in Engineering. 21, p. 2201-2219.
8. Qatu MS., 2004. Vibration of laminated shells and plates. Elsevier, Netherlands.
9. Reddy JN, Khdeir AA., 1989. Buckling and vibration of laminated composite plates using various plate theories. AIAA J.12,1808–17.
10. Reissner E., 1945. The effect of transverse shear deformation on the bending of elastic plates. J Appl Mech.12, 69–77.
11. Setoodeh, A. R., Karami, G. 2004. "Static, Free Vibration and Buckling Analysis of Anisotropic Thick Laminated Composite Plates on Distributed and Point Elastic SupportsUsing a 3-D Layer-wise FEM." Engineering Structures. 26, p.211-220.
12. Sophy M., 2013. Buckling and free vibration of exponentially graded sandwich plates resting on elastic foundations under various boundary conditions. Compos Struct.99,76-87.

TDY 2007 ile TBDY 2018 Deprem Yönetmeliğinin Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Kullanılarak Karşılaştırılması

Sevil KAÇAR[1], Ali DOĞAN[2]

[1,2] İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun, Hatay, Türkiye
Email: sevilkacar.mfbe16@iste.edu.tr, ali.dogan @iste.edu.tr

Özet

Deprem kuşağında yer alan Türkiye'de, yapıların güvenli bir şekilde hizmet verebilmesi için depreme karşı dayanıklı olması beklenmektedir. Bu çalışma, yeni hazırlanan taslak deprem yönetmeliği ile yürürlükte olan deprem yönetmeliği arasındaki deprem hesabı farklarının belirlenmesini ve yapı üzerindeki etkilerinin karşılaştırılmasını amaçlamıştır. Hesap yöntemi olarak 'Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi' kullanılmıştır. Bu yöntemde binanın birinci modu esas alınır ve katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı olduğu kabul edilir. Titreşim periyodunun hesabında ve deprem yükünün dağıtılmasında binanın kütlesi hesaba katıldığı için bu yöntem yapının birinci serbestlik derecesini esas alan dinamik bir yöntem olarak kabul edilebilir. Çalışmada yapı modellemesi, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Sap 2000 programı yardımıyla oluşturulmuştur. Analizler ile elde edilen nümerik sonuçlar çalışmada sunulmuş ve gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tdy 2007, Tbdy 2018, Eşdeğer deprem yükü yöntemi, Yapı deprem analizi

Abstract

It is expected that the structures have to be resistance to the earthquake in order to provide services in a safe manner in Turkey located in the earthquake zone. The aim of this study is to determine the differences between earthquake calculations between the newly prepared draft earthquake regulations and the current earthquake regulations and to compare their effects on the structure. "Equivalent Lateral Load Method" was used as the method. This method is based on the first mode of the building and it is assumed that the earthquake forces acting on the floors are proportional to the floor mass and the height of the floor from the foundation. Since the mass of the building is taken into account in the calculation of the vibration period and in the distribution of the earthquake load, this method can be considered as a dynamic method based on the first degree of freedom of the structure. In the study, the structural model was created with the help of the SAP 2000 program, which makes a solution with the finite element method. Numerical results obtained by analysis are presented in the study and necessary comparisons are made.

Key Words: Tdy 2007, Tbdy 2018, Equivalent lateral load method, Structure eartquake analysis

1. Giriş

Deprem kuşağında yer alan yapıların güvenli bir şekilde hizmet verebilmesi için depreme karşı dayanıklı olması beklenmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında ana ilke,

• Hafif şiddetteki depremlerde, yapısal ve yapısal olmayan elemanların hasar görmemesi,

• Orta şiddetteki depremlerde, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde olması,

• Şiddetli depremlerde, can güvenliğini sağlamak amacıyla kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılması olarak ifade edilebilir.” [3]

Deprem bölgelerinde yapılacak yapıların statik hesapları kapsamında, binaya etkiyecek kuvvet yatay kuvvetleri hesaplayabilmek için deprem yükü hesapları yapılmaktadır. Bunlar ‘Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi’ ve ‘ Dinamik Yöntemler’ olarak iki ana başlıkta değerlendirilir [1].

