



**DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ**

Düzce University
Journal of
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

Cilt
Volume

9

Sayı
Issue

5

Ekim/October
2021

Düzce Üniversitesi
BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ
DÜBİTED

<http://dergipark.org.tr/dubited>



Düzce University
JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY
DUBITED

<http://dergipark.org.tr/dubited>

Sahibi

Owner

Zafer AKBAŞ (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)

Editör

Editor

Uğur GÜVENÇ

Resul KARA

Pınar GÜLTEKİN

Ahmet DEMİR

Serdar BİROĞUL

Tarık GEDİK

Yardımcı Editörler

Assistant Editors

Murat GÜREL

Keziban GEGİN

Ufuk ÇİFCİ

Vesile YALÇIN

Gamze ÇOBAN

Özlem ÖZKAN ÖNÜR

Tunahan TİMUÇİN

Ercan ATAGÜN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Zafer AKBAŞ

Yayın Kurulu

Editorial Board

Ahmet Bora KIRKLIKÇI, Karamanoğlu Mehmet Bey
Üniversitesi, Türkiye

Ali ÇALHAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ahmet DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Aytaç AYDIN, Karadeniz Teknik Üniversitesi,
Türkiye

Emre ÇELİK, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Engin EROĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fatih YILMAZ, Bayburt Üniversitesi, Türkiye
G. Alev ÖZKÖK, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye
Hakan ARSLAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Harun BAYRAKDAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hüseyin BUDAK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İrem DÜZDAR ARGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Koray ŞARKAYA, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye
Mecit AKSU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet ŞİMŞEK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mert YILDIRIM, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Metin TOZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,
Türkiye
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
Murat EYVAZ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Mustafa DAYI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Müge KANUNİ ER, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuray Benli YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Osman KANDARA, Southern University, Türkiye
Özge Tüzün ÖZMEN, İzmir Bakırçay Üniversitesi,
Türkiye
Pınar GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Revna ACAR VURAL, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Selman KULAÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Semih ÖZDEN, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye
Sercan SERİN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,
Türkiye
Serdar BİROĞUL, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Serhat DUMAN, Bandırma Onyediy Eylül
Üniversitesi, Türkiye
Sinan TOKLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Tarık GEDİK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Üyesi Turgay BİRTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit ERGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit YURT, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yasin ŞALE, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Yaşar Selman GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yusuf ALTUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ulusal Danışma Kurulu
National Advisory Board

Adem ACIR, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Adem ÇİÇEK, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Türkiye
Arif ÖZKAN, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Devrim AKGÜN, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
Elif UZ, Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Ercan ÖZGAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Erol BURDURLU, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Ethem TOKLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Türkiye
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
H.Hüseyin CİRİTCİOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hakan AKTAŞ, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
Hakan ALTINÇEKİÇ, İstanbul Üniversitesi, Türkiye
Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
İbrahim YÜCEDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İsmail TORÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
İsmet YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Memiş IŞIK, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Meral KEKEÇOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Muharrem GÖKÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Murat KALE, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Murat SİPAHİOĞLU, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye
Mustafa OKUTAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Raşit TURAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye
Salih TOSUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Selçuk ÖZMEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Seyhan FIRAT, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yasin KIŞIOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Uluslararası Danışma Kurulu
International Advisory Board

Abdelilah SLAOUI, Universite de Strasbourg, France
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University,
USA
Daniel BREAZ, University of Alba Lulia, Romania
Luis ROSEIRO, Coimbra Institute of Engineering,
Portugual
Marwan BIKDASH, North Carolina A & T State
University, USA
Sadık ARTUNÇ, Mississippi State University, USA

Salim HIZIROĞLU, Oklahoma State University, USA
Thomas C. CULBRETH, North Carolina State
University, USA

Cilt
Volume

9

Sayı
Issue

5

Ekim / October
2021

Ürün Bilgisi

Product Information

Yayıncı

Publisher

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Düzce University Institute of Graduate Programs

Sahibi

Owner

Zafer AKBAŞ (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)

(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Zafer AKBAŞ

Web Sayfası

Web Page

<http://dergipark.org.tr/dubited>

Basım Tarihi

Date of Publication

Ekim 2021

October 2021

Yayın Dili

Language

Türkçe / İngilizce

Turkish / English

Yayın Aralığı

Frequency

Yılda dört kez yayınlanır

Published four times in a year

Yayın Türü

Type of Publication

Sürelî yayın

Periodical

e-ISSN Numarası

e-ISSN Number

2148-2446

Yazışma Adresi

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim
Enstitüsü Rektörlük Binası 3. Kat 81620
Düzce/TÜRKİYE

Telefon: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-posta: dubitedyayin@duzce.edu.tr

<http://dergipark.org.tr/dubited>
adresinden dergiye ilişkin bilgilere ve
makalelerin tam metnine ulaşılabilir.

Correspondence Address

*Düzce University Institute of
Graduate Programs Rectorship
Building 3rd Floor 81620
Düzce/TURKEY*

Phone: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-mail: dubitedyayin@duzce.edu.tr

*Instructions for authors and all
articles in this journal can be
reached at*

<http://dergipark.org.tr/dubited>

İÇİNDEKİLER

Sayfa

Makale

BİYOLOJİ/BİYOKİMYA/MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK/SU ÜRÜNLERİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1669-1675 A Bioinformatics-Based Approach for Designing Primer Sets in Determination of Meat Specificity
Et Özgüllüğünün Belirlenmesinde Primer Setlerinin Tasarımına Yönelik Biyoinformatik Tabanlı Bir Yaklaşım
Nursel SÖYLEMEZ MİLLİ, İsmail Hakkı PARLAK, Ercan Selçuk ÜNLÜ, Mehmet MİLLİ, Ömer EREN
- 1782-1792 Kilis Topraklarından İzole Edilen Bacillus B10 Suşunun Üreaz Üretimini İstatistiksel Optimizasyonu
Statistical Optimization of Urease Production by Bacillus B10 Strain Isolated From Kilis Soils
Hatice Aysun MERCİMEK TAKCI, Pemra BAKIRHAN
- 1970 - 1983 The Interval-Valued Spherical Fuzzy Based Methodology and its Application to Electric Car Selection
Aralık Değerlikli Küresel Bulanık Metodoloji ve Elektrikli Araba Seçimi Uygulaması
Serap TEPE

BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1695-1706 Adli Bilişim İncelenme Süreçlerinde Yapay Zeka Kullanımı: VGG16 ile Görüntü Sınıflandırma
Artificial Intelligence in Digital Forensics Investigation Processes: Image Classification with VGG16
İsrafil DİLBER, Aydın ÇETİN
- 1739-1753 Metrik Öğrenmesi Kullanarak Çeşitli Kansere Dokularına Ait Mikro Dizi Gen Verilerinin Sınıflandırılması
Classifying Microarray Gene Data of Various Cancerous Tissues Using Metric Learning
Fırat İSMAİLOĞLU

- 1754-1765 X-ışınlı Göğüs İmgelerini Kullanarak Solunum Yolu Hastalıklarının Tespitinde Kuantum Transfer Öğrenme Modelinin Rolü
The Role of Quantum Transfer Learning Model in the Detection of Respiratory Diseases Using X-ray Chest Images
Mesut TOĞAÇAR
- 1835-1842 SSLChain: Blokzincir Yöntemiyle Sunucu-İstemci Arası Güvenli Web Haberleşmesi
SSLChain: Client-Server Secure Web Communication With Blockchain Method
Durdu ÖZDEN ONAR, Resul KARA
- 2077-2086 e-Stüdyo için Aydınlatma Modeli ve Optimizasyonu
Lighting Model and Optimization for e-Studio
Hamit ARMAĞAN, Tuncay YİĞİT
- 2087-2101 Skolyoz İçin Kapsül Ağları Tabanlı Otomatik Ölçüm Sistemi
Capsule Networks Based Automatic Measurement System for Scoliosis
Sena GORAL, Utku KÖSE

Derleme Makale / Review Article

- 1843-1859 Derin Öğrenme Modellerinde Mahremiyet ve Güvenlik Üzerine Bir Derleme Çalışması
A Review Study on Privacy and Security in Deep Learning Models
Gülsüm YİĞİT, Ayşe KALE

ÇEVRE/ZİRAAT/JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi / Research Article

- 1707-1723 Nevşehir İli Hava Kalitesinin Markov Zinciri ile Tahmini
Prediction of Nevşehir Province Air Quality with Markov Chain
Emine BAŞTÜRK, Alper ALVER
- 2023 - 2035 Beyaz Baş Lahana Hatlarının Morfolojik Özellikleri Üzerine Turnip Mosaic Virus (TuMV)'nin Etkilerinin Belirlenmesi
Determination of Impact of Turnip Mosaic Virus (TuMV) on Morphological Characteristics of White Cabbage Lines
Nuran CANSIZ, Mehmet Ali ŞEVİK

ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1621-1637 3E Analysis of the Effect of Different Type of Fans on Cooling Performance Applied to an Industrial Deep Freezer
Endüstriyel Derin Dondurucuya Uygulanan Farklı Tip Fanların Soğutma Performansına Etkisinin 3E Analizi
Cemil OCAK, Süleyman ERTEN, Furkan İŞGEN, Erhan ARSLAN, Meltem KOŞAN, Esra DEMİRCİ, Mustafa AKTAŞ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ/ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1592-1609 Ideal location selection for new stone crusher machine and landfill using FAHP and TOPSIS methods: a case study in a copper mine
FAHP ve TOPSIS kullanılarak yeni taş kırma makinesi ve katı atık sahası için en iyi yerin seçilmesi: bir bakır madeni örneği
Nima MIRZAEI, Özlem Müge TESTİK
- 1826-1834 Görme Engelliler için Akıllı Bileklik Tasarımının Değer Mühendisliği Yöntemi ile Maliyet Analizi
Cost Analysis of Smart Wristband Design for the Visually Impaired with the Value Engineering Method
Neslihan TOP, Cengiz ELDEM, Orhan ERDEN, İsmail ŞAHİN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1638-1652 Investigation of Cement, Mineral and Chemical Additive Interactions in Micro Scales
Mikro Boyutlarda Çimento, Mineral ve Kimyasal Katkı Etkileşimlerinin İncelenmesi
Murat GÖKÇE, Osman ŞİMŞEK, Kenan TOKLU
- 1766-1781 Dış Merkezi Çelik Çapraz Tiplerinin Çerçeve Davranışına ve Yapı Maliyetine Etkisinin İncelenmesi
Investigation of the Effect of Eccentrically Steel Braced Types on Frame Behaviour and Structure Cost
Şenol GÜRSOY, Aysegül YILMAZ

- 1875-1890 Kuru Yatakta Oluşan Baraj Yıkılmasının Sayısal Modellemesi
Numerical Modeling of Dam Break on Dry Bed
Oğuz ŞİMŞEK, Hüseyin İŞLEK, Veysel GÜMÜŞ
- 1936-1948 Slope Stability Evaluation of Basement Excavation: A Case Study
Bodrum Kazısının Şev Stabilite Değerlendirmesi: Vaka Analizi
Ahmet ERDAĞ
- 1995 - 2011 Manyetik Aktif Karbon Modifiyeli Bitümün Kompleks Modül Değerlerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini
Predicting The Complex Modulus of Magnetic Activated Carbon Modified Bitumen Using Artificial Neural Networks
Ahmet Münir ÖZDEMİR, Bahadır YILMAZ ,Nurten AKGÜN TANBAY
- 2012 - 2022 Farklı Tür Agregalarla Üretilen Silindire Sıkıştırılmış Betonların Özellikleri
Properties of Roller Compacted Concretes Produced with Different Types of Aggregates
İsmail KILIÇ, Ahmet Okan SAVAŞ
- 2036 - 2051 Yüksek Hacimli Çimento İçerikli Kompozitlerde Polipropilen Lif ve Alçıtaşı Kullanımının Mühendislik Özellikleri Üzerindeki Etkisi
The Effect of The Use of Polypropylene Fiber and Gypsum in High Volume Cement Contained Composites on Engineering Properties
Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR
- 2052 - 2066 Günlük Ortalama Akımların Yapay Sinir Ağları Metodu ile Taşkın Öteleme Hesabında Kullanılması
Use of Daily Average Flows in Flood Routing Calculation with Artificial Neural Network Method
Metin SARIGÖL
- 2102 - 2115 Asfalt Kaplamaların Nem Performansı Üzerinde Siyah Karbonun Etkisi
The Effect of Carbon Black on Moisture Performance of Asphalt Pavements
Tacettin GEÇKİL, Zülfükar AKSAĞAN, Ceren Beyza İNCE
- 2128 - 2143 Uçucu Külün Yapı Malzemelerinin Mukavemeti ve Bağlayıcılığına Etkisinin Araştırılması
Investigation of the Effect of Fly Ash on the Strength and Binding of Building Materials
Meltem ÇUBUK, Metin GÜRÜ, Deniz ARSLAN, Onur ÖZDEMİR

KİMYA / FİZİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1610-1620 Ultrasound-Assisted One-Pot Synthesis of 9-(Substituted heteroaryl) acridinedione Derivatives
Ultrasses Destekli 9-(Substitue heteroaril) akrindion Türevlerinin Tek Basamakta Sentezi
Duygu BAYRAMOĞLU, Mehtap YAKUT
- 1860-1874 Polimerik Linoleik Asit İçeren Graft Kopolimerlerin Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu ve Kondenzasyon Reaksiyonu ile Sentezi ve Karakterizasyonu
Synthesis and Characterization of Graft Copolymers Containing Polymeric Linoleic Acid by Atom Transfer Radical Polymerization and Condensation Reaction
Sema ALLI
- 1927-1935 Mechanical, Thermal and Surface Properties of a New Kind of Polybenzoylthiourea
Yeni Bir Polibenzoiltiyoüre'nin Mekanik, Termal ve Yüzey Özellikleri
Gülşah KURT

MAKİNE / MEKATRONİK /MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT MÜHENDİSLİĞİ.

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1676-1694 Biyodizel ve EGR Kullanılan Bir Dizel Motorunda Motor Performansını ve NO Emisyonunu Etkileyen Faktörlerin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu
Optimization of Factors Affecting Engine Performance and NO Emissions in a Diesel Engine Using Biodiesel and EGR by Taguchi Method
Çiçek ÇANGAL, Vezir AYHAN
- 2067-2076 Endüstride Pet Şişe Üretiminde Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri
Problems Encountered in Pet Bottle Production in the Industry and Solution Suggestions
Mustafa TİMUR, Halil KILIÇ
- 2116-2127 Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilen Nb Takviyeli Mg Matrisli Kompozitlerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri
Microstructure and Mechanical Properties of Nb Reinforced Mg Matrix Composites Produced Through Hot Pressing Method
Ali ERÇETİN

MİMARLIK / PEYZAJ MİMARLIĞI / ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1653-1668 Effective Use of Solar Energy with BIM Supported Parametric Methods: Case Study Al-Shaab Stadium
YBM Destekli Parametrik Yöntemler ile Güneş Enerjisinin Etkin Kullanım Analizi: Al-Shaab Stadyumu Vaka Çalışması
Filiz BAL KOÇYİĞİT, Abdullah ALLAWI
- 1724-1738 Bir Tasarım Ögesi Olarak Gün Işığı: Jean Nouvel
Daylight as a Design Element: Jean Nouvel
Zeynep BAHAR, Şengül YALÇINKAYA
- 1793-1801 The Effect of Urban Sprawl on Land Use Change in Mersin, Turkey
Kentsel Gelişimin Arazi Kullanımları Üzerine Etkisi- Mersin Örneği
Asuman AYSU, Sebahat Sinem ÖZYURT ÖKTEN
- 1802-1825 Yeniden İşlevlendirme Uygulamalarında Özgünlük Kayıplarının Araştırılması: Geleneksel Alanya Konutları Örneği
Investigation of Loss of Originality in Re-Functioning Applications: The Case of Traditional Alanya Houses
Nazmiye Gizem ARI, M. Elif ÇELEBİ KARAKÖK
- 1891-1908 Üniversite Yerleşkelerinde Erişilebilirlik Değerlendirmesi: Düzce Üniversitesi Kampüsü Örneği
Accessibility Assessment in University Campuses: Case of Duzce University Campus
Nuray ÖZKARACA, Mehmet İNCEOĞLU
- 1909-1926 1923 Yılından Günümüze Apartman Tipi Konutlardaki Yatak Odası Gelişimi: Konya Örneği
Bedroom Development in Apartment Types Houses since 1923: The Case of Konya
Betül HATİPOĞLU ŞAHİN, Ayşenur DAĞ GÜRCAN
- 1949-1969 Düzce Kentinde Dikey Bahçe Uygulanabilirliğinin Araştırılması
Investigation of Vertical Gardening Applicabilityin City Center of Düzce
Özge DEDEİ DÜNDAR, Zeki DEMİR
- 2023 - 2035 YHTD'lerin Değerlendirilmesinde Yeni Bir Yöntem
A New Method for the Evaluation of GMPEs
Hakan KARACA

GIDA MÜHENDİSLİĞİ

Derleme Makalesi/ Review Article

2144 - 2156

Probiyotik Peynirlerle İlgili Araştırmalar ve Endüstrideki Uygulamaları

Research on Probiotic Cheese and Its Applications in Industry

Nilüfer Sena AYDOĞDU, Tuğba KÖK TAŞ



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Ideal location selection for new stone crusher machine and landfill using FAHP and TOPSIS methods: a case study in a copper mine

 Nima MIRZAEI ^{a,*},  Özlem Müge TESTİK ^b

^a Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, İstanbul Aydın University, İstanbul, TURKEY

^b Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Hacettepe University, Ankara, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: nimamirzaei@aydin.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.821490

ABSTRACT

This study presents a practical approach used to find the best location for installing a new stone crusher machine and the landfill (waste) in the Sarcheshmeh copper in-pit mine located in the southeast of Iran. Fuzzy analytical hierarchal process (FAHP) and technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) are the two methods, which applied in the study as a part of multi-criteria decision making (MCDM) analysis. In the first part FAHP method was utilized to find the ideal location for the stone crusher machine, and in the next part TOPSIS (in combination with Shannon entropy weighting) was used in landfill selection. The analysis was performed using the data collected from experts (engineers, mine specialists, and managers). The North, South, East, and West sides of the mine were considered as potential alternatives, and 21 factors were considered as criteria for computational analysis. The obtained results from FAHP suggested that the best alternative was alternative 3 (East side of the mine) to place the new stone crusher machine. Considering solid waste management, the TOPSIS method demonstrated that alternative 1 (North side of the mine) was the best location to be considered for landfills. Finally, a sensitivity analysis was carried out to examine the effects of changes in weights of criteria on the obtained results.