Bu çalışma, yeni hazırlanan deprem yönetmeliği taslağı ile yürürlükte olan deprem yönetmeliği arasındaki deprem hesabı farklarının belirlenmesini ve yapı üzerindeki etkilerinin karşılaştırılmasını amaçlamıştır. Hesap yöntemi olarak ‘Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi’ kullanılmıştır.

2. Önceki Çalışmalar

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için hazırlanan yönetmeliğin ilki 1997’de yayınlanmış 1998’de bazı değişiklikler eklenmiştir. Daha sonra 2007’de yeni yönetmelik basılmış ve son olarak 2018’de deprem yönetmeliği hazırlanmıştır.

1997 ve 2007 yönetmelikleri arasında eşdeğer deprem yükü hesabı için küçük bir iki fark dışında bir değişiklik yapılmamış, ancak 2018 yönetmeliğinde deprem hesabı başka bir boyut kazanmıştır. Yönetmelikler arası hesap farkları Tablo.1 de özetlenmiştir.

Yeni hazırlanan 2018 yönetmeliğine göre deprem yükü hesabı iki aşamada tanımlanmış olup, bunlar; dayanıma göre tasarım (DGT) ve şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) dır.

İlk aşamada Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yapıldıktan sonra bu ön tasarım olarak adlandırılacak ve ön tasarımı yapılan değerler için Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım ve Değerlendirme (ŞDGT) hesap esaslarına göre performans değerlendirmesi yapılacaktır. Gerekli görülmesi halinde de tasarım iyileştirilecektir.

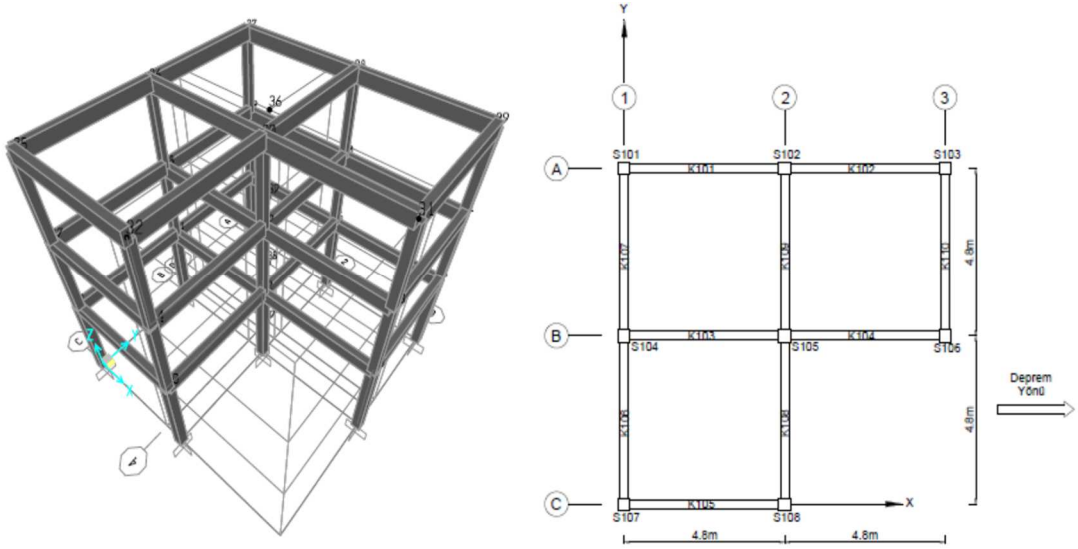
3. Malzeme veYöntem

Eşdeğer deprem yükü, yapının bulunduğu bölgenin deprem geçmişinden yola çıkılarak ileriki dönemde maruz kalabileceği deprem kuvvetlerinin yapı üzerine yatay statik tekil yükler ile etki ettirilmesidir.

Bu yöntemde binanın birinci modu esas alınır ve katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı olduğu kabul edilir. Titreşim periyodunun hesabında ve deprem yükünün dağıtılmasında binanın kütlesi hesaba katıldığı için bu yöntem yapının birinci serbestlik derecesini esas alan dinamik bir yöntem olarak kabul edilebilir. Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkiyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yatay yüklerin binanın asal doğrultularında ayrı ayrı etkidiği kabul edilerek, taşıyıcı sitemlerin elemanlarında kesit etkileri bulunur. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), Vt belirlenir.” [2].

4. Sayısal Uygulamalar

Deprem yönetmeliklerinin eski ve yeni haline göre binada oluşacak deprem yüklerini ve binaya olan etkisini gösterebilmek amacıyla aynı örnek yapı için karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Örnek yapıya ait çizim ve kalıp planı Şekil.1a ve Şekil.1b‘de gösterilmiştir.



Şekil 1 – a) Örnek yapının perspektif görünümü b) Örnek yapının kalıp planı

Yapının taşıyıcı sistem türü olarak yerinde dökme betonarme çerçeveli sistem seçilmiştir. Yapı alanı 1.derece deprem bölgesinde ve Z3 zemin sınıfı olarak belirlenmiştir.

Çerçeve sistemi asimetrik seçilmiş ve deprem yönü X olarak belirlenmiştir. Sabit yükler 1. ve 2. kat için 687 kN, 3. kat için 485 kN; Hareketli yükler 1. ve 2. katlar için 2.00 kN/m2, 3. kat için 1.50 kN/m2 olarak sisteme etki ettirilmiştir.

4.1. 2007 Yönetmeliğine Göre Tasarım

2007 Yönetmeliğine göre Z3 zemin sınıfı ve 1.derece deprem bölgesindeki konut tipi betonarme çerçeveli sistem için hesap parametreleri belirlenmiş ve Tablo 1 'de verilmiştir.

Hesap parametrelerine göre sırasıyla yapının kat ağırlıkları ve fiktif yük oranları hesaplanmış, yapı SAP2000 yazılımında modellenerek fiktif deplasmanlar belirlenmiştir. Bina periyodu T1=0.546 s, taban kesme kuvveti Vt=246.631 kN olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Taban kesme kuvvetinin katlara oranına göre fiktif yükler SAP2000 yazılımında binaya etki ettirilerek deplasmanlar belirlenmiştir.

Tablo 1 – 2007 TDY için hesap parametreleri

Parametre	Değer
Etkin yer ivme katsayısı, (A_0)	0.40
Bina önem katsayısı, (I)	1.00
Spektrum karakteristik periyotları, (T_A), (T_B)	0.15s ve 0.60s
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, (R)	8
Hareketli yük katılım katsayısı, (n)	0.3

Tablo 2 – 2007 TDY hesap değerleri

Kat no	w_i (kN)	F_{fi} (kN)	d_{fi} (m)	T_1 (s)	S(T)	A(T)	V_t (kN)	F_i (kN)
3	516.104	0.4027	0.00005590	0.546	2.5	1.0	246.631	99.3079
2	728.472	0.3886	0.00004207					95.8315
1	728.472	0.2088	0.00001960					51.4916

Tablo 3 – Tüm katlar için A1 burulma düzensizliği katsayısı η_{bi}, Etkin göreli kat ötelemesi $(\delta_i)_{max}$, ve İkinci mertebe etkiler Θ_i

Kat no	V_i (kN)	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	η_{bi}	$(\delta_i)_{max}$	Θ_i
3	99.3079	0.01394	0.01357	0.00339	0.00344	1.08	0.02712	0.00573
2	195.139	0.01055	0.01013	0.00551	0.00531	1.10	0.04408	0.01113
1	246.631	0.00504	0.00482	0.00504	0.00482	1.10	0.04032	0.01096

Yapının tüm katlarında A1 burulma düzensizliği, Etkin göreli kat ötelemeleri, İkinci mertebe etkiler kontrol edilmiş ve sınır değerleri aşmadığı gözlemlenmiştir. Tüm değerler Tablo 3 'de verilmiştir.