Keywords: Multi-criteria decision making, Shannon entropy, fuzzy analytical hierarchy process (FAHP), location decision technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS).

FAHP ve TOPSIS kullanılarak yeni taş kırma makinesi ve katı atık sahası için en iyi yerin seçilmesi: bir bakır madeni örneği

ÖZ

Bu çalışma, İran'ın güneydoğusundaki Sarcheshmeh bakır çukur madeni için yeni bir taş kırma makinesinin ve katı atık sahasının (atık) yeri hakkında karar vermek için pratik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışmada, Bulanık analitik hiyerarşik Prosesi (FAHP) ve technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS), çok kriterli karar verme (MCDM) analizinin bir parçası olarak kullanılan iki yöntemdir. Birinci bölümde taş kırma makinesi için en uygun yeri bulmak için FAHP yöntemi kullanılmış, daha sonra depolama alanı seçimi için TOPSIS (Shannon entropi ağırlıklandırması ile birlikte) kullanılmıştır. Analiz, uzmanlar (mühendisler, maden mütehassıslar ve yöneticiler) toplanan verilere dayanılarak yapılmıştır. Madenin kuzey, güney, doğu ve batı tarafı potansiyel alternatifler olarak kabul edilmiş ve hesaplamalar için 21 faktör kriter olarak kabul edilmiştir. FAHP'den elde edilen sonuçlar, yeni taş kırma makinesinin yerleştirilmesi için en iyi alternatifin alternatif 3 (madenin doğu tarafı) olmasını önermiştir. Katı atık yönetimi dikkate alındığında ise TOPSIS yöntemi, alternatif 1'in (madenin kuzey tarafı) düzenli depolama alanları için en iyi yer olduğunu göstermiştir. Son olarak, kriterlerin ağırlıkları değiştirildiğinde sonuçların nasıl değişeceğini incelemek için bir duyarlılık analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok kriterli karar verme, Shannon entropi, bulanık analitik hiyerarşi Prosesi (FAHP), konum kararı, ideal çözüme benzerliğe göre sipariş tercihi tekniği (TOPSIS).

I. INTRODUCTION

One of the major factors in mining engineering is the method that is used for evaluating different location alternatives. Generally, steps of a mining project endanger the environment's original condition, therefore, it is crucial to implement a suitable approach during the planning stage [1]. One of the steps in the planning stage is location decisions. Choosing a location requires long-term capital commitment and has an important effect on the operation procedures performance, and cost [2]. A selection of optimal location not only reduces fixed and variable costs for equipment installation and transportation but also increases operations and transportation speed. Location decision is the main issue for planning new development procedures [3]. It has different applications in different fields such as healthcare [4], power plants [5,6], distribution centers [7], and mining [8].

One of the common approaches for location decisions is multi criteria decision making (MCDM) method [9]. In another word, location selection is a classical MCDM problem. MCDM is the most long-familiar type of decision making [10]. Numerous scholars suggest MCDM as a suitable methodology to handle conflicting and both quantitative and qualitative objectives [11,12]. Three main steps of MCDM by the order are data processing, scheduling, and evaluation [13]. The planning procedure involves two methodologies, which are multi attribute decision-making (MADM) and multi objective decision making (MODM). In general, MCDM is classified into two classes: continuous and discrete MADM [14].

Famous researchers in the MCDM field utilized many different techniques. The most common techniques are analytical hierarchical process (AHP), the technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS), analytical network process (ANP), grey relational analysis (GRA), elimination and choice expressing reality (ELECTRE), linear programming technique, simple additive weighting (SAW), linear assignment method, conjunctive disjunctive method, maxi-max, and maxi-min [15]. These techniques have been applied for several application processes which have their characteristics in finding the ideal solution. For instance, in a study which was done by Lin and Tsai in 2010, MCDM was used to model location alternatives for the joint venture in new hospitals in China. They employed ANP to the proportional weighting of multiple rating criteria and then applied the TOPSIS method to rank 15 counties based on their overall performance [16]. Typically, the ELECTRE method is used when decision-makers' knowledge is vague and inaccurate [17]. In a study that faces such difficulty for plant location selection problems, researchers combined multi criteria intuitionistic fuzzy group decision making with the ELECTRE technique to find a suitable plant location [17]. Sometimes, combinations of two or more methods are used as a hybrid MCDM model for decision making and results seem to be preferable to those developed by a single MCDM method. Wang et. al in 2015 combined the SAW, TOPSIS, and GRA techniques to solve real-life MCDM problems and to select more accurate alternatives [18]. In another study performed by Shaverdi et al in 2016, they Combined Fuzzy TOPSIS and FAHP with financial ratios to design a novel performance assessment framework to rate the several organizations in the Iranian petrochemical industry [19]. Several researchers combined the Fuzzy technique with MDCM techniques (such as AHP and TOPSIS) for Group Decision Making Approach [20,21].

As mentioned earlier, one of the popular MCDM techniques is the analytical hierarchical process (AHP) method. AHP was developed by Saaty in the late 1970s [22]. Later, in 2004, he developed the mathematical foundations by the independence of the important factors from the possible choices as in the AHP and also with dependence and feedback in the full decision making system as in the analytic network process (ANP)[23]. AHP method was applied in distinct areas such as warehouse site selection in production system [24], decision model for site location selection [25], global facility location-allocation problem [26], logistics of industrial location decisions [27], and warehouse location decision [28]. Besides, the technique was employed in different areas such as engineering, manufacturing, industry, politic, social, education, and management [29]. Often AHP techniques were used along with the geographical information system (GIS) technique for landfill (waste) site selection purposes [30-32].

Another useful technique for location selection is TOPSIS. Hwang and Yoon originally developed it in 1980. Later the method was improved by Yoon in 1987, Hwang, Lia, and Liu in 1993 [33,34]. TOPSIS was utilized as a multi objective optimization approach for the location-allocation problem [35], pipe material selection in the sugar industry [36]. Optimal location selection of emergency operation centers [37], and to decide about the best location for Wastewater Treatment Solution [38]. Furthermore, from time to time it was combined with fuzzy techniques as an MCDM approach for location selection [39], [40].

In the Recent Times, scholars combined fuzzy logic with MCDM techniques to solve decision-making problems. For instance, Erdogan and Kaya in 2016 combined MCDM and fuzzy approach to decide the most beneficial area for a nuclear power plant in Turkey. First, they applied type II FAHP to find the weight unit of criteria, and then type II FTOPSIS was applied to determine the best alternative for the nuclear power plant location [5].

The remainder of this study is structured as follows: In Section 2, data collection and criteria evaluation was introduced. After that, the FAHP method and Integration of the Shannon Entropy and TOPSIS method were explained in the methodology section. Finally, computational results and future studies were discussed in section 4.

II. DATA COLLECTION AND CRITERIA EVALUATION

A. PROBLEM STATEMENT AND MOTIVATION

In general, before the mining excavation project is started many experimental studies must be completed to predict the amount of ore deposit (in this study copper) that might be extracted from the mine. Nevertheless, the estimated outcomes of the experiments are based on probability theory. There are possible changes in the advent of variation to geology or sudden failure in the project. For that reason, investors are not willing to invest high capital at the beginning of excavation and drilling in a project.

This study was carried out in the Sarcheshmeh copper complex. It is one of the largest porphyry copper in the world. The mine is located southeastern of Iran, 65 km southwest of Kerman city, (Fig. 1.a)[41]. After few years the mining excavation started at the Sarcheshmeh copper complex, mining engineers find out that the amount of potential copper inside of the mine is much more than what they predicted. Therefore, the project manager decided to expand the mining excavation. Consequently, a new stone crusher machine is needed to speed up the utilization procedure, and the location for that stone crusher and its waste must be identified. This study aims to find the best location for the new stone crusher machine and landfill using FAHP and TOPSIS methods.

B. POSSIBLE ALTERNATIVES AND CRITERIA SELECTION

Because of the geometric shape of the Sarcheshmeh in-pit mine and save time and capital, the new stone crusher machine must be close to the sides of the mine. As it is depicted in Figure 1. (a), the top view of the mine is similar to the rectangle. After primary investigation and analysis were done by geomatic and civil engineers using the Geographical Information System (GIS) tool, they decided to select four locations as alternatives in this study. At the same time, because the mine surrounds a vast area, for safety reasons, and many other factors, accurate calculations and analysis need to be done to select an optimal location.

There are only 4 potential locations close to the mine that have enough space to install the new stone crusher machine. The approximate location of each of them is shown in Figure 1. (a) (A_1 North, A_2 South, A_3 East, and A_4 West sides). In addition to the stone crusher machine, the waste of the machine must be collected and deposited close to the machine. To speed up the excavation and transportation procedures the possible alternatives are the north, south, east, and west side of the mine. Currently, there are three dumps placed on three different sides of the mine. Dump31 is located on the North side of the

mine (A_1), dump26 is located on the East side of the mine (A_3), and dump15 is located on the West side of the mine (A_4). Also, it is possible to build a new dump on the South side of the mine (A_2). Therefore, there are four possible alternatives for landfill location selection.

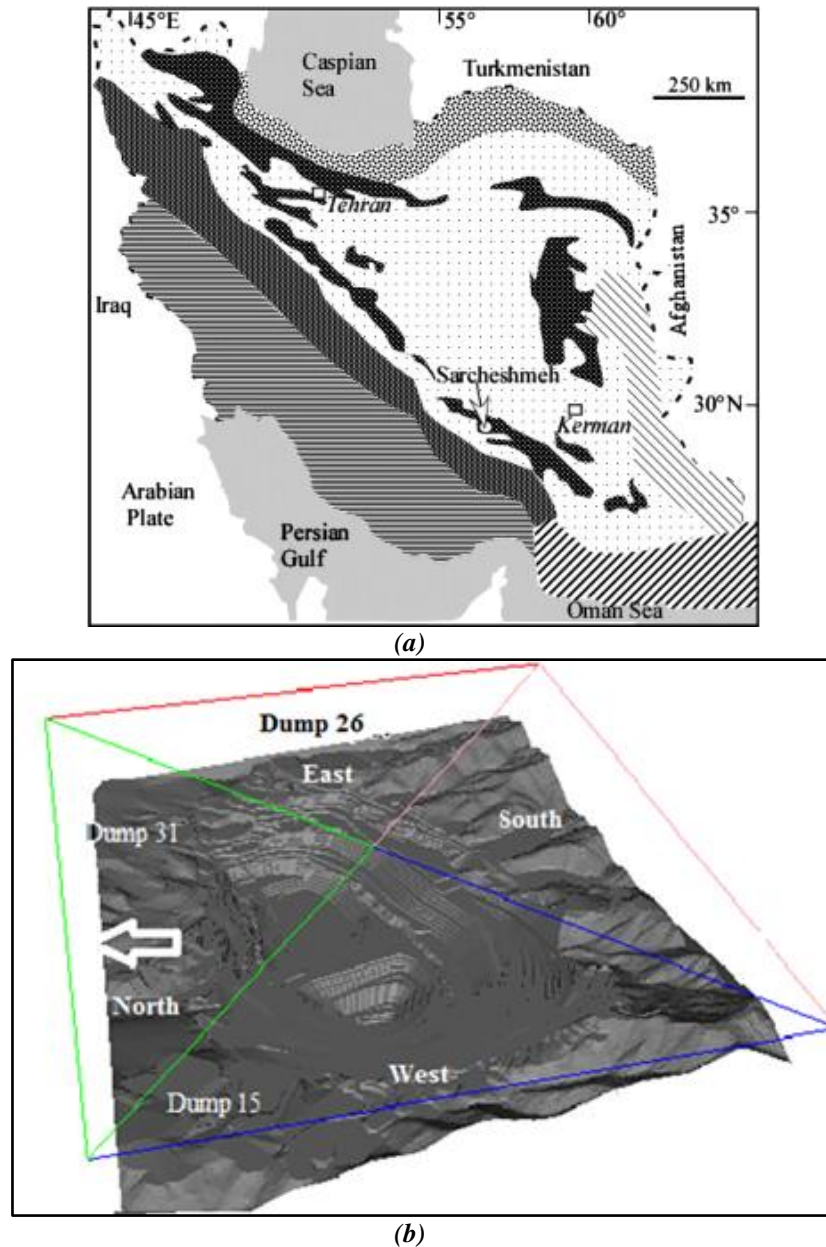


Figure 1. (a) Sarcheshmeh porphyry copper deposit[1]. (b) In-pit mine shape and locations of alternatives.

Criteria that were used to evaluate the alternatives were selected considering the recent literature and expert opinions. The list of experts with their careers, role position, field, and education are as follows:

- Two mine engineers, a specialist in mineral processing, exploration, and excavation, with a bachelor's degree in mining.
- One geologist, a specialist in environmental protection and education, with a bachelor's degree in geology.
- One civil engineer, a specialist in road and bridge construction, with a master's degree in civil engineering.
- One industrial engineering, a specialist in production and quality control, with a bachelor's degree in industrial engineering.
- One mechanical engineer, a specialist in metallurgy, with a bachelor's degree in mechanical engineering.

- Project manager, a specialist in energy management, with a Ph.D. degree in management.

The procedure of criteria selection are as follows:

First, each expert listed the parameters that appear to be important (according to his point of view) in the decision-making approach. Later, after several meetings and brainstorming the final parameters were selected. 4 main criteria were selected in the first phase. They were technical, economical, environmental, and geological. In the second phase, each main criterion was divided into several sub-criteria. The most important and significant criteria were the ones that affected decision-making based on experts' analysis. Criteria included both quantitative and qualitative data that support the objective of the final location selected by the MCDM model.

Lastly, the AHP method was used to obtain the final weights of each criterion by applying a pairwise comparison. Before applying this critical step, experts rank each criterion according to Saaty's important scale (value from 1 to 9). A matrix was developed base on the geometric mean value of the expert opinions, that show the importance of each criterion compares to others. This process is done two times, once for the FAHP method and once for the TOPSIS method. Each criterion is divided into two indicators (index effect), positive and negative based on its characteristics. Moreover, each criterion has its weight considering the level of effect for location selection. The information regarding each criterion is summarized in Table 1. Besides, experts graded alternatives concerning each criterion from 1 to 9 (1 is the least score and 9 is the highest one).

Fig.2 and 3 show the classification of the primary criteria and subcriteria. Four locations (as alternatives) are selected as potential spots where are located in the North, South, East, and West sides of sarcheshmeh mine. Fig.1(b) depicts the schematic structure of the Sarcheshmeh copper mine and alternatives locations. The plant layout of the mine and 4 alternative locations are illustrated in that figure.

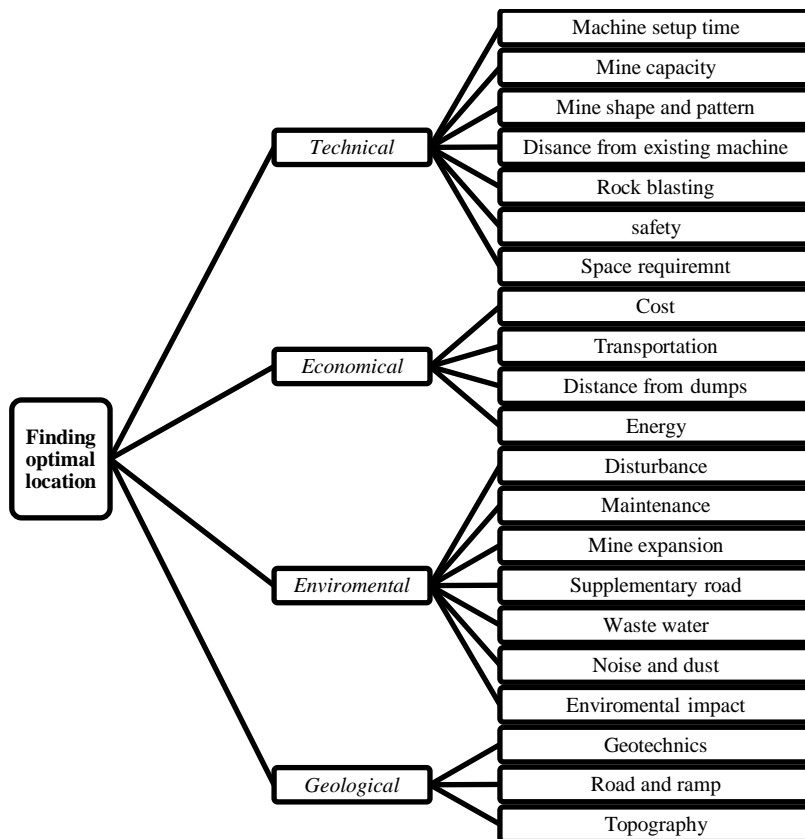


Figure 2. Model structure for criteria. and sub-criteria.

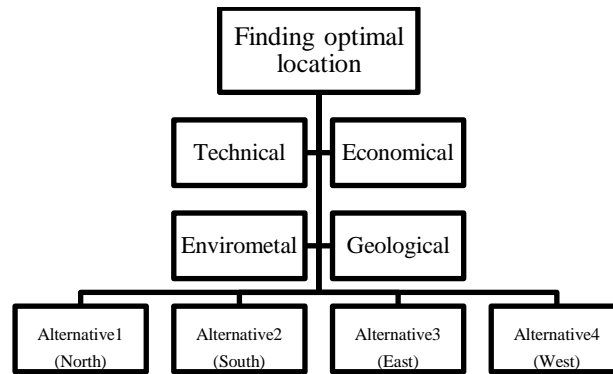


Figure 3. Main criteria and potential alternatives.