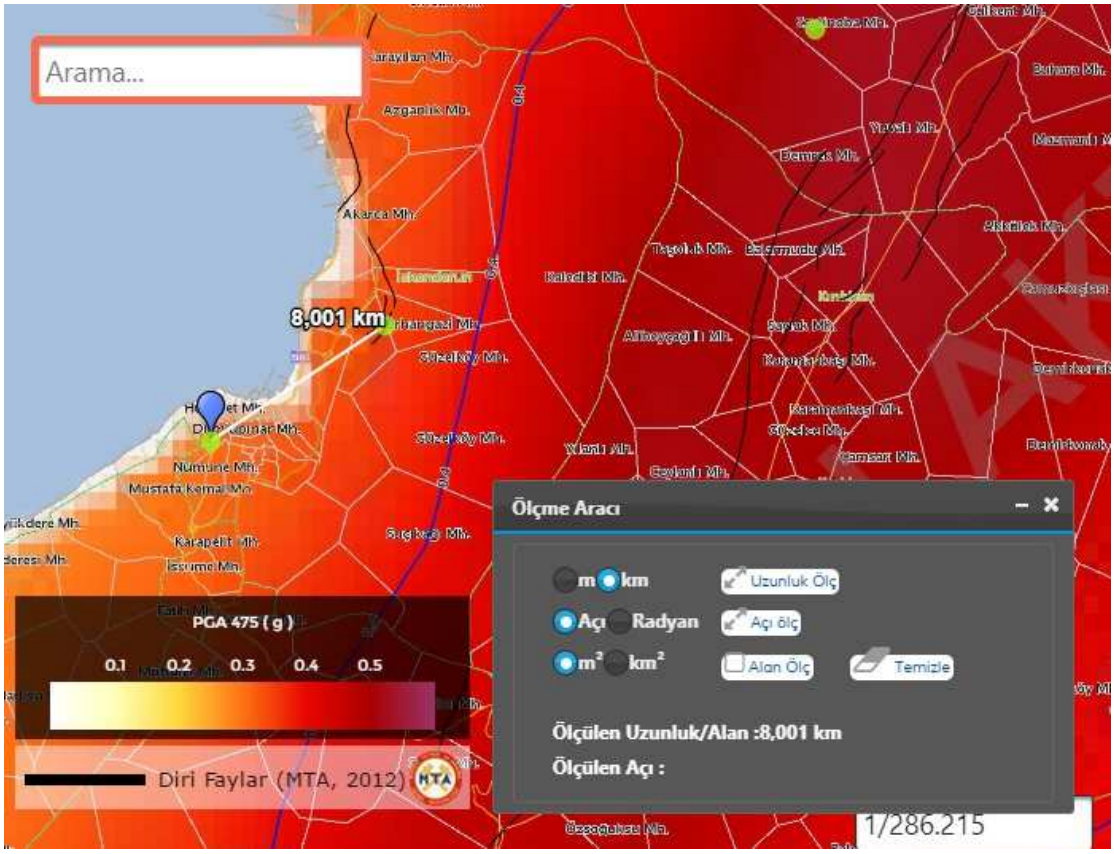
4.2. 2018 Yönetmeliğine Göre Tasarım

Yapının bulunduğu Z3 zemin sınıfı yeni yönetmelikten karşılığı olan "ZD" sınıfı olarak belirlenir. Yenilenmiş yönetmelikte deprem sınıfı yerine 'deprem yer hareketi düzeyi 'DD'

esas alınmakta ve seçilecek bina performans hedefine göre (Kesintisiz Kullanım-KK, Sınırlı Hasar-SH, Kontrollü Hasar-KH, Göçmenin Önlenmesi-GÖ) deprem hesabı yapılmaktadır.[6]

Deprem hesabında web uygulamasına yapının konumu girilerek DD-2 'ye göre elde edilen 'Tasarım spektral ivme katsayıları' ile 'Deprem tasarım sınıfı-DTS' belirlenir ve buna göre uygun tasarım yöntemi seçilir (Dayanıma Göre Tasarım-DGT, Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım-ŞDGT). [4]

Yenilenmiş yönetmeliğin deprem hesabında kullanılacak 'Tasarım spektral ivme katsayıları' 2007 yönetmeliğinde olduğu gibi deprem bölgesine göre değil, yapının en yakın faya olan uzaklığına göre hesaplanmaktadır. Örnek yapı için faya uzaklık ölçümü Şekil 2 'de gösterilmiştir.



Şekil 2 – Yapı konumunun en yakın faya olan uzaklığı [5]

Tehlike Haritaları İnteraktif web uygulamasına girerek, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tasarım spektrumu karakteristikleri SS ile S1 elde edilir. Uygulama FS, F1, SDS, SD1, TA, TB, TL, TAD, TBD, TLD değerlerini de detaylı rapor olarak vermektedir. Ancak yönetmelikte belirtilen denklemler ile de hesaplamak mümkün. (Ek-1; Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Uygulama Çıktıları)

Tasarımda kullanılması gereken hesap yöntemi ve performans hedefi DD-2 deprem yer hareketi için TBDY, Tablo 3.4(a) dan belirlenir. Bu yapı için DGT (Dayanıma Göre Tasarım)

hesabı yapılacak ve KH (Kontrollü Hasar) performansı sağlanacaktır. Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliği TBDY 'den kontrol edilir.

Tablo 4 – 2018 TBDY için hesap parametreleri

Parametre	Değer
Zemin sınıfı	ZD
Bina kullanım sınıfı, (BKS)	3
Bina önem katsayısı, (I)	1.0
Deprem tasarım sınıfı, (DTS)	2
Bina yükseklik sınıfı, (BYS)	7
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, (R)	8
Dayanım fazlalığı katsayısı, (D)	3
Hareketli yük katılım katsayısı, (n)	0.3
Kısa periyod için Tasarım spektral ivme kts., (S_{DS})	0.88
1.0sn periyod için Tasarım spektral ivme kts, (S_{D1})	0.445
Yatay elastik tasarım spektrumu köşe periyotları, T_A, T_B, T_L	T_A=0.101 sn T_B=0.506 sn T_L=6.00 sn
Düşey elastik tasarım spektrumu köşe periyotları, T_{AD}, T_{BD}, T_{LD}	T_{AD}=0.034 sn T_{BD}=0.169 sn T_{LD}=3.00 sn

Hesap parametrelerine göre sırasıyla yapının kat ağırlıkları ve fiktif yük oranları hesaplanmış, yapı SAP2000 yazılımında modellenerek fiktif deplasmanlar belirlenmiştir. Bina periyodu Tp(X)=0.546 s, taban kesme kuvveti VtE(X)=201.00 kN olarak hesaplanmıştır (Tablo 5). Taban kesme kuvvetinin katlara oranına göre fiktif yükler SAP2000 yazılımında binaya etki ettirilerek deplasmanlar belirlenmiştir.

Yapının tüm katlarında A1 burulma düzensizliği, Etkin göreli kat ötelemeleri, İkinci mertebe etkiler kontrol edilmiş ve sınır değerleri aşmadığı gözlemlenmiştir. Tüm değerler Tablo 6 'da verilmiştir.

Tablo 5 – 2018 TBDY hesap değerleri

Kat no	**$w_j^{(s)}$ (kN)**	**$F_{fi}^{(X)}$ (kN)**	**$d_{fi}^{(X)}$ (m)**	**$T_p^{(X)}$ (s)**	**$S_{ae}(T)$**	**$S_{aR}(T)$**	**$V_{tE}^{(X)}$ (kN)**	**$F_{iE}^{(X)}$ (kN)**
3	516.104	0.4027	0.00005590	0.546	0.815	0.102	201.00	80.94
2	728.472	0.3886	0.00004207					78.10
1	728.472	0.2088	0.00001960					41.97