Table 1. Criteria weight and indicator.

Criteria	Index effect	Criteria	Index effect
Mine capacity	Positive	Space requirement	Positive
Cost	Negative	Safety	Positive
Geotechnics	Positive	Mine shape and pattern	Positive
Transportation	Negative	Supplementary road	Positive
Road and ramp	Positive	Distance from dumps	Positive
Topography	Positive	Setup time	Negative
Rock blasting	Negative	Mine expansion	Positive
Energy	Positive	Wastewater	Negative
Disturbance	Negative	Environmental impact	Negative
Noise and dust	Negative	Distance From Existing machine	Positive
Maintenance	Negative		

III. METHODOLOGY AND COMPUTATIONAL RESULTS

This study represents the findings of an analysis, which is used two different MCDM techniques: Fuzzy AHP (FAHP) and TOPSIS to optimize the stone crusher machine and landfill location selection. In the first step, FAHP was used as a pairwise comparison to find the optimum location for the stone crusher. After extraction and crushing stone ore, the waste must be collected and deposited somewhere close to the mine. At this point, TOPSIS via a combination of Shannon Entropy weighting was utilized to find the best location for landfills and waste.

A. FAHP METHOD

Being a very well-known methodology, AHP is frequently used in cases where expert opinion guides the decision-makers in finding the optimal solution. Since the expert opinion are based on experts' professional experience or their subjective judgments, they are assumed to be non-objective. In cases where subjective evaluations take place in the model, implementing fuzzy logic to the analysis can eliminate imprecision and ambiguity. Fuzzy logic also gives effective results where linguistic evaluations are used.

Fuzzy AHP (FAHP) was introduced in Laarhoven ve Pedrycz (1983)'s study, where triangular fuzzy numbers are applied to the model to find fuzzy weights and to identify fuzzy evaluations [42]. Since the first attempts of FAHP, the methodology has been frequently used in many areas. Mardani et al. (2015) present a literature survey on fuzzy MCDM, where they stated that FAHP has been used more than other decision-making algorithms within two decades [43]. More detailed fuzzy MCDM and FAHP applications can be found in Mardani et al. (2015) [43].

Apart from other applications of FAHP, location selection problems are using FAHP in achieving a reasonable solution. Carlsson and Walden (1995) used FAHP in determining the optimal location of a

new ice-hockey arena in Finland [44]. Chou et al. (2008) determined the optimal location for international tourist hotels in Taiwan by using FAHP [44]. Kuo et al. (2002) proposed a decision making model for selecting convenience store locations by combining FAHP and ANP [45]. In the study, weights of evaluations are calculated by FAHP. In a work by Ka (2011), FAHP and ELECTRE are used in defining a scientific location model of dry ports in China. In a case study from India [46], Choudhary and Shankar (2012) proposed FAHP to select the optimal location of the thermal power plant [47]. Ozgen and Gulsun (2014) integrated a two-phase possibilistic linear programming model by FAHP to find the optimal solution for multiple facility location selection problems [48]. One of the most recent studies is done by Du and Wang (2018), where the optimal location of monitoring sites is determined by FAHP and compared the results with AHP conclusions [49].

A. 1. Location Selection By Using FAHP

After determining the alternative locations for the problem, each alternative should be evaluated under each sub-criteria. During this process, experts' opinions are taken into consideration. Since experts' opinions are affected by their professional experiences or personal assessments, the evaluations are considered subjective judgments. Apart from this, in some cases, the evaluations may be done by linguistic scales. The imprecision that occurred in such cases may be eliminated by fuzzy logic. Although fuzzy logic does not aim to find an optimal solution, it may lead to noteworthy solutions. FAHP method used in this study is proposed by Chang in 1996, where pairwise comparisons are converted to triangular fuzzy numbers, because of their simplicity and linearity [50]. As the initial step, the scale used in pairwise comparison to identify the most important criteria is fuzzified. Likewise, the reciprocal of each evaluation is fuzzified, as given in Table 2.

Table 2. 1-9 FAHP Scale for pairwise comparison.

Importance of i Relative to j	Crisp value	Triangular fuzzy scale	Triangular fuzzy reciprocal scale
Equally important	1	(1,1,1)	(1,1,1)
	2	(1/2,3/4,1)	(1,4/3,2)
Slightly more important	3	(2/3,1,3/2)	(2/3,1,3/2)
	4	(1,3/2,2)	(1/2,2/3,1)
Moderately more important	5	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)
	6	(2,5/2,3)	(1/3,2/5,1/2)
More important	7	(5/2,3,7/2)	(2/7,1/3,2/5)
	8	(3,7/2,4)	(1/4,2/7,1/3)
Most important	9	(7/2,4,9/2)	(2/9,1/4,1/7)

In the first step of the fuzzy analysis, a fuzzy set (e.g. fuzzy set A) is set with its membership function ($\mu_A(x)$), to demonstrate the level of possibility of fuzzy number x, which represents its belonging to set A. The membership function of a triangular fuzzy number x is specified with upper, mean, and lower values of x, introduced respectively as (u, m, l).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)}, & l \leq x \leq m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)}, & m \leq x \leq u \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Chang's (1996) extent of the method, used in this research, is summed up as follows;

let $X=\{x_1, \dots, x_n\}$ be the object set and $U=\{u_1, \dots, u_n\}$ be the objective (goal) set.

Considering each object (g_i) and performing the level evaluation for each goal, m extent analysis values, represented by, $Y=1, \dots, m$ and $i=1, \dots, n$ are defined. Note that $M_{g_i}^y$ be a triangular fuzzy number, for all

members that are demonstrated below. Chang's extent analysis relies on fuzzy synthetic (S_i) values as given below:

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

The value of $\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j$ is computed with using fuzzy arithmetical calculations, as below;

$$\sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j \right) \quad (2)$$

Next, in order to calculate the value of $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1}$, Equation (3) is calculated by using fuzzy arithmetic as;

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad (3)$$

Calculating the inverse vector is the next step,

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{g_i}^j \right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (4)$$

For $j=1, \dots, n$ and $i \neq j$, the level of possibility of $M_1=(l_1, m_1, u_1) \geq M_2=(l_2, m_2, u_2)$ is computed as,

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

let $d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_j)$. where;

$$\begin{aligned} & V(M \geq M_1, M_2, \dots, M_K) = \\ & V[M \geq M_1] \text{ and } [M \geq M_2] \text{ and } \dots \text{ and } [M \geq M_K] \\ & = \min V(M \geq M_i), i = 1, 2, 3, \dots, k. \end{aligned}$$

And the normalized vector is $W^=(d^-(A_1), d^-(A_2), \dots, d^-(A_n))^T$

Depending on the experts' evaluations, the matrices for fuzzy pairwise comparison are calculated in Appendix 1. For each criterion, alternatives are evaluated by experts and fuzzy assessments are achieved. Table 3 presents the results of crisp (non-fuzzy) weights for alternatives under each criterion, and weights of criteria.

Table 3. criteria weights concerning each alternative and weights of criteria.

Criteria	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	Weight
C ₁	0.926	0.000	0.074	0.000	0.162
C ₂	0.258	0.249	0.245	0.249	0.188
C ₃	0.250	0.250	0.25	0.250	0.099
C ₄	0.00	0.149	0.516	0.335	0.147
C ₅	0.250	0.250	0.25	0.25	0.140
C ₆	0.160	0.259	0.267	0.313	0.118
C ₇	0.000	0.289	0.435	0.276	0.147
C ₈	0.760	0.240	0.000	0.000	0.290
C ₉	0.439	0.282	0.155	0.123	0.258
C ₁₀	0.000	0.000	0.604	0.396	0.258
C ₁₁	0.250	0.250	0.250	0.250	0.194
C ₁₂	0.295	0.25	0.205	0.250	0.125
C ₁₃	0.318	0.294	0.199	0.189	0.256
C ₁₄	0.020	0.195	0.604	0.181	0.308
C ₁₅	0.295	0.250	0.205	0.250	0.125
C ₁₆	0.225	0.278	0.273	0.225	0.059
C ₁₇	0.250	0.250	0.25	0.250	0.059
C ₁₈	0.421	0.193	0.193	0.193	0.067
C ₁₉	0.421	0.193	0.193	0.193	0.184
C ₂₀	0.001	0.147	0.516	0.335	0.408
C ₂₁	0.255	0.255	0.236	0.255	0.408

Table 4. Final scores for alternatives.

Alternative	Score
A ₁	0.2647
A ₂	0.2084
A ₃	0.3019
A ₄	0.2249

At the final step, scores for four alternatives are calculated and the results are given in Table 4. In accordance with the outcome, alternative 3 has the highest score, where alternative 1 is placed in the second order.

A. 1. Sensitivity analysis of FAHP method

Sensitivity analysis for fuzzy AHP is conducted by creating different scenarios. In the first scenario (S1), the weights for all criteria are assumed as equal (1/21 each) and the results are compared with the first results. As seen in S1 column of Table 5, the order of alternatives is same as the first results. In the next scenario (S2), only the criteria with the highest weights (C₂₀ and C₂₁) are considered. The weights of C₂₀ and C₂₁ are assumed be 0.5 each and the rest are assumed as zero. S2 column of Table 5 presents the results, where it can be seen that the scenario did not alter the best alternative. In the third scenario (S3), the criteria with the lowest weights (C₁₆ and C₁₇) are excluded and the remaining criteria are weighted equally. The results are given in S3 column of Table 5, where alternative 3 is once again placed in the first order. In the fourth scenario (S4), 21 criteria are grouped in equally weighted four classes

and it is assumed that the criteria in each group are also of equal weight. Results are presented in S4 column of Table 5 where it can be seen that the best alternative did not alter and the ranking of criteria is very similar to previous scenarios. Since changes in weights did not influence the best alternative, fuzzy AHP can be robustly used in cases of uncertainty.

Table 5. Sensitivity analysis for fuzzy AHP.

Alternative	S1	S2	S3	S4
A ₁	0.2759	0.1279	0.2799	0.2780
A ₂	0.2154	0.2009	0.2103	0.2105
A ₃	0.2819	0.3758	0.2840	0.2834
A ₄	0.2268	0.2949	0.2257	0.2280

A. 2. Integration Of Shannon Entropy And TOPSIS Method

In this section, an extension of the TOPSIS approach that integrates objective and subjective weight was proposed for final weight calculations. Therefore, it not only benefits decision-makers but also it is possible to consider other subjective factors into the decision-making process. In this innovative approach, the final weight will be more accurate, and it is up to the weighted average of experts and Shannon Entropy weights.

The Shannon Entropy method was introduced by Shannon in 1948, the method can be presented as follows [2]:

S.1: Creating a decision-making matrix D , which consists of M choices (A_i for $i=1, \dots, M$) and N criteria (C_j for $j=1, \dots, N$). The below matrix (equation 6) is presented the decision matrix.

$$D = \begin{bmatrix} s_{11} & \dots & s_{1N} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ s_{M1} & \dots & s_{MN} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Which d_{ij} is rating of choice i in criterion j .

S. 2: In this step to determine the weights of Shannon Entropy, a normalized decision matrix is calculated for each criterion C_j .

$$n_{ij} = \frac{s_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m s_{ij}}}, \quad i=1, \dots, M, \quad j=1, \dots, N \quad (7)$$

S. 3: Calculating entropy value e_j as follows:

$$e_j = -k \sum_{j=1}^N n_{ij} \ln(n_{ij}) \quad (8)$$

where k is a constant number and can be defined as $k = (\ln(m))^{-1}$.

S. 4: d_j is the degree of divergence of each criterion, which is equal to $1 - e_j$. The higher d_j indicates the more important criterion.

S. 5: The final weight for each criterion is computed as follows:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{k=1}^N d_k} \quad (9)$$

After calculating the subjective weight of each criterion based on Shannon Entropy, it is possible to get a final weight for each criterion by integrating it to objective weights (decision-makers rating). The final weight is calculated by taking the average weight of objective and subjective weights. The final weight for each criterion was calculated based on the discussed steps before and they are written in appendix 2 (table A.1). Then the TOPSIS method was used for pair comparison between choices.

A.2.1. TOPSIS method

TOPSIS method was introduced by Hwang and Yoon (1981) to solve MCDM problems. The method tries to find the best possible choices which are closest to the positive ideal solution and farthest from the negative ideal solution [3]. TOPSIS evaluating procedure was performed as follows:

S. 1: Developing the decision matrix X that rates each alternative concerning criteria. In matrix X, m shows the number of rows and n represents the number of columns.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

S. 2: Developing the normalized decision matrix R.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m x_{ij}^2}}$$

where r_{ij} denotes the normalized value for $i=(1, \dots, m); j=(1, \dots, n)$. (11)

S. 3: Developing the weighted normalized decision matrix.

$$W = [w_1 \quad \dots \quad w_m] \quad V = W \times R = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ v_{m1} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}. \quad v_{ij} = w_{ij} \times r_{ij} \text{ for } i=(1, \dots, m); j=(1, \dots, n)$$

Where w_{ij} is the weight of j^{th} criterion. (12)

S. 4: Negative and positive ideal solutions where calculated.

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} \quad A^+ = \{v_1^+, \dots, v_n^+\} \quad (13)$$

Where A^- stands for the negative ideal solution, and A^+ stands for the positive ideal solution.

S. 5: Computing the distance from the positive ideal solution (A^+) and negative ideal solution (A^-).

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i = 1, \dots, m \quad (14)$$

Where D_i^+ indicates the distance between the i^{th} alternative and the positive ideal solution, and D_i^- indicates the distance between the negative ideal solution and the i^{th} alternative.

S. 6: The C_i that is relative closeness for each alternative was calculated and then the alternatives were ranked respectively.

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (15)$$

Finally, an alternative, which had the highest relative closeness, was selected as the best alternative. Table A.1 in Appendix 2 represents experts' evaluation scores for four alternatives for each criterion for landfill selection analysis, the matrix was constructed according to Table A.2 (normalized decision matrix) and Table A.3 (weighted normalized decision matrix) in the appendix. After calculating the positive and negative ideal solutions (see Table A.4 in Appendix 2), the distance from a negative ideal solution, the positive ideal solution, and the rank for each alternative were computed and illustrated in Table 6. Following the findings, it is possible to conclude that the best location for landfills is alternative 1 (dump 31) which is located on the north side of the Sarcheshmeh mine.

Table 6. Landfill location selection.

i	D_i^+	D_i^-	Alternative	Ranking score	Ranking order
1	0.041	0.114	A ₁	0.805	BEST
2	0.110	0.022	A ₂	0.168	4th
3	0.100	0.049	A ₃	0.330	2nd
4	0.109	0.050	A ₄	0.314	3rd

A. 3. Sensitivity analysis of TOPSIS method

Previous studies on sensitivity analysis of MCDM problems often focus on determining the most sensitive criteria or focused on finding the least value of change [53]. In this section, a new method for sensitivity analysis is considered that calculates the changing in the final score of alternatives when a change occurs in the weight of criteria. The following steps were used to find the new weight for the criteria [54].

S.1: Change the weight of criterion k (K=1,..., n and n=13 in this study) from W_k to W_k^* , namely, $W_k^* = \alpha W_k$, where α is the initial variation ratio of W_k which is a positive number.

S.2: Compute the new weights of criteria $W_1^*, W_2^*, \dots, W_n^*$ using the below formula:

$$\left\{ \begin{array}{l} w_1^* = \frac{w_1}{w_1+w_2+\dots+w_k^*+\dots+w_n} \\ w_2^* = \frac{w_2}{w_1+w_2+\dots+w_k^*+\dots+w_n} \\ \vdots \\ w_n^* = \frac{w_n}{w_1+w_2+\dots+w_k^*+\dots+w_n} \end{array} \right. \tag{16}$$

Finally, after computing all weights it is possible to find the score for each alternative. In this section, different scenarios were considered for the sensitivity analysis. The summary of sensitivity analysis was shown in Table 7. Different scenarios were considered to see how the order of alternative would be changed when the weight of criteria was manipulated.

Table 7. Sensitivity analysis of TOPSIS technique.

Weights	Scenario								
	Initial weight	1	2	3*	4*	5	6	7	8
W ₁	0.20	0.08	0.40	0.13	0.13	0.17	0.17	0.00	0.36
W ₂	0.15	0.08	0.11	0.10	0.10	0.13	0.13	0.00	0.27
W ₃	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.11	0.00
W ₄	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.11	0.00
W ₅	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.11	0.00
W ₆	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.00	0.09
W ₇	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.00	0.09
W ₈	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.04	0.20	0.11	0.00
W ₉	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.11	0.00
W ₁₀	0.10	0.08	0.07	0.40	0.07	0.08	0.08	0.22	0.00
W ₁₁	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.00	0.09
W ₁₂	0.05	0.08	0.04	0.03	0.03	0.20	0.04	0.00	0.09
W ₁₃	0.10	0.08	0.07	0.07	0.40	0.08	0.08	0.22	0.00
Alternative order									
Best	A ₁ =0.805	A ₁ =0.716	A ₁ =0.888	A ₂ =0.717	A ₂ =0.687	A ₁ =0.805	A ₁ =0.824	A ₁ =0.670	A ₁ =0.866
2nd	A ₃ =0.330	A ₂ =0.487	A ₂ =0.226	A ₁ =0.698	A ₁ =0.588	A ₂ =0.386	A ₂ =0.348	A ₂ =0.645	A ₂ =0.236
3rd	A ₄ =0.314	A ₄ =0.418	A ₄ =0.133	A ₄ =0.308	A ₄ =0.243	A ₄ =0.231	A ₄ =0.281	A ₄ =0.442	A ₃ =0.126
4th	A ₂ =0.168	A ₃ =0.290	A ₃ =0.099	A ₃ =0.083	A ₃ =0.092	A ₃ =0.176	A ₃ =0.158	A ₃ =0.257	A ₄ =0.117

In the first scenario, for convenience, the initial weights were assumed to be $1/n$, where n is the number of criteria selected for assessment ($n = 13$). As demonstrated in Table 7 best alternative was not changed but the order of the second, third and fourth alternatives was changed. In the second scenario, the weight of the first criterion (C_1 , Cost) was increased from 0.1 to 0.4 to see how the result would be changed if cost becomes the most important criterion. The results showed that the score of the alternatives change however alternative 1 is still the best alternatives.

In the 3rd and 4th scenarios, the weight of criterion 10 (C_{10} , closeness to other machines) and criterion 13 (C_{13} , closeness to existing dumps) were increased from 0.1 to 0.4 respectively. In both cases, the best alternatives changed and alternative 2 became the best alternatives.

In scenarios 5 and 6, the weight of C_8 (safety) and C_{12} (environmental effect) was increased from 0.05 to 0.2. The result revealed that the best alternative is still A_1 .

To be more innovative, in scenarios 7 and 8 several criteria were eliminated to see how the result would be changed. In scenario 7 the criteria (C_1 , C_2 , C_6 , C_7 , C_{11} , and C_{12}) that have a negative effect were eliminated and in scenario 8 the criteria (C_3 , C_4 , C_5 , C_8 , C_9 , C_{10} , and C_{13}) that have a positive effect were eliminated. In both cases, the A_1 remained the best alternative. After this analysis, it is possible to conclude that the result is sensitive to the weight of criteria 10 and 13 which are closeness to other machines and closeness to existing dumps.

IV. CONCLUSION

Location selection is an important issue in mining. An optimal location can improve productivity and minimize total cost. This study proposes a model to find the optimal locations for a stone crusher machine and landfill (waste) located in Sarcheshmeh mine in southern region of Iran. Because of the complexity of the problem, two MCDM methods (FAHP and Integration of Shannon Entropy And TOPSIS) were utilized. To perform the analysis, four main criteria (technical, economical, environmental and operational, and geological factors) and 21 sub-criteria were applied considering the literature review and expert judgments. 21 criteria were used in evaluating the given alternatives for stone crusher machine location selection, and 13 criteria were used for evaluating the alternatives for landfill selection. Geographical Information System (GIS) tool was used to choose four potential alternatives (North, South, East, and West sides of the mine) and it was done according to the primary investigation and analysis done by geomatic and civil engineers.

The methodology and computational analysis were separated into two main parts. In the first part, the FAHP technique was used to find the best location for the new stone crusher machine, and then, a sensitivity analysis was performed to examine the sensitivity of alternatives to the weights of each criterion. The analysis showed that alternative 3 (East side of the mine) has the highest score, while alternative 1 (North side of the mine) was placed in the second order. Sensitivity analysis for fuzzy AHP was conducted using four different scenarios. In each scenario, the weights of criteria were changed, however, the best alternative did not alter, and the ranking of criteria was very similar to previous scenarios. Since changes in weights did not influence the best alternative, fuzzy AHP can be robustly used in cases of uncertainty.

In the second part, the TOPSIS method in combination with Shannon entropy was used to find the best location for allocating stone crusher waste. After calculating the subjective weight of each criterion based on Shannon Entropy, the final weight was calculated by taking the average weight of objective (experts) and subjective weights. Following the findings, it was possible to conclude that the best location for landfills was alternative 1 (dump 31) which was located on the north side of the Sarcheshmeh mine. Lastly, a sensitivity analysis was considered to observe the changes in the final score of alternatives when a change occurred in the weight of criteria. 8 different scenarios were considered to see how the order of alternative would be changed when the weight of criteria was manipulated. In the 3rd and 4th scenarios, the weight of criterion 10 (C_{10}) and criterion 13 (C_{13}) were increased from 0.1 to 0.4, respectively and in both cases, the best alternatives changed and alternative 2 (new dump) became the best alternatives. In other scenarios, the best alternative did not alter, and the ranking of criteria was very similar to each other. After this analysis, it was possible to conclude that the result was sensitive to the weight of criteria 10 and 13 (Closeness to other machines and existing dumps).

In future studies, the proposed model can be improved by adding more various criteria which affect the evaluation as well. In addition, different hybrid techniques such as fuzzy TOPSIS or other MCDM techniques (such as VIKOR, ANP, and PROMETHEE) can be considered for comparison of alternatives.

ACKNOWLEDGEMENTS: We would like to express our sincere thanks to industrial and mine engineers in Sarcheshmeh copper mine for the valuable information which helped us through the research.

V. REFERENCES

- [1] I. Alavi, "Fuzzy AHP method for plant species selection in mine reclamation plans: Case study sungun copper mine," *Iran. J. Fuzzy Syst.*, vol. 11, no. 5, pp. 23–38, 2014.
- [2] M. Salles, "Decision making in SMEs and information requirements for competitive

intelligence,” *Prod. Plan. Control*, vol. 17, no. 3, pp. 229–237, 2006.

[3] İ. Ertuğrul and N. Karakaşoğlu, “Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 39, no. 7, pp. 783–795, 2008.

[4] A. Budak and A. Ustundag, “Fuzzy decision making model for selection of real time location systems,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 36, pp. 177–184, 2015.

[5] M. Erdogan and I. Kaya, “A combined fuzzy approach to determine the best region for a nuclear power plant in Turkey,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 39, pp. 84–93, 2016.

[6] J. M. Sánchez-Lozano, M. S. García-Cascales, and M. T. Lamata, “Evaluation of suitable locations for the installation of solar thermoelectric power plants,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 87, pp. 343–355, 2015.

[7] R. Chakraborty, A. Ray, and P. K. Dan, “Multi criteria decision making methods for location selection of distribution centers,” *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 4, no. 4, pp. 491–504, 2013.

[8] A. H. Bangian, M. Ataei, A. Sayadi, and A. Gholinejad, “Optimizing post-mining land use for pit area in open-pit mining using fuzzy decision making method,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 613–628, 2012.

[9] M. Erdoğan and I. Kaya, “An integrated multi-criteria decision-making methodology based on type-2 fuzzy sets for selection among energy alternatives in Turkey,” *Iran. J. Fuzzy Syst.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–25, 2015.

[10] A. Mardani, A. Jusoh, K. M. D. Nor, Z. Khalifah, N. Zakwan, and A. Valipour, “Multiple criteria decision-making techniques and their applications - A review of the literature from 2000 to 2014,” *Econ. Res. Istraz.*, vol. 28, no. 1, pp. 516–571, 2015.

[11] D. Golmohammadi and M. Mellat-Parast, “Developing a grey-based decision-making model for supplier selection,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 137, no. 2, pp. 191–200, 2012.

[12] C. Ram, G. Montibeller, and A. Morton, “Extending the use of scenario planning and MCDA for the evaluation of strategic options,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 62, no. 5, pp. 817–829, 2011.

[13] G. T. Temur, “A novel multi attribute decision making approach for location decision under high uncertainty,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 40, pp. 674–682, 2016.

[14] E. K. Zavadskas, Z. Turskis, and S. Kildienė, “State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods,” *Technol. Econ. Dev. Econ.*, vol. 20, no. 1, pp. 165–179, 2014.

[15] R. Z. Farahani, M. SteadieSeifi, and N. Asgari, “Multiple criteria facility location problems: A survey,” *Appl. Math. Model.*, vol. 34, no. 7, pp. 1689–1709, 2010.

[16] C. T. Lin and M. C. Tsai, “Location choice for direct foreign investment in new hospitals in China by using ANP and TOPSIS,” *Qual. Quant.*, vol. 44, no. 2, pp. 375–390, 2010.

[17] K. Devi and S. P. Yadav, “A multicriteria intuitionistic fuzzy group decision making for plant location selection with ELECTRE method,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 66, no. 9–12, pp. 1219–1229, 2013.

[18] P. Wang, Z. Zhu, and Y. Wang, “A novel hybrid MCDM model combining the SAW, TOPSIS and GRA methods based on experimental design,” *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 345, pp. 27–45, 2016.

- [19] M. Shaverdi, I. Ramezani, R. Tahmasebi, and A. A. A. Rostamy, "Combining Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS with Financial Ratios to Design a Novel Performance Evaluation Model," *Int. J. Fuzzy Syst.*, vol. 18, no. 2, pp. 248–262, 2016.
- [20] Z. Hussain and M. S. Yang, "Entropy for Hesitant Fuzzy Sets Based on Hausdorff Metric with Construction of Hesitant Fuzzy TOPSIS," *Int. J. Fuzzy Syst.*, vol. 20, no. 8, pp. 2517–2533, 2018.
- [21] F. Samanlioglu, Y. E. Taskaya, U. C. Gulen, and O. Cokcan, "A Fuzzy AHP–TOPSIS-Based Group Decision-Making Approach to IT Personnel Selection," *Int. J. Fuzzy Syst.*, vol. 20, no. 5, pp. 1576–1591, 2018.
- [22] Saaty T.L., *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [23] T. L. Saaty, "Decision making — the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP/ANP)," *J. Syst. Sci. Syst. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–35, 2004.
- [24] J. Korpela and M. Tuominen, "A decision aid in warehouse site selection," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 45, no. 1–3, pp. 169–180, 1996.
- [25] J. Yang and H. Lee, "An AHP decision model for facility location selection," *Facilities*, vol. 15, no. 9/10, pp. 241–254, 1997.
- [26] M. A. Badri, "Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 62, no. 3, pp. 237–248, 1999.
- [27] P. Alberto, "The Logistics of Industrial Location Decisions: An Application of the Analytic Hierarchy Process Methodology," *Int. J. Logist. Res. Appl. A Lead. J. Supply Chain Manag.*, vol. 3, no. 3, pp. 273–289, 2000.
- [28] S. Y. Roh, H. M. Jang, and C. H. Han, "Warehouse location decision factors in humanitarian relief logistics," *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 29, no. 1, pp. 103–120, 2013.
- [29] O. S. Vaidya and S. Kumar, "Analytic hierarchy process: An overview of applications," *European Journal of Operational Research*, vol. 169, no. 1, pp. 1–29, 2006.
- [30] S. Önüt and S. Soner, "Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment," *Waste Manag.*, vol. 28, no. 9, pp. 1552–1559, 2008.
- [31] G. Wang, L. Qin, G. Li, and L. Chen, "Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: A case study in Beijing, China," *J. Environ. Manage.*, vol. 90, no. 8, pp. 2414–2421, 2009.
- [32] P. V. Gorsevski, K. R. Donevska, C. D. Mitrovski, and J. P. Frizado, "Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average," *Waste Manag.*, vol. 32, no. 2, pp. 287–296, 2012.
- [33] K. Hwang, Ching-Lai, Yoon, *Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications. A State-of-the-Art Survey*. Springer Berlin Heidelberg, 1981.
- [34] C.-L. Hwang, Y.-J. Lai, and T.-Y. Liu, "A new approach for multiple objective decision making," *Comput. Oper. Res.*, vol. 20, no. 8, pp. 889–899, Oct. 1993.
- [35] S. Beheshtifar and A. Alimoahmadi, "A multiobjective optimization approach for location-allocation of clinics," *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 22, no. 2, pp. 313–328, 2015.

- [36] L. Anojkumar, M. Ilankumaran, and V. Sasirekha, "Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 6, pp. 2964–2980, 2014.
- [37] U. Di Matteo, P. M. Pezzimenti, and A. A. D., "Methodological proposal for optimal location of emergency operation centers through multi-criteria approach," *Sustain.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [38] P. P. Kalbar, S. Karmakar, and S. R. Asolekar, "Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach," *J. Environ. Manage.*, vol. 113, pp. 158–169, 2012.
- [39] C. Rao, M. Goh, Y. Zhao, and J. Zheng, "Location selection of city logistics centers under sustainability," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 36, pp. 29–44, 2015.
- [40] A. Awasthi, S. S. Chauhan, and S. K. Goyal, "A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty," *Math. Comput. Model.*, vol. 53, no. 1–2, pp. 98–109, 2011.
- [41] M. Boomeri, K. Nakashima, and D. R. Lentz, "The Sarcheshmeh porphyry copper deposit, Kerman, Iran: A mineralogical analysis of the igneous rocks and alteration zones including halogen element systematics related to Cu mineralization processes," *Ore Geol. Rev.*, vol. 38, no. 4, pp. 367–381, 2010.
- [42] P. J. M. van Laarhoven and W. Pedrycz, "A fuzzy extension of Saaty's priority theory," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 11, no. 1–3, pp. 229–241, 1983.
- [43] A. Mardani, A. Jusoh, and E. K. Zavadskas, "Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications - Two decades review from 1994 to 2014," *Expert Syst. Appl.*, vol. 42, no. 8, pp. 4126–4148, 2015.
- [44] J. Yang and H. Lee, "Facilities An AHP decision model for facility location selection," *Facil. Int. J. Oper. & Prod. Manag. Iss.*, vol. 15, no. 22, pp. 241–254, 1997.
- [45] R. J. Kuo, S. C. Chi, and S. S. Kao, "A decision support system for selecting convenience store location through integration of fuzzy AHP and artificial neural network," *Comput. Ind.*, vol. 47, no. 2, pp. 199–214, 2002.
- [46] B. Ka, "Application of Fuzzy AHP and ELECTRE to China Dry Port Location Selection," *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 27, no. 2, pp. 331–353, 2011.
- [47] D. Choudhary and R. Shankar, "An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India," *Energy*, vol. 42, no. 1, pp. 510–521, 2012.
- [48] D. Ozgen and B. Gulsun, "Combining possibilistic linear programming and fuzzy AHP for solving the multi-objective capacitated multi-facility location problem," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 268, pp. 185–201, 2014.
- [49] X. Du and Z. Wang, "Optimizing monitoring locations using a combination of GIS and fuzzy multi criteria decision analysis, a case study from the Tomur World Natural Heritage site," *J. Nat. Conserv.*, vol. 43, pp. 67–74, 2018.
- [50] D.-Y. Chang, "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 95, no. 3, pp. 649–655, 1996.
- [51] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 27, no. 4,

pp. 623–656, 1948.

[52] C.-L. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making*, vol. 186. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1981.

[53] A. Amini and A. Alinezhad, “Sensitivity Analysis of TOPSIS Technique: The Results of Change in the Weight of One Attribute on the Final Ranking of Alternatives,” *J. Optim. Ind. Eng.*, vol. 7, no. 2011, pp. 23–28, 2011.

[54] P. Li, H. Qian, J. Wu, and J. Chen, “Sensitivity analysis of TOPSIS method in water quality assessment: I. Sensitivity to the parameter weights,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 185, no. 3, pp. 2453–2461, 2013.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Ultrasound-Assisted One-Pot Synthesis of 9-(Substituted heteroaryl) acridinedione Derivatives

 Duygu BAYRAMOĞLU ^a,  Mehtap YAKUT ^{a,*}

^a Department of Chemistry, Faculty of Science, Ankara University, Ankara, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: mehtapyakut@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.926881

ABSTRACT

An efficient green approach for the synthesis of 9-heteroaryl-acridine-1,8-dione derivatives (**3a-f**) was accomplished *via* reactions of dimedone (**1**) with various heteroaromatic aldehydes (**2a-f**) and ammonium acetate through one-pot multicomponent reactions in water under mild conditions using ultrasound irradiation in excellent yields. Of the synthesized compounds, **3d-f** were novel and this process presents the advantages of high yields and easy work-up procedures. Spectral analyses were accomplished by FTIR, ¹H NMR, ¹³C NMR and LC-MS TOF analyses.

Keywords: Multicomponent reactions, Dihydropyridine, Heteroaromatic aldehydes, Dimedone, Ultrasound irradiation.

Ultrases Destekli 9-(Substitue heteroaril) akridindion Türevlerinin Tek Basamakta Sentezi

ÖZ

Bu çalışma ile 9-heteroaril akridin-1,8-dion türevlerinin (**3a-f**) sentezi için yeşil kimya yaklaşımını benimseyen etkili bir yöntem geliştirilmiştir. Dimedon'un (**1**), çeşitli heteroaromatik aldehitlerle (**2a-f**) amonyum asetat kullanılarak sulu ortamda ve tek kapta ultrases dalgaları ile reaksiyonları gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile ılıman koşullar altında, hedeflenen moleküller yüksek verimle elde edilmiştir. Ayrıca yöntemin kolay uygulanabilir olması ve deney sonrası işlemlerinin son derece basit olması en önemli çalışma avantajlarıdır. Sentezlenen bileşiklerden **3d-f** orijinal moleküller olup, elde edilen tüm ürünlerin karakterizasyonları FTIR, ¹H NMR, ¹³C NMR ve LC-MS TOF analizleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok bileşenli reaksiyonlar, Dihidropiridin, Heteroaromatik aldehitler, Dimedon, Ultrases

I. INTRODUCTION

Over the last decade, synthetic chemists are interested to develop kind of safer technologies to prevent the growing amounts of waste and toxic side products that consecutively lead to chemical pollution. For this purpose multicomponent reactions (MCRs) have received increasing attention in synthesis to provide establishing newer chemical transformations in a single step using simple, non-toxic, ecofriendly medium and readily available substrates without the isolation of any intermediates [1].

Acridinediones are a significant type of nitrogen-mediated heterocycles found in many complex compounds [2]. Acridine analogous possess a wide broad spectrum of pharmaceutical and biological activities. Among them, 1,8-dioxodecahydroacridines are a leading class of aza-heterocycles in which contain 1,4-dihydropyridine (1,4-DHP) core, which acts as fluorescent probes in bioanalytical chemistry and also used as potential drug candidates for the treatment of cardiovascular diseases [3], DNA intercalators, SIRT1 inhibitors, antitumor, calcium-channel blockers, antileukemic, antifungal, anticancer, anti-atherosclerotic and bronchodilator (Fig. 1.) [4-9]. Some of them are used in dye-sensitized solar cells and some are also used as laser dyes, chemosensors, and initiators in the photopolymerization process [10-13].