Tablo 6 – Tüm katlar için A1 burulma düzensizliği katsayısı ηbi, Etkin göreli kat ötelemesi $(\delta_i^{(X)})max$, ve İkinci mertebe etkiler $\Theta_{II,i}^{(X)}$

Kat no	V_i (kN)	$(d_i^{(X)})_{max}$	$(d_i^{(X)})_{min}$	$(\Delta_i^{(X)})_{max}$	$(\Delta_i^{(X)})_{min}$	η_{bi}	$(\delta_i^{(X)})_{max}$	$\Theta_{II,i}^{(X)}$
3	80.94	0.01138	0.01107	0.00277	0.00281	0.99	0.02216	0.00574
2	78.10	0.00861	0.00826	0.00450	0.00433	1.02	0.0360	0.01115
1	41.97	0.00411	0.00393	0.00411	0.00393	1.02	0.0329	0.01096

5. Sonuç

Yapılan çalışma sonucu 2007 ve 2018 Deprem Yönetmelikleri arasındaki farklara değinilmiş ve karşılaştırmalı analiz yapılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinde yapıya ait kat ağırlıkları ve fiktif yüklerin hesabında bir farklılık bulunmamakla birlikte yapılan hesaplamaların bu kısmında aynı değerler elde edilmiştir. Diğer parametreler Tablo 7. 'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 7 – 2007 ve 2018 Deprem yönetmeliklerine göre yapılan analiz sonuçları karşılaştırması

Parametre		2007 DY.	2018 DY.
Bina Doğal Hakim Titreşim Periyodu, T		0,546	0,546
Taban Kesme Kuvveti, Vt		246,63	201,00
Eşdeğer Kat Deprem Yükleri, Fi	3.Kat	99,3079	80,94
	2.Kat	95,8315	78,10
	1.Kat	51,4916	41,97
A1 Burulma düzensizliği katsayısı, ηbi	3.Kat	1,08	0,99
	2.Kat	1,10	1,02
	1.Kat	1,10	1,02
Etkin göreli kat ötelemeleri, δi	3.Kat	0,02712	0,02216
	2.Kat	0,04408	0,0360
	1.Kat	0,04032	0,0329
İkinci mertebe etkileri, θi	3.Kat	0,00573	0,00574
	2.Kat	0,01113	0,01115
	1.Kat	0,01096	0,01096

Yukarıdaki tablodan da görüleceği üzere, 2007 DY. 'ne nazaran 2018 DY. 'de Bina Doğal Hakim Titreşim Periyodu T aynı kalırken Taban Kesme Kuvveti Vt azalmıştır.

Taban Kesme Kuvveti Vt ye bağlı olarak 2018 D.Y 'de katlara etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri de azalmıştır. Dolayısı ile kesitlere tesir eden moment ve kesme kuvveti değerleri de daha düşüktür.

Burulma düzensizlikleri birbirine yakın değerler alırken, Etkin Göreli Kat Ötelemeleri 2018 DY. 'de daha düşük hesaplanmıştır.

Kaynaklar

1. Celep Z., Kumbasar N., (2004), Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul, Beta Dağıtım, ISBN: 975954052

2. Uçar T., Merter O., (2012), Binaların Deprem Hesabında Kullanılan Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleriyle İlgili Bir İrdeleme, Ordu Ünv. Bil. Tek. Derg., Cilt:2, Sayı:2

3. Zorbozan M., Betonarme Yapı Tasarımı-Deprem Hesabı Ders Notları, Yıldız Ünv.

4. Çeken U., AFAD, (2016), Türkiye deprem tehlike haritaları ve interaktif web uygulaması, Uluslararası Sismik İzolasyon Çalıştayı, 13 Ekim 2016

5. https://testtdth.afad.gov.tr/

6. Prof. Dr. Fahjan Y., (2017), Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2017) Tabanlı Tasarım Spektrumları, İMO İzmir Şubesi Semineri, 10 Mayıs 2017

7. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY 2018