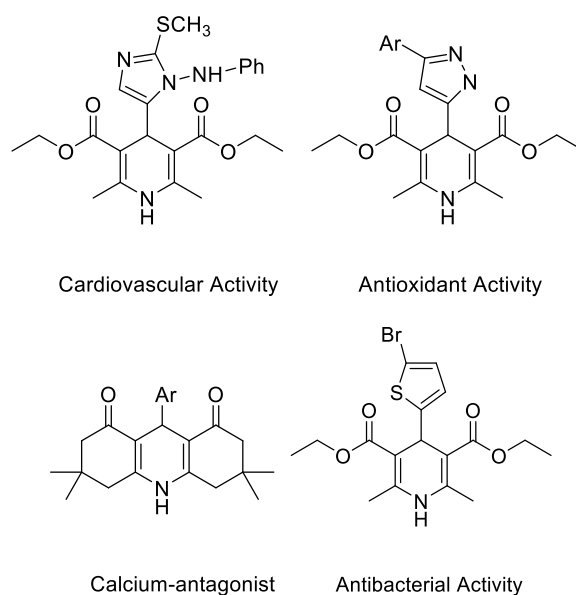


Figure 1. Structures of the most known biological active 1,4-dihydropyridine derivatives.

The multicomponent Hantzsch reaction is a prominent process for acridinediones involving thermal condensation reactions of several carbonyl groups and different nitrogen sources like urea, ammonium acetate and ammonium nitrate, etc. [14]. Since then several improved catalysts reported for the synthesis of 1,8-dioxodecahydroacridine derivatives are montmorillonit [15], β -cyclodextrin monosulphonic acid [16], CuI nanoparticles [17], citric acid/EtOH reflux [18], ionic liquids [19], $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [20], $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{SiO}_2\text{-PEG}/\text{NH}_2$ [21], $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{HT-SMTU-ZnII}$ [22], sulphonated sawdust (SD-OSO₃H) [23] in toxic/nontoxic solvents using microwave, ultrasound, reflux, and traditional heating methods [24, 25]. However, these methods have some disadvantages such as requiring expensive catalysts and their recovery and reusability, higher temperature, longer reaction time, cumbersome workup process and also lower yields. Therefore, it is still necessary to develop an environmentally benign, “green” synthetic procedures obtaining acridinediones using cost-effective, non-toxic starting materials, high yields, short reaction time, simple isolation of the product and eco-friendly clean processes. Hence, the use of sonochemical methods in organic synthesis has been evaluated as substantial steps to improve and accelerate the synthetically precious reactions. Ultrasound-assisted

reactions can be distinguished from the conventional synthetic methods by their potential to serve as an alternative pathway for various chemical reactions and also synthesizing the complex molecules with short reaction times and mild conditions [26-28].

Herein, we focused our attention to report a green protocol with an effective, easily operated, and convenient synthetic method for the synthesis of acridine-1,8-(2H,5H)-dione (**3a-f**) in water through a one-pot catalyst-free reaction of dimedone (**1**), heteroaromatic aldehydes (**2a-f**), and ammonium acetate under ultrasonic irradiation.

II. EXPERIMENTAL

A. PHYSICAL MEASUREMENTS AND MATERIALS FOR SYNTHESIS

Ultrasonication was performed in an Elmasonic S70 H with frequency of 50/60 Hz, 220-240 V and output power of 750 W and the whole of the reactions were conducted in a sonic bath. Structural identification of the compounds obtained was accomplished by following convenient analytical methods. Infrared spectra were recorded on a Perkin-Elmer Spectrum 100 Series FT-IR spectrometer. The FT-IR spectra were taken by KBr pellets or directly by ATR, in both using the average of 25 scans. ¹H-NMR spectra were obtained with a Varian Mercury-400 High-Performance Digital FT-NMR instrument (Mercury-400BB) and deuterated chloroform was used as solvent. Chemical shifts (δ) are expressed relative to tetramethylsilane (TMS). HRMS were recorded by LC-MS TOF electrospray ionization technique (Agilent Technologies 6230-A). Melting points (up to 350 °C) were determined using an Electrothermal IA9300 digital melting point apparatus and reported uncorrected (Bibby Scientific Limited, OSA, UK). Thin layer chromatography (TLC, Merck, 20×20, Silica Gel 60 F254) was used to monitor the progress of the experiments steadily.

B. GENERAL PROCEDURE FOR THE SYNTHESIS OF ACRIDINE-1,8-(2H,5H)-DIONE DERIVATIVES

A typical reaction was carried out in a 50 mL round bottom flask with a condenser, a mixture of aromatic aldehyde (1 mmol), dimedone (2 mmol), ammonium acetate (1 mmol), and water (8 mL) was added in to the flask and then irradiated to ultrasonication (a frequency of 50/60 Hz and a power of 750 W, 6.9 L) at 70°C for about 1 hour. The round bottom flask was placed at the center of the ultrasonic bath and the surface of the reactants in the flasks was placed slightly lower than the water level in the bath. After the completion of the reaction, the mixture was cooled to room temperature, filtered, and washed with 3x10 mL cold water. The solid products were then collected and purified by recrystallization using abs. ethanol.

B. 1. 3,3,6,6-Tetramethyl-9-(thiophen-2-yl)-3,4,6,7,9,10-hexahydroacridine 1,8-(2H,5H)-dione (3a)

White solid, yield: 97 %, m.p.:302°C (Lit m.p.:305-307°C [29]), FT-IR ($\nu_{\max}/\text{cm}^{-1}$, KBr): 2954, 2871, 1579, 1449, 1373, 1252, 1168, 1152, 1078, 1059, 868, 826, 789, 744, 698. ¹H-NMR (CDCl₃, 400 MHz) δ: 1.09 (s, 6H, CH₃), 1.22 (s, 6H, CH₃), 2.44-2.27 (m, 8H, CH₂), 5.63 (s, 1H, CH), 6.63 (t, 1H, J=3.6 Hz, CH), 6.86 (dd, 1H, J=8.8 Hz, J=3.6 Hz, CH), 7.1(d, 1H, J=4.8 Hz, CH), 12.31 (s, 1H, NH). ¹³C-NMR (CDCl₃, 400 MHz) δ: 189.89, 189.47, 143.69, 126.34, 124.53, 123.47, 115.95, 47.01, 46.24, 31.16, 30.40, 29.95, 26.75. HRMS (ESI⁺): calcd. for C₂₁H₂₅NO₂S calcd. 378.1503 [M+Na]⁺; found 378.1497 [M +Na]⁺.

B. 2. 3,3,6,6-Tetramethyl-9-(pyridin-4-yl)-3,4,6,7,9,10-hexahydroacridine-1,8-(2H,5H)-dione (3b)

White solid, yield: 86 %, m.p.:240-242 °C (Lit m.p.:245) [30-31], FT-IR ($\nu_{\max}/\text{cm}^{-1}$, KBr): 2957, 2883, 1620, 1586, 1497, 1410, 1362, 1260, 1167, 1141, 1038, 831, 723. $^1\text{H-NMR}$ [321] (CDCl_3 , 400 MHz) δ :1.21 (s, 6H, CH_3), 1.20 (s, 6H, CH_3), 2.37 (s, 4H, CH_2), 2.39 (s, 4H, CH_2), 5.44 (s, 1H, NH), 6.99 (dd, 2H, $J=3.2$, $J=1.2$ Hz, CH), 8.46 (dd, 2H, $J=6$ Hz, $J=1.2$ Hz, CH), 11.96 (s, 1H, NH). HRMS (ESI⁺): calcd. for $\text{C}_{22}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_2$ calcd. 373.1892 [M+Na]⁺; found 373.1883 [M +Na]⁺.

B. 3. 9-(9-Ethyl-9H-carbazol-3-yl)-3,3,6,6-tetramethyl-3,4,6,7,9,10-hexahydroacridine-1,8-(2H,5H)-dione (3c)

Orange solid, yield: 94 %, m.p.: 192-195 °C; (Lit m.p.:192-193°C [32]), FT-IR ($\nu_{\max}/\text{cm}^{-1}$, KBr): 2961, 1681, 1590, 1463, 1446, 1349, 1290, 1232, 1147, 1065, 901, 828, 806, 749, 736. $^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3 , 400 MHz) δ : 1.14 (s, 12H, CH_3), 1.41 (t, 3H, $J=7.1$ Hz, N- CH_2 - CH_3), 2.54-2.26 (m, 8H, CH_2), 4.32 (q, 2H, $J=7.2$ Hz, N- CH_2), 5.75 (s, 1H, CH), 7.44-7.14 (m, 5H, ArH), 7.82 (bs, 1H, CH), 7.92 (d, 1H, $J=7.6$ Hz, CH), 12.02 (s, 1H, NH). $^{13}\text{C-NMR}$ (CDCl_3 , 400 MHz) δ : 190.41, 189.50, 143.55, 140.66, 128.48, 128.19, 122.85, 122.82, 120.80, 120.30, 118.51, 116.21, 109.15, 108.70, 108.43, 108.14, 47.18, 37.90, 32.66, 31.44, 27.30, 13.88. HRMS (ESI⁺): calcd. for $\text{C}_{31}\text{H}_{34}\text{N}_2\text{O}_2$ calcd. 489.2518 [M+Na]⁺; found 489.2510 [M +Na]⁺.

B. 4. 9-(1,5-Dimethyl-3-oxo-2-phenyl-2,3-dihydro-1H-pyrazol-4-yl)-3,3,6,6-tetramethyl-3,4,6,7,9,10 hexahydroacridine-1,8-(2H,5H)-dione (3d)

White solid, yield: 91 %, m.p.: 163-164°C, FT-IR ($\nu_{\max}/\text{cm}^{-1}$, KBr): 3208, 2943, 1717, 1629, 1609, 1592, 1494, 1378, 1335, 1285, 1226, 1164, 1140, 1065, 971, 945, 869, 761. $^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3 , 400 MHz) δ : 1.07-0.90 (m, 12H, CH_3), 2.03-2.00 (m, 3H, CH_3), 2.47-2.22 (m, 8H, CH_2), 3.09 (s, 3H, N- CH_3), 4.58 (s, 1H, CH), 7.28-7.24 (m, 3H, CH), 7.41-7.38 (m, 2H, CH), 9.72 (s, 1H, NH). $^{13}\text{C-NMR}$ (CDCl_3 , 400 MHz) δ :205.53, 197.38, 167.32, 165.48, 153.81, 133.94, 129.16, 127.30, 124.94, 108.96, 108.29, 98.46, 58.73, 53.83, 51.00, 49.28, 43.02, 35.12, 32.96, 32.31, 32.28, 29.43, 26.81, 26.00, 20.35, 11.12. HRMS (ESI⁺): calcd. for $\text{C}_{28}\text{H}_{33}\text{N}_3\text{O}_3$ calcd. 482.2419 [M+Na]⁺; found 481.2422 [M +Na]⁺.

B. 5. 3,3,6,6-Tetramethyl-9-(5-methylfuran-2-yl)-3,4,6,7,9,10-hexahydroacridine-1,8-(2H,5H)-dione (3e)

Yellowish solid, yield: 95 %, m.p.: 146-148 °C , FT-IR ($\nu_{\max}/\text{cm}^{-1}$, KBr): 2963, 2888, 2636, 1600, 1447, 1423, 1378, 1312, 1252, 1219, 1168, 1149, 1049, 1019, 866, 778. $^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3 , 400 MHz) δ : 1.07 (s, 12H, CH_3), 2.17 (s, 3H, CH_3), 2.43-2.34 (m, 8H, CH_2), 5.35 (s, 1H, CH), 5.80 (dd, 1H, $J=4.6$ Hz, $J=1.2$ Hz, CH), 5.84 (dd, 1H, $J=4.1$ Hz, $J=2.0$ Hz, CH), 12.20 (s, 1H, NH). $^{13}\text{C-NMR}$ (CDCl_3 , 400 MHz) δ : 189.35, 150.30, 149.47, 114.18, 106.90, 105.87, 53.61, 46.88, 46.20, 31.37, 29.18, 13.45. HRMS (ESI⁺): calcd. for $\text{C}_{22}\text{H}_{27}\text{NO}_3$ calcd. 376.1888 [M+Na]⁺; found 376.1890 [M +Na]⁺.

B. 6. 9-(Ferrocene-2-yl)-3,3,6,6-tetramethyl-3,4,6,7,9,10-hexahydroacridine-1,8-(2H,5H)-dione (3f)

Soil solid, yield: 98 %, m.p.: 166 °C (decomp.), FT-IR ($\nu_{\max}/\text{cm}^{-1}$, KBr): 3675, 2971, 2901, 1590, 1450, 1375, 1307, 1260, 1240, 1167, 1151, 1066, 1074, 1056, 920, 879, 836, 811, 755. $^1\text{H-NMR}$ (CDCl_3 , 400 MHz) δ :1.08 (s, 6H, CH_3), 1.21 (s, 6H, CH_3), 2.43-2.22 (m, 8H, CH_2), 4.01 (s, 5H, CH), 4.12 (s, 4H, CH), 5.73 (s, 1H, CH), 12.01 (s, 1H, NH). $^{13}\text{C-NMR}$ (CDCl_3 , 400 MHz) δ : 198.12, 149.51, 116.66, 77.30, 76.99, 76.68, 68.97, 68.53, 66.95, 46.87, 46.18, 31.18, 29.91, 29.56, 26.57. HRMS (ESI⁺): calcd. for $\text{C}_{27}\text{H}_{31}\text{FeNO}_2$ calcd. 480.1601 [M+Na]⁺; found 480.1620 [M +Na]⁺.

III. RESULTS AND DISCUSSION

Structures containing 1,4-DHP as a parent core demonstrate various biological activities besides being used as drugs. The most common route for the synthesis of 1,4-DHP derivatives is the condensation reactions of aromatic aldehydes with 1,3-dicarbonyl compounds. Accordingly, several studies have revealed the derivatization of these compounds and the development of synthetic methods in recent years. Among them, ultrasound-assisted synthesis has been found to be more effective. In this direction, we used this favorable method for the synthesis of 1,4-DHP derivatives containing various heteroaromatic groups that have the potential to exhibit biological activity [33, 34].

In order to optimize the various reaction conditions, such as the effect of solvents, temperature, and time, the reaction of dimedone (**1a**), 2-thiophene aldehyde (**2a**), and ammonium acetate were selected as the template (**Table 1**). According to these data, preliminary experiments were carried out in various solvents such as water, ethanol, and ethanol:water. The reaction temperature was held in between 70-100 °C and heating conditions ranged in a duration of 60 minutes. As the best results have been obtained by carrying out the reaction with dimedone (2 eq), aldehydes **2a-f** (1 eq) and ammonium acetate (1.5 eq) in water at 70 °C with the ultrasound irradiation.

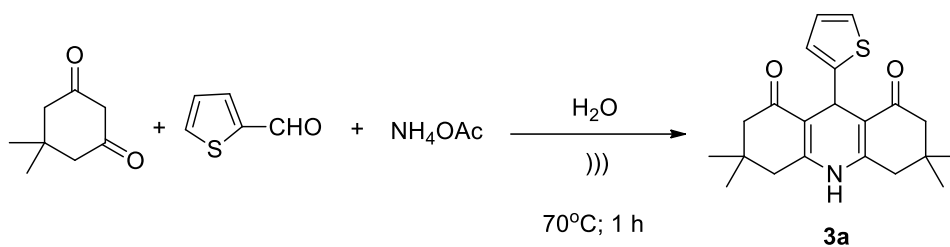
Table 1. Optimization conditions for the synthesis of 3,3,6,6-tetramethyl-9-(thiophen-2-yl)-3,4,6,7,9,10-hexahydroacridine 1,8(2H,5H)-dione (3a)

Solvent	Temperature (°C)	Time (h)	Yield (%)
Solvent free	70	8	Decomp.
	100	5	Decomp.
EtOH	Reflux	5	78
H ₂ O	Reflux	4	89
	70	1	97
EtOH:H ₂ O (1:1)	70	3	90

Various synthetic methods have been developed and reported in the literature. The recap of the synthetic procedures for this compound has been shown in Table 2. It has been obviously seen that water and EtOH have been preferred as the best solvent and the reaction temperature has been ranging from 60-100 °C.

After optimization of the reaction conditions, we evaluated the scope and generality of the corresponding process by the reaction of a variety of substituted heteroaryl aldehydes (**2b-f**), dimedone (1) and ammonium acetate in water by using ultrasound irradiation to obtain 1,4-DHP derivatives (**3b-f**). It was determined that aldehydes were consumed completely after 1 hour when the monitored by thin layer chromatography (TLC) using hexane/ethyl acetate (4:1). For this purpose, 4-pyridine-carboxaldehyde (**2b**), 9-ethyl-9H-carbazole-2-carbaldehyde (**2c**), 2,3-dimethyl-5-oxo-1-phenyl-3-pyrazoline-4-carboxaldehyde (**2d**), 5-methylfuran-2-carboxaldehyde (**2e**) and ferrocenecarboxaldehyde (**2f**) were treated with the mentioned conditions above. The reaction of **2b** and **2c** with dimedone was reported by literature [30-33] afforded **3b** and **3c** 83 % and 87 % respectively. We synthesized **3b** and biologically active **3c** compounds with higher yields in milder conditions and shorter times. Heteroaryl aldehydes showed good conversion with >85% yield.

Table 2. Condensation reactions of dimedone (**1a**) with thiophene aldehyde (**2a**).

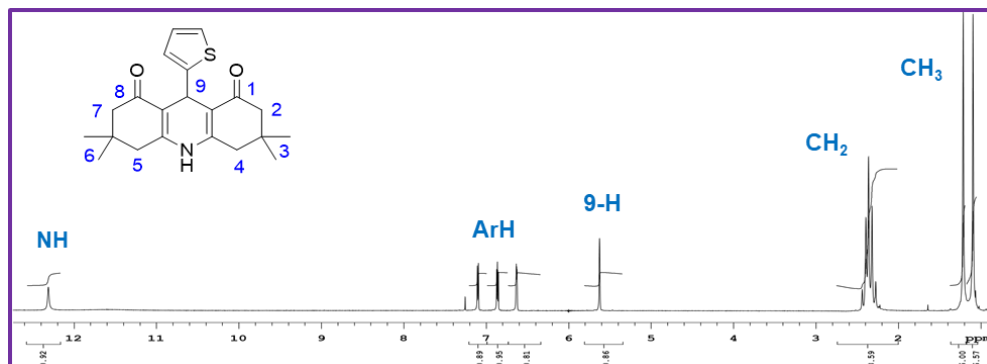


Catalyst	Solvent	Temperature/ (°C)	Time (h)	Yield (%)	References
Fe/M.S	EtOH	Reflux	14	Compl. Mix.	[1]
1,10-PHTNM	Water	80	1	71	[29]
Sitric acid	EtOH	Reflux	4	82	[18]
CuINPs	solvent free	70	1	95	[17]
No catalyst	Water	70	1	97	Our study

One of the best feature of this work is the simplicity of product isolation. Namely, filtration, water washing, and then drying have been found adequate. After recrystallization with ethanol, the pure product has been afforded.

The structure of model compound **3a** was determined by FTIR, ¹H NMR and ¹³C NMR spectra (**Fig. 2**). The FTIR spectrum showed characteristic absorption band at 3746 cm⁻¹ for the NH group, the carbonyl groups were observed at 1631 cm⁻¹. ¹H NMR spectrum of **3a** remarked a singlet at 5.6 ppm for aliphatic CH while NH group was observed chemical shift at 12.3 ppm. ¹³C NMR of this compound showed two characteristic peaks at 189.5 and 189.9 ppm for carbonyl groups.

a.



b.

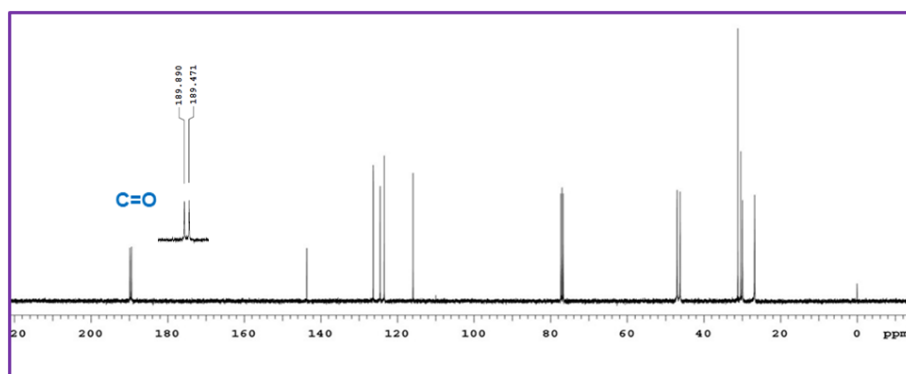
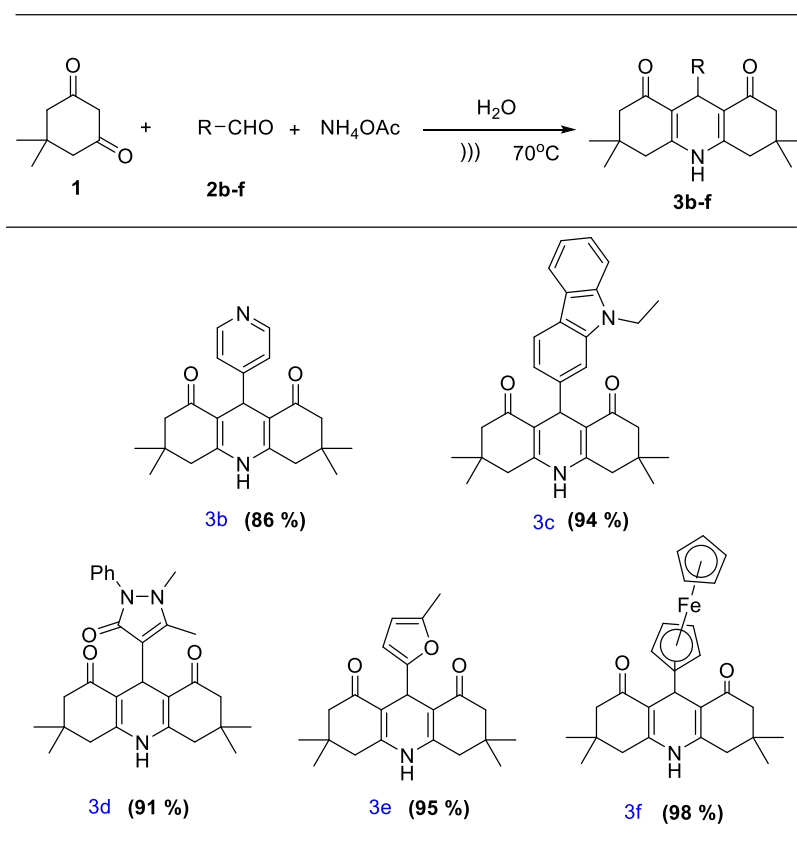


Figure 2. ^1H NMR (a) and ^{13}C NMR (b) spectrum of 3,3,6,6-tetramethyl-9-(thiophen-2-yl)-3,4,6,7,9,10-hexahydroacridine 1,8(2H,5H)-dione (**3a**)

As indicated in Table 3, best results have been achieved by one-pot multicomponent reactions with other aldehydes (**2d-f**). Envisaged reactions proceeded under aqueous conditions to produce the corresponding 1,4-dihydropyridine derivatives (**3d-f**) with excellent yields.

Table 3. The condensation reactions of dimedone (**1a**) with heteroaromatic aldehydes (**2b-f**).



The structures of synthesized compounds were confirmed on the basis of spectroscopic data. In the FT-IR spectrum, the appearance of bands at around $1650\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ for C=O and $3330\text{--}3350\text{ cm}^{-1}$ for NH has been considered as a sign of such functional groups. In the ^1H NMR, the appearance of the signal at

5.8 δ referring to methine proton and 12.3 δ referring to NH has supported the formation of target products (**3b-f**).

Two equivalents of dimedone (**1**) and an equivalent of aldehydes (**2a-f**) were used together with 1.5 equivalents of ammonium acetate. The reactions were monitored by TLC. The proposed mechanism of these reactions is shown in **Fig. 3**. The hexahydroacridine 1,8-(2*H*,5*H*)-dione derivatives (**3a-f**) are probably formed by the commonly accepted route [26].

According to this mechanism, 2-arylidene-5,5-dimethylcyclohexane-1,3-dione (**B**) intermediate product is formed through the interaction of the dimedone (**1**) and heteroaromatic aldehydes (**2a-f**). Another molecule of dimedone (**1**) was condensed with ammonium acetate to afford enaminone (**A**). Then, addition and followed cyclization reactions of **A** and **B** compounds to give the desired products (**3a-f**).

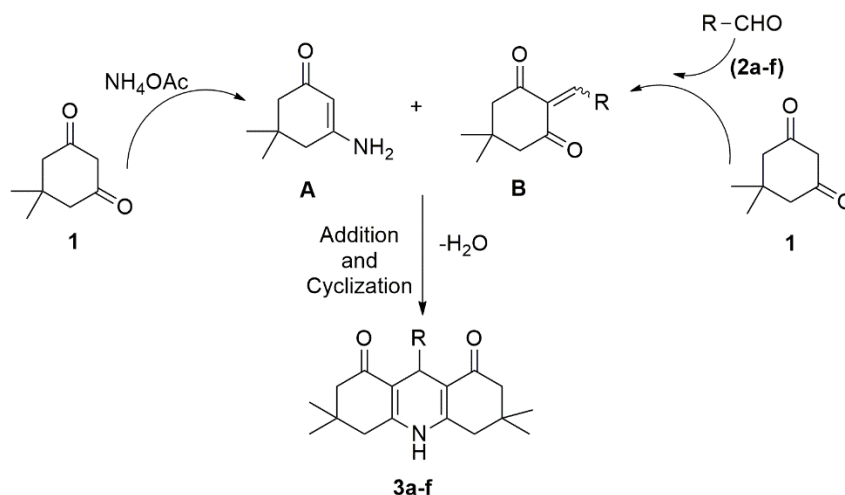


Figure 3. The proposed mechanism for the formation of hexahydroacridine 1,8-dione derivatives.

IV. CONCLUSION

In this study, herein we report a simple and economically viable one-pot synthesis method of potential biological active 9-heteroaryl-substituted-acridinediones (**3a-f**) by the reaction of dimedone (**1**) with corresponding heteroaromatic aldehydes (**2a-f**) in excellent yields (86-98 %). The advantages of this study is the utilization of inexpensive reagents, use of green solvent, and easy work-up procedure which require no column chromatography for the purification and also the absence of toxic effluents. All the synthesized compounds were characterized by FTIR, ^1H and ^{13}C NMR, and LC-MS TOF analyses.

V. REFERENCES

- [1] Á. Magyar and Z. Hell, "An efficient one-pot four-component synthesis of 9-aryl hexahydroacridine-1,8-dione derivatives in the presence of a molecular sieves supported iron catalyst," *Catalysis Letters*, vol. 149, no. 9, pp. 2528-2534, 2019.
- [2] A. Velená, N. Zarković, K. Gall Troselj, E. Bisenieks, A. Krauze, J. Poikans, et al., "1,4-dihydropyridine derivatives: dihydronicotinamide analogues—model compounds targeting oxidative stress," *Oxidative medicine and cellular longevity*, vol. 2016, pp. 35, 2016.
- [3] D. J. Triggle, "Calcium channel antagonists: clinical uses—past, present and future," *Biochemical pharmacology*, vol. 74, no.1, pp. 1-9, 2007.

- [4] R. Mannhold, B. Jablonka, W. Voigt, K. Schoenafinger, E. Schraven, "Calcium-and calmodulin-antagonism of elnadipine derivatives: comparative SAR," *European journal of medicinal chemistry*, vol. 27, no. 3, pp. 229-235, 1992.
- [5] N. Edraki, A. R. Mehdipour, M. Khoshneviszadeh, R. Miri, "Dihydropyridines: evaluation of their current and future pharmacological applications," *Drug Discovery Today*, vol. 14, no. 22, pp. 1058-1066, 2009.
- [6] A. Shafiee, R. Miri, A. Dehpour, F. Soleymani, "Synthesis and calciumchannel antagonist activity of Nifedipine analogues containing nitroimidazolyl substituent in guineapig ileal smooth muscle," *Pharmacy and Pharmacology Communications*, vol. 2, no. 11, pp. 541-543, 1996.
- [7] F. Pourmorad, F. Hadizadeh, A.S hafiee, "Synthesis and calcium channel antagonist activity of 4imidazolyl1,4dihydropyridines," *Pharmacy and Pharmacology Communications*, vol. 3, no.4, pp.165-168, 1997.
- [8] I. Antonini, P. Polucci, A. Magnano, S. Martelli, "Synthesis, antitumor cytotoxicity, and DNA-binding of novel N-5,2-di(ω -aminoalkyl)-2,6-dihydropyrazolo[3,4,5-kl]acridine-5-carboxamides," *Journal of medicinal chemistry*, vol 44. no. 20, pp. 3329-3333, 2001.
- [9] A. Albert, "The acridines: their preparation, physical, chemical, and biological properties and uses," Edward Arnold, London, 1966.
- [10] P. Murugan, P. Shanmugasundaram, V. Ramakrishnan, B. Venkatachalapathy, N. Srividya, P. Ramamurthy, et al. "Synthesis and laser properties of 9-alkyl-3,3,6,6-tetramethyl-1,2,3,4,5,6,7,8,9,10-decahydroacridine-1,8-dione derivatives," *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*, vol. 4, pp. 999-1004, 1998.
- [11] P. Shanmugasundaram, P. Murugan, V.T. Ramakrishnan, N. Srividya, P. Ramamurthy, "Synthesis of acridinedione derivatives as laser dyes," *Heteroatom Chemistry*, vol.7, no. 1, pp. 17-22, 1996.
- [12] R. Popielarz, S. Hu, D. Neckers, "Applicability of decahydroacridine-1,8-dione derivatives as fluorescent probes for monitoring of polymerization processes," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol.111, no. 1, pp. 79-83, 1997.
- [13] A. Papagni, P. Del Buttero, M. Moret, A. Sassella, L. Miozzo, G. Ridolfi, "Synthesis and properties of some derivatives of 1,2,3,4-tetrafluoroacridine for solid state emitting systems," *Chemistry of materials*, vol. 15, no. 26, pp. 5010-5018, 2003.
- [14] G. Swarnalatha, "1,4-Dihydropyridines: a multifunctional molecule-a review," *Int J Chem Tech Res.*, vol. 3, pp. 75-89, 2011.
- [15] D. D. Pham, N.T. Le, G. Vo-Thanh, "Fast and efficient Hantzsch synthesis using acid-activated and cation-exchanged montmorillonite catalysts under solvent-free microwave irradiation conditions," *Chemistry Select*, vol. 2, no. 36, pp. 12041-12045, 2017.
- [16] N. Madankumar, K. Pitchumani, " β -Cyclodextrin monosulphonic acid promoted multicomponent synthesis of 1,8 dioxodecahydroacridines in water," *Chemistry Select*, vol. 3, no. 39, pp.10886-10891, 2018.
- [17] S. Abdolmohammadi, S. Dahi-Azar, M. Mohammadnejad, A. Hosseinian, "A simple and efficient synthesis of 4-arylacridinediones and 6-aryldiindeno[1,2-b:2,-e]pyridinediones using CuI nanoparticles

as catalyst under solvent-free conditions,” *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, vol. 20, no. 9, pp.773-780, 2017.

[18] M. Patil, S. Karhale, A. Kudale, A. Kumbhar, S. More, V. Helavi, “Green protocol for the synthesis of 1,8-dioxo-decahydroacridines by Hantzsch condensation using citric acid as organocatalyst,” *Current Science*, vol. 116, no. 6, pp. 936, 2019.

[19] M. Faisal, S. Shahid, S. A. Ghumro, A. Saeed, F. A. Larik, Z. Shaheen, et al., “DABCO–PEG ionic liquid-based synthesis of acridine analogous and its inhibitory activity on alkaline phosphatase,” *Synthetic Communications*, vol. 48, no. 4, pp. 462-472, 2018.

[20] M. Kangani, N. Hazeri, M-T. Maghsoodlou, “Cobalt(II)ntrate hexahydrate, as an efficient catalyst for the synthesis of highly substituted piperidines and 1,8-dioxodecahydroacridine derivatives,” *Indian Journal of Chemistry-Section B Organic and Medicinal Chemistry*, vol. 56, no. 6, pp. 663-669, 2017.

[21] R. Kardooni, A. R. Kiasat, H. Motamedi, “Designing of a novel dual-function silica-iron oxide hybrid based nanocomposite, $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2\text{PEG}/\text{NH}_2$, and its application as an eco-catalyst for the solvent-free synthesis of polyhydroacridines and polyhydroquinolines,” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineer*, vol. 81, pp. 373-382, 2017.

[22] Z. Zarei, B. Akhlaghinia, “Zn II doped and immobilized on functionalized magnetic hydrotalcite ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{HT-SMTU-ZnII}$): a novel, green and magnetically recyclable bifunctional nanocatalyst for the one-pot multi-component synthesis of acridinediones under solvent-free conditions,” *New Journal of Chemistry*, vol. 41, no. 24, pp.15485-15500, 2017.

[23] S. Karhale, M. Patil, G. Rashinkar, V. Helavi, “Green and cost effective protocol for the synthesis of 1,8-dioxo-octahydroxanthenes and 1,8-dioxo-decahydroacridines by using sawdust sulphonic acid,” *Research on Chemical Intermediates*, vol. 43, no. 12, pp. 7073-7086, 2017.

[24] G. Shirole, S. Bhalekar, S. Shelke, “N-Butylpyridinium heptachlorodialuminate: A convenient catalyst for the synthesis of acridine 1,8-diones derivatives by microwave assisted Hantzsch reaction,” *Indian Journal of Chemistry*, vol 57B, pp.1430-1435, 2018.

[25] A. Djemoui, M. R. Ouahrani, A. Naouri, L. Souli, S-E Rahmani, L. M. Boualem, “Eco-friendly and highly efficient one-pot synthesis of symmetrical and unsymmetrical 1,4-dihydropyridine derivatives using triethylamine as catalyst in ethanol medium,” *Heterocyclic Letters*, vol. 8, no. 2, pp. 455-467, 2018.

[26] P. N. Chavan, D. N. Pansare, R. N. Shelke, “Eco-friendly, ultrasound-assisted, and facile synthesis of one-pot multicomponent reaction of acridine 1,8(2H,5H)diones in an aqueous solvent,” *Journal of the Chinese Chemical Society*, vol. 66, no. 8, p. 822-828, 2019.

[27] M. Nikpassand, L. Zare, M. Saberi, “Ultrasound-assisted L-proline catalyzed synthesis of novel derivatives of azo-linked dihydropyridines,” *Monatshefte für Chemie-Chemical Monthly*, vol. 143, no. 2, pp. 289-293, 2012.

[28] A. Shockravi, M. Kamali, N. Sharifi, M. Nategholeslam, S. P. Moghanlo, “One-pot and solvent-free synthesis of 1,4-dihydropyridines and 3,4-dihydropyrimidine-2-ones using new synthetic recyclable catalyst via Biginelli and Hantzsch reactions,” *Synthetic Communications*, vol. 43, no. 11, pp. 1477-1483, 2013.

[29] M. Dashteh, S. Baghery, M. A. Zolfigol, Y. Bayat, A. Asgari, “1,10Phenanthrolineium trinitromethanide (1,10-PHTNM) as a nano molten salt catalyst with Yromatic counter ion: Applications for synthesis of organic compounds,” *Chemistry Select*, vol. 4, no. 1, pp. 337-346, 2019.

- [30] P. Das, A. Dutta, A. Bhaumik, C. Mukhopadhyay, "Heterogeneous ditopic $ZnFe_2O_4$ catalyzed synthesis of 4 H-pyrans: further conversion to 1,4-DHPs and report of functional group interconversion from amide to ester," *Green Chemistry*, vol. 16, no. 3, pp. 1426-1435, 2014.
- [31] Z. Alirezvani, M. G. Dekamin, E. Valiey, "New hydrogen-bond-enriched 1,3,5-tris(2-hydroxyethyl)isocyanurate covalently functionalized MCM-41: an efficient and recoverable hybrid catalyst for convenient synthesis of acridinedione derivatives," *ACS omega*, vol. 4, no. 24, pp. 20618-20633, 2019.
- [32] K. Venkatapathy, C. J. Magesh, G. Lavanya, P. T. Perumal, S. Prema, "Design, synthesis, molecular docking, and spectral studies of new class of carbazolyl polyhydroquinoline derivatives as promising antibacterial agents with noncytotoxicity towards human mononuclear cells from peripheral blood," *Journal of Heterocyclic Chemistry*, vol. 57, no. 4, pp. 1936-1955, 2020.
- [33] A. Saini, S. Kumar, J. S. Sandhu, "Hantzsch reaction: Recent advances in Hantzsch 1,4-dihydropyridines," *Journal of Scientific and Industrial Research*, vol. 67, pp. 95-111, 2008.
- [34] Y. Zhang, Z. Zhou, "Solvent-free one-pot synthesis of 1,8-dioxo-decahydroacridines by a $[Et_3NH][HSO_4]$ catalyzed multicomponent reaction," *Polycyclic Aromatic Compounds*, vol. 38, no. 4, pp. 329-337, 2018.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

3E Analysis of the Effect of Different Type of Fans on Cooling Performance Applied to an Industrial Deep Freezer

 Cemil OCAK ^a,  Süleyman ERTEN ^b,  Furkan İŞGEN ^b,  Erhan ARSLAN ^c,  Meltem KOŞAN ^{d,*},  Esra DEMİRCİ ^b,  Mustafa AKTAŞ ^c

^a Department of Electrical and Energy, Vocational College of Technical Sciences, Gazi University, Ankara, TÜRKİYE

^b Nurdil Refrigeration Inc., Ankara, TÜRKİYE

^c Department of Energy Systems Engineering, Technology Faculty, Gazi University, Ankara, TÜRKİYE

^d Department of Energy Systems Engineering, Elbistan Engineering Faculty, Kahramanmaraş İstiklal University, Kahramanmaraş, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mltmkosan@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.840795

ABSTRACT

In this study, two different industrial refrigerators were designed, manufactured and tested to analyze the impact of different types of fans (Type 1 and Type 2) used in industrial cooling systems on the performance of the cooling system. In order to test the fan performance and airflow effects, two axial fan configurations with different structures and different motor technology (EC and shaded-pole induction) were tested in two separate industrial refrigerator test rooms in accordance with TS EN ISO 23953-2 standards. R290 (Propane) was used as a refrigerant in the systems. The average temperature and relative humidity values of the environment where the experiment was conducted were measured as 25 °C and 60 % (Class 3), respectively. During the experiments, the total of 51.71 kWh energy was consumed in system 1, while the total of 54.22 kWh energy was consumed in system 2 and the difference between the energy consumption of the two systems was calculated as 4.85%. The average temperatures of the inlet and outlet of the evaporator of the system 1 and 2 were -21.57 °C, -18.97 °C and -23.43 °C, -20.94 °C, respectively. The average refrigerant temperatures for the system 1 and 2 were calculated as -24.65 °C, -26.44 °C, respectively. While the average coefficient of performance value of the type 1 system was 1.74, it was calculated as 1.54 for the type 2 cooling system. The average second-law efficiencies for the two cooling systems were calculated as 30.85 % and 29.81 %, respectively. In addition, the environmental economy analysis was carried out using the amount of CO₂ that was prevented from emitting and the CO₂ emission price calculated accordingly.

Keywords: Refrigerator, Cooling, Axial Fan, Energy, Energy Efficiency

Endüstriyel Derin Dondurucuya Uygulanan Farklı Tip Fanların Soğutma Performansına Etkisinin 3E Analizi

ÖZ

Bu çalışmada, endüstriyel soğutma sistemlerinde kullanılan farklı tip fanların (Tip 1 ve Tip 2) soğutma sisteminin performansına etkisini analiz etmek için iki farklı endüstriyel buzdolabı tasarlanmış, üretilmiş ve test edilmiştir. Fan performansını ve hava akış etkilerini test etmek için farklı yapılar ve farklı motor

teknolojilerine (EC ve gölge kutuplu indüksiyon) sahip iki adet aksiyal fan konfigürasyonu, TS EN ISO 23953-2 standartlarına göre iki ayrı endüstriyel buzdolabı test odasında test edilmiştir. Sistemlerde soğutucu akışkan olarak R290 (Propan) kullanılmıştır. Deneyin yapıldığı ortamın ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri sırasıyla 25 °C ve % 60 (Sınıf 3) olarak ölçülmüştür. Deneyler sırasında 1. sistemde toplam 51.71 kWh enerji tüketilirken 2. sistemde toplam 54.22 kWh enerji tüketilmiş ve iki sistemin enerji tüketimi arasındaki farkı % 4.85 olarak hesaplanmıştır. Sistem 1 ve 2'nin buharlaştırıcısının giriş ve çıkışının ortalama sıcaklıkları sırasıyla -21.57 °C, -18.97 °C ve -23.43 °C, -20.94 °C'dir.

Sistem 1 ve 2 için ortalama soğutucu akışkan sıcaklıkları sırasıyla -24.65 °C ve -26.44 °C olarak hesaplanmıştır. Tip 1 sistemin ortalama performans katsayısı değeri 1.74 iken, tip 2 soğutma sistemi için 1.54 olarak hesaplanmıştır. İki soğutma sistemi için ortalama ikinci kanun verimleri sırasıyla % 30.85 ve % 29.81 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca emisyonu önlenen CO₂ miktarı ile çevre ekonomisi analizi yapılmış ve buna göre CO₂ emisyon fiyatı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Buzdolabı, Soğutma, Aksiyal Fan, Enerji, Enerji Verimliliği

I. INTRODUCTION

When it comes to global energy challenges, one of the essential things is to enhance energy efficiency considering energy saving [1]. Energy efficiency program has played a key role in reducing energy consumption in several countries. One of the most widely used households and industrial appliances in both developed and developing countries is the refrigerator [2]. With the improvement of expectations for everyday comforts, food quality and conservation issues have attracted increasing attention; therefore, the requirements of the refrigerator also increase rapidly. Industrial refrigerators mainly work cycling the cooled air within the refrigerator while the air is driven by the ventilation system. The fan directs the air through the evaporator and cools it. At that point, the cooled air is driven into the cooler box. Hence, the performance parameters of the system play a significant role for the cooling speed, cooling efficiency and total energy consumption of the refrigerator. High performance and increased efficiency can be carried out by the help of improved flow characteristics of the fans [3].

In industrial refrigerators, the air of the fresh and frozen food sections are cooled by evaporator to approximately +5 °C and -18 °C, respectively. Due to the migration of moisture from the products, the air in the room tends to have a high relative humidity mainly caused by door openings. Since the relative humidity of the internal air accumulates on the cold evaporator surface (usually below -18 °C) the evaporator absorbs the moisture over time [4]. Most refrigerators in operation include fan-fed evaporator and condenser as heat exchangers, a capillary tube and a hermetic compressor. An internal heat exchanger and pre-condenser can also be included as additional parts. In this application, the evaporator usually runs at freezing temperature. Due to two simultaneous effects of the frost layer, which causes low thermal conductivity and reduction of air flow channels, the frosting conditions will reduce the cooling capacity which causes a longer compressor cycle requiring higher energy input [5].

In refrigerators, the evaporator and condenser fans are driven by electric motors, and only the highest power consumption is achieved after the compressor. The most common and low-cost motor type used for this purpose is the shaded pole induction motor. The fan structure and motor technology used in the evaporator and condenser enable the system to cool down and significantly reduce the waste heat generated. Reduced waste heat in the evaporator fan typically results in less operation of the compressor, which saves more energy. As a result, the fan structure and technology used in the evaporator and condenser are crucial, especially in terms of the energy efficiency of the cooling system. [6]

Several studies are conducted on the literature to achieve a higher freezing efficiency and reduce the energy consumption of the cooling system. It can be seen that only a few studies have been performed on the impact of different fans used in the evaporator and condenser on the entire cooling system. Similarly, it has been observed that few of these studies include experimental results, and most studies on energy efficiency only include expectations based on the efficiency of the motors used. Pioneering

studies on the literature are evaluated within the scope of this topic and summarized below. Dong et al. studied an azeotropic mixture of R744/R170 (0.78/0.22, mass fraction) as a refrigerant instead of R134a for an air source heat pump water heater (ASHPWH) system. Exergy efficiency was analyzed for the system performance using both refrigerants based on the first and second law of thermodynamics. It was found that coefficient of heating performance (COP) and exergy efficiency of R744/R170 refrigerant were better than R134a and led to an increase by 31.3 % and 30.6 %, respectively. In addition, 34.3–49.8 °C lower discharge temperature and reduced compression ratio (from 12.0417 to 3.2734) were obtained for R744/R170. It was also stated that R744/R170 mixture could be a good alternative to R134a in ASHPWH systems [7].

Acharya et al. investigated the impact of the condenser fan speed on vapor compression refrigeration system and found that as the CFM speed increases, the pressure head decreases and higher speed also contributes to low heat loss on the system. Cooling of the space is the critical parameter that causes higher CFM to cool at a faster rate [8]. Elsayed et al. analyzed the performance of split air conditioner driven by an inverter to obtain the effect of compressor speed, condenser fan speed, evaporator fan speed and electronic expansion valve. It is found that a 7 °C increase in inlet air temperature of condenser led the power consumption of the system increased by 18% and COP decreased by 15% [9]. Yang et al. used condensate water to advance the performance of air conditioner by reducing the airflow temperature around the condenser. Results shows that increased environment temperature led to the decrease of the refrigerating capacity and energy efficiency ratio by increasing power consumption [10]. Thakre et al. used R290 as a refrigerant to evaluate the energy efficiency of a variable speed dc compressor and result shows that system consumed 162.45 W in variable speed operation and 210.87 W in maximum speed operation while variable speed operation had lower cooling capacity in comparison to the maximum speed operation [11]. Hermosa et al. designed a controller to improve energy efficiency of household refrigerator driven by inverter and compared the performance of conventional and inverter-driven technology. It was found that the proposed controller and variable speed operation exhibited a reduction of 27 % in the power consumption [12].

Colorado and Rivera compared the performance of double stage, compression absorption single stage and conventional vapor compression systems for refrigeration. The results indicated that 45 % lower compression power was obtained with the cascade cycles [13]. Panigrahi and Mishra studied an appropriate aerofoil blade profile using computational fluid dynamics (CFD) for the fan blades to improve the efficiency of axial flow mine ventilation fans by varying angles of attack and various aerodynamic parameters. The study revealed that an appropriate aerofoil blade profile will increase energy efficiency of mine ventilation fans [14]. Zhao et al. investigated modification of fan geometry with the refined numerical and experimental approaches to reduce noise of outdoor unit. CFD and computational Aerodynamic Acoustics (CAA) was used to predict the noise behavior and it was found that modified fan geometries are effective to reduce the noise but the flanging outer-edge blade is more effective [15]. Dang et al. analyzed the thermal performance of a S-NDWCT equipped with an axial fan at different fan diameters and fan power to evaluate the effect of fan. Results showed that when the diameter of the fan exceeds 15.0 m, the air velocity in the central area of the tower increases significantly and the temperature distribution becomes more uniform [16]. Amin and Zulkifli compared conventional (on-off) and the variable speed drive (VSD) control of evaporator fan motor of split AC to reduce cooling time and electricity consumption. It was conducted that VSD control could increase the COP by 32 % compared to on-off control and reduce energy consumption up to 11% [17]. Angelini et al. presented a pitch and chord optimization study for increasing the efficiency and decreasing the trailing edge noise of an axial flow fan for air-cooled condensers and noise reduction of -0.5 dB achieved [18].

Effect of different type of fans on cooling performance applied to an industrial deep freezer is a rather complex issue to obtain without experimental studies. Not only energy consumption but also significant parameters such, inlet and outlet temperatures of the evaporator, refrigerant temperatures, coefficient of performance, second-law efficiencies should be taken into account in terms of optimum fan selection. This study aimed to investigate the effect of different fans on the performance of

industrial deep freezer and to carry out the importance of proper fan selection based on conducted tests under TS EN ISO 23953-2 standards.

If the evaporator draws heat from the air and discharges heat to the air in the condenser, the airflow significantly affects the system performance and the thermal characterization of the cooling system in vapor compression refrigeration systems. Besides, energy consumption of the fan used in industrial refrigerators is also important in terms of energy efficiency. Industrial refrigerators are subjected to energy efficiency labelling according to their energy efficiency index. The effect of fan selection on the energy efficiency index value investigated within the scope of this study. In this study, fan selection has been realized by calculating the pressure losses in the system and the airflow rates of the fan were calculated considering the evaporator and condenser capacities. In this sense, this study is focused on investigating the effect of two different fan types on the coefficients of performance, total energy consumption and especially the effect of obtained airflow on the air temperatures in the industrial refrigerator. Results of the study are aimed to contribute into this scientific domain by investigating the effect of fan type and fan selection on industrial refrigerator systems. This study presents the investigation of the effect of two different types of fans used in an industrial plug-in vertical freezer system on the performance of the cooling system using R290 refrigerant. This study is organized as follows: material and method are given in the second section. Results and discussion are discussed in the third section, including those on temperatures, defrost intervals, coefficient of performance and total energy consumption of the tested systems. Conclusions are given and discussed in the fourth section.

II. MATERIAL AND METHOD

In this study, it is aimed to compare and analyze two different fans in an industrial plug-in vertical freezer system. L1 type vertical, open, vapor compression industrial refrigeration system operating with R290 refrigerant is designed with reference to $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ evaporation and $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ condensation temperatures. The P-h diagram of the cooling system is given in Fig. 1. The experiment set is designed, manufactured and tested. Tests in the cooling system were carried out in the test room under Class-3 at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperature and 60 % relative humidity (% RH) conditions.

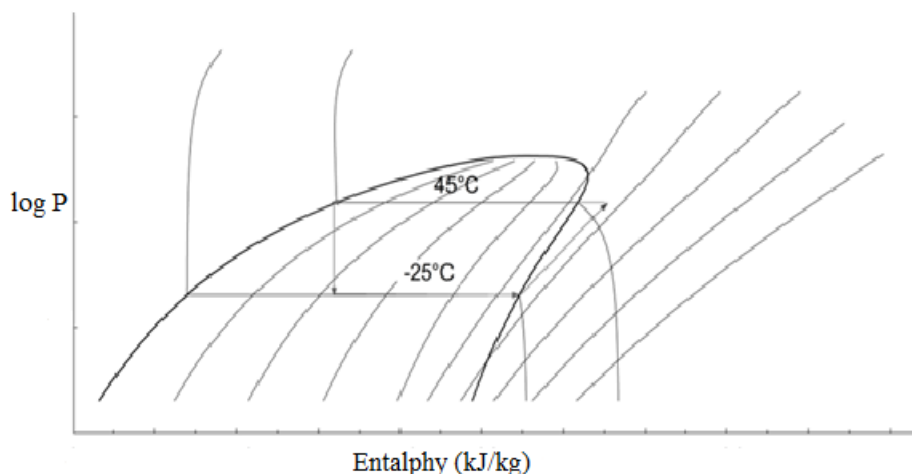


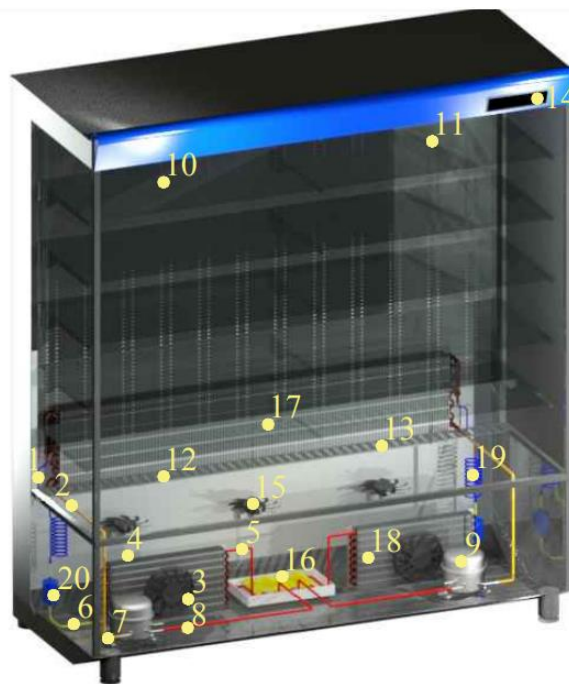
Figure 1. The path followed by the cooling system in the P-h diagram

The tests were performed equally and in accordance with the ISO 23953-2 standard using equipments with the same characteristics in both different fans. In this context, tests were carried out by recording the experimental data obtained using the fans whose characteristics are given in Table 1.

Table 1. Technical characteristics of the fans tested in the experimental setup



Fan	Number and model	Nominal voltage (V)	Output power range (W)	Speed range (rpm)	Air flow (m ³ /h)	Operating temperature range (°C)	Fan Diameter (mm)
Axial Fan type 1	3 Electronically commutated motor	230	0-13	0-1800	200	-30/50	200
Axial Fan type 2	6 shaded pole induction motor	230	0-19	2650	160	-40/75	115



- | | | | |
|----|---|----|--|
| 1 | Evaporator inlet temperature value | 12 | Left side air off temperature value |
| 2 | Evaporator output temperature value | 13 | Right side air off temperature value |
| 3 | Condenser air inlet temperature value | 14 | Temperature and relative humidity sensor |
| 4 | Condenser air outlet temperature value | 15 | Fan |
| 5 | Condenser gas inlet temperature value | 16 | Defrost container |
| 6 | Condenser liquid output temperature value | 17 | Evaporator |
| 7 | Compressor suction temperature value | 18 | Condenser |
| 8 | Compressor discharge line temperature value | 19 | Capillary tube |
| 9 | Compressor body temperature value | 20 | Dryer |
| 10 | Left side air on temperature value | HP | High pressure value |
| 11 | Right side air on temperature value | LP | Low pressure value |

Figure 2. Deep freeze prototype and measuring points

The experiments were carried out in the test room with calibrated test devices within the scope of TS EN ISO 23953-2 standard. Cooling performance of the system, energy consumption, temperature measurements, pressure measurements and energy efficiency tests were performed. While performing these tests, temperature measurements were taken every minute by means of thermocouples from the certain points of cooling systems equipment (compressor, condenser and evaporator inlet-outlet temperature values). Information on measurement equipments used in prototypes production and tests are given in Table 2.

Table 2. Properties of measurement devices used in cooling systems and uncertainty values

Device	Model	Unit	Measuring Range	Accuracy	Uncertainty
Thermocouple	Omega, CL-23A	°C	-40 / +150	± % 0.1 °C	± % 0.14 °C
Pressure transmitter	Eliwell, HP	bar	0-30	± 0.1	± 0.15
Pressure transmitter	Eliwell, LP	bar	0.5-8	± 0.01	± 0.02
Thermohygrometer	Rotronic, M23W2HT-1X	°C / %RH	0 / +50 / 0-100	± 0.03 / ± % 1.5	±0.06 °C ± 2.25 RH
Anemometer	E+E Electronic, EE66-VA3 EE660-V7	m/s	0-2	± 0.01	± 0.05
Digital scales	Value, VES-100B	g	0-100	± % 0.05	± % 0.065
Digital manifold	Testo, 550	bar	-50 / +150 -1 / +60	± 0.1 °C ± 0.01 bar	± 0.14 °C ± 0.02 bar
Energy analyzer	Janitza, UMG508	Ampere / Volt	-	Current ± % 0.2 / Voltage ± % 0.1	± % 0.25 Current ± % 0.14 Voltage
Flowmeter	Siemens, SITRANS FC MASS 6000	kg/h	0-1000	± % 0.1	± % 0.2

III. THEORETICAL ANALYSIS

Evaporator capacity (\dot{Q}_e , kW) of the industrial cooler can be calculated by Eq. (1) [19]:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_r \cdot (h_1 - h_4) \quad (1)$$

where \dot{m}_r is refrigerant mass flow rate (kg/s) and h is enthalpy (kJ/kg). The compressor power (\dot{W}_c , kW) that will meet the cooling load in the industrial cooler and create the desired pressure difference in the cooling system can be determined by Eq. (2). In the design, the compressor power is determined experimentally with the energy analyzer:

$$\dot{W}_c = \dot{m}_r \cdot (h_2 - h_1) = I \cdot V \cdot \cos\varphi \quad (2)$$

where I is phase current (A), V is the voltage (V) applied to motor terminal and $\cos\varphi$ is power factor. Cooling coefficient of the performance (COP) of the industrial refrigeration cycle is calculated by Eq. (3) [19,20]:

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_c} \quad (3)$$

Reversible coefficient of performance of the industrial refrigeration cycle can be calculated Eq. (4):

$$COP_{car} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (4)$$

where T_H and T_L hot and cold sources temperatures (°C). The second law efficiency of the industrial cooling system can be found by the ratio of the cooling performance coefficient of the system to the Reversible performance coefficient under the same conditions. It can be defined as by following Eq. (5) [20]:

$$\eta = \frac{COP}{COP_{car}} \quad (5)$$

Fan power (\dot{W}_f , kW) to circulate the cool air blown through the evaporator is defined in Eq. (6) [21]:

$$\dot{W}_f = \frac{\dot{Q} \cdot \Delta p}{\eta_f} \quad (6)$$

where Δp is air side pressure drop across an evaporator (Pa) and η_f is efficiency of fan (%). The logarithmic temperature difference (ΔT_{ln}) can be calculated with the Eq. (7) [21]:

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (7)$$

where ΔT_1 and ΔT_2 temperature differences (°C). Mass flux (Γ , kg/m²s) is calculated with the Eq. (8):

$$\Gamma = \frac{\dot{m}_r}{A_c} \quad (8)$$

where A_c is the area of compressor (m²). Eq. (9) used in determining the amount of heat extracted from the air per unit time with the evaporator is given below [21]:

$$\dot{Q}_e = U \cdot A \cdot [\Delta T_{ln}] \quad (9)$$

Exergy destruction (\dot{E}_x) formulas and calculation has been added. In Eq. (10), s and s_0 refer to the entropy (kJ/kgK) and the dead state, respectively. Formulas defined as follows [20,21]:

$$\dot{E}_x = \dot{m} [h - h_0 - T_0(s - s_0)] \quad (10)$$

Exergy destruction on compressor is calculated by Eq. (11):

$$\dot{E}_{x,dest,comp} = \dot{m} [(h_1 - T_0 s_1)] - [(h_2 - T_0 s_2)] + \dot{W}_{comp} \quad (11)$$

Exergy destruction on condenser is calculated by Eq. (12):

$$\dot{E}_{x,dest,con} = \dot{m} [(h_2 - T_0 s_2)] - [(h_3 - T_0 s_3)] - \left[\dot{Q}_{con} \left(1 - \frac{T_0}{T_{con}} \right) \right] \quad (12)$$

Exergy destruction on evaporator is given by Eq. (13):

$$\dot{E}_{x,dest,eva} = \dot{m} [(h_1 - T_0 s_1)] - [(h_4 - T_0 s_4)] - \left[\dot{Q}_{con} \left(1 - \frac{T_0}{T_{eva}} \right) \right] \quad (13)$$

It is important to perform energy and exergy analysis in refrigerant systems. Therefore, the exergy balance for the steady flow control volume in this study is given Eq. (14) and Eq. (15) [20]:

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_{x,dest,eva}}{\dot{W}_{comp}} \quad (14)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{m} [(h_1 - T_0 s_1)] - [(h_4 - T_0 s_4)]}{\dot{m}(h_2 - h_1)} = \frac{[(h_1 - T_0 s_1)] - [(h_4 - T_0 s_4)]}{(h_2 - h_1)} \quad (15)$$

Eq. (16) used to determine the amount of carbon dioxide (kgCO₂/h) prevented from being produced per hour is given below [22].

$$\phi CO_2 = \dot{W}_c \cdot \psi CO_2 \quad (16)$$

where ψCO_2 is the amount of CO₂ released when energy is produced from coal (kgCO₂/kWh). Eq. (17) used to determine the gain per CO₂ blocked from production per hour is given below [22].

$$Z_{CO_2} = P_{CO_2} \cdot \phi CO_2 \quad (17)$$

where P_{CO_2} is the earnings per CO₂ production blocked (€/kgCO₂). The formulas used in fan efficiency calculations are as follows:

Input power of the mono-phase AC fan motor P_{input} , kW) can be calculated by Eq. (18) [23]:

$$P_{input} = U_{line} \cdot I_{line} \cdot \cos\varphi \quad (18)$$

Shaft power of the motor or the power required by impeller is calculated by Eq. (19) [23]:

$$P_{shaft} = \eta_{motor} \cdot U_{line} \cdot I_{line} \cdot \cos\varphi \quad (19)$$

where: η_{motor} is the efficiency of the motor, U_{line} and I_{line} are supply voltage (V) and current (A) and $\cos\varphi$ is power factor.

Fan power P_{fan} can be calculated by Eq. (20) [23]:

$$P_{fan} = k \cdot Q \cdot P \quad (20)$$

where: Q is airflow (m³/sec), P is static pressure (Pa) and k is compressibility factor approximated as unit. Impeller efficiency η_{imp} can be calculated by Eq. (21) [23]:

$$\eta_{imp} = \frac{P_{fan}}{P_{shaft}} \quad (21)$$

Overall efficiency of the fan η_{fan} can be calculated by Eq. (22) [23]:

$$\eta_{fan} = \left[\frac{P_{fan}}{(U_{line} \cdot I_{line} \cdot \cos\varphi)} \right] = \eta_{motor} \cdot \eta_{imp} \quad (22)$$

The equation developed by Kline et al. was used to define the total uncertainty (W_R) created by measuring the equipment [24]:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \cdot w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \cdot w_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} \cdot w_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \cdot w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (23)$$

In Eq. (23), R is the size to measure, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ are the independent variables affecting the measurement and $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ are the accuracies in the independent variables.

In addition to theoretical fan efficiency, fan should be operated at the point where optimum system efficiency is obtained. A typical example is given in Fig. 3 where the maximum efficiency of red fan is 40 % and maximum efficiency of blue fan is 20 %. It will be a critical mistake to select the fan according to its maximum efficiency value. When it comes to efficiency value at the given operating point (150 Pa), it is clear that the blue fan is more efficient than the red fan. Therefore, different fan characteristics and operating points should be taken into account for overall system efficiency. A fan should be operated at its best efficiency point (BEP) to improve fan performance and increase intervals between repairs. The comparison of efficiency characteristic between EC and conventional shaded-pole induction motor is given in Fig. 3b. It is clear that EC motor has superior characteristics to shaded-pole induction motor in terms of partial load and speed efficiencies.

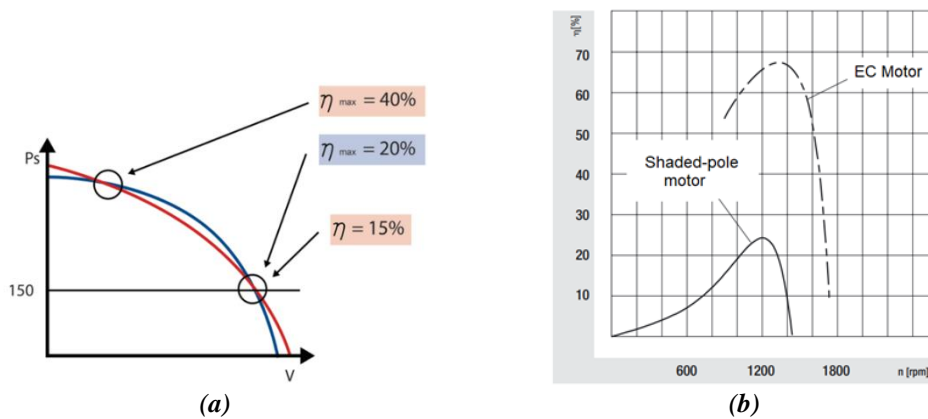


Figure 3. (a) Effect of operating point on fan efficiency [25], (b) Comparison of efficiency characteristic between EC and conventional shaded-pole induction motor [26]

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

The experimental setup designed, produced and tested is shown in Fig. 2. Experiments were carried out using the fans whose specifications are given in Table 2 for the designed and produced systems. No difference was observed in the equipment and cooling power used in the systems where both fans were tested, and the tests were conducted in the same environmental conditions. In the experimental setups, the total energy consumed in the first and second systems was measured as 51.71 kWh, 54.22 kWh, respectively. As a result of these data, the difference between the energy consumption of the two systems was calculated as 4.85 %. The energy-consuming device in heat pump systems are compressors and fans. Since only the fans are different in both systems, it has been observed that the axial fan type 1 used in the first system is more efficient.

For axial fan type 1, the evaporator inlet-outlet temperature of the air is given in Fig. 3. Considering the inlet and outlet air temperatures, defrosting was carried out in the system every 8 hours. However, the average temperatures of the air leaving and entering the evaporator were -21.57 °C, -18.97 °C, respectively. In this case, the temperature difference of the system air was calculated as 2.61 °C.

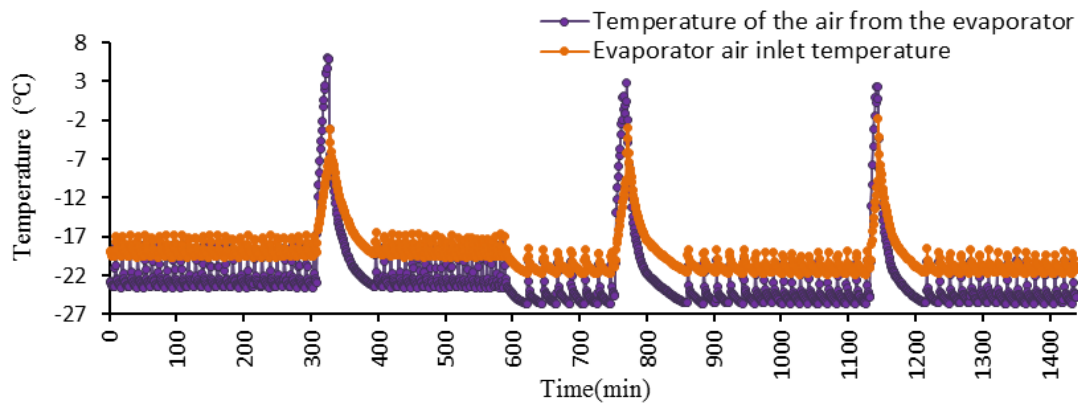


Figure 4. Evaporator inlet-outlet temperature of the air for axial fan type 1

The evaporator inlet-outlet temperature of the air is given in Fig. 5 for axial fan type 2. In this experiment, the average temperatures of the air inlet to and outlet from the system were seen as -23.43°C , -20.94°C , respectively. In this case, the temperature difference of the system air was calculated as 2.49°C . Considering the temperature difference between the first and second systems, it was seen that the fan in the first system was more efficient in terms of heat transfer as well as consuming less energy.

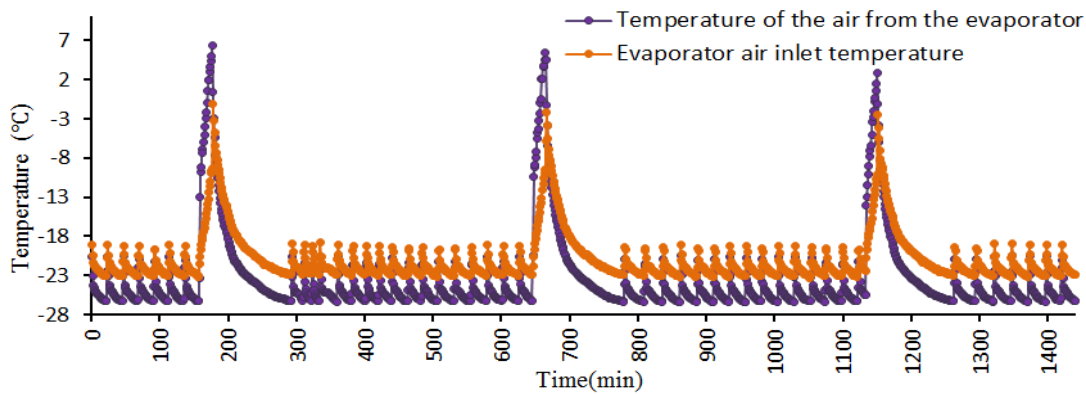


Figure 5. Evaporator inlet-outlet temperature of the air for axial fan type 2

As can be seen in Fig. 6, the time-dependent variation of refrigerant inlet temperatures in evaporators for fan type 1 and fan type 2 is shown. As required by the standard, the test setup was operated for 12 hours with lighting and cabinet doors open for 12 hours, and for the next 12 hours with lighting and doors closed. As can be seen in Fig. 5, the cooling system of type 2 must enter the defrost at longer intervals, whereas the cooling system type 1 goes into defrost more frequently. This situation caused a temperature drop on the evaporator surface as a result of the fan not operating at the proper speed; therefore, the desired heat transfer could not be achieved, while increasing the ice formation and defrosting the system in a shorter time. However, average refrigerant temperatures were calculated as -24.65°C , -26.44°C , respectively. Despite the measured values, the temperature difference was 1.79°C .

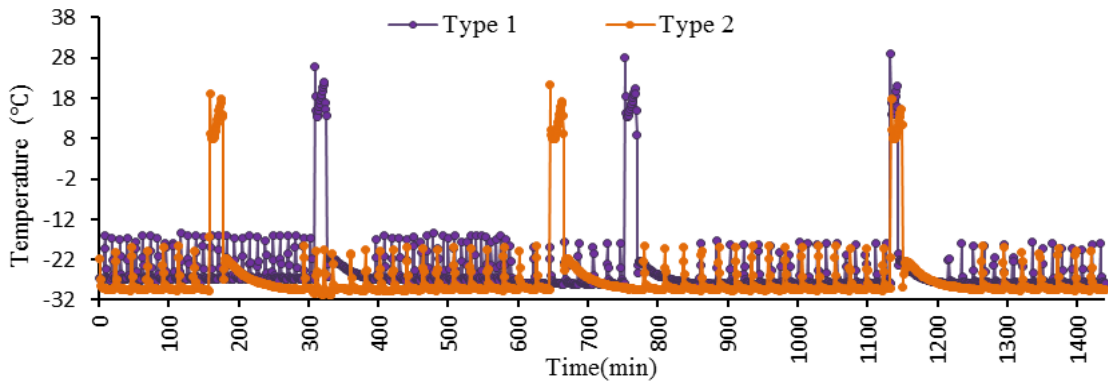


Figure 6. The change of refrigerant temperature over time at the inlets of the evaporator for two different fans

Fig. 7 shows the graph created by taking the refrigerant temperatures at the evaporator outlet every minute during the 24-hour test period in both systems. It was thought that the difference between the systems in which fan type 1 and fan type 2 were used in the first 12 hours between the two systems. The doors of the freezer and the lighting were turned on during the first 12 hours as required by the standard, and the cover and lighting are turned off within the next 12 hours. Here, it was observed that the thermal loads that could occur in the system of the type 1 fan affect the air temperature, while the type 2 fan was seen to work more stably despite the thermal loads. Calculated average refrigerant outlet temperatures were determined as $-18.97\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-19.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively. In this case, the difference between the evaporator inlet and outlet temperatures for the two systems is calculated as $6.33\text{ }^{\circ}\text{C}$, $6.69\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectively. In the systems where these two different fans were used, it was seen that the cooling system type 2 was 5.40 % more effective in terms of the evaporator refrigerant temperature difference.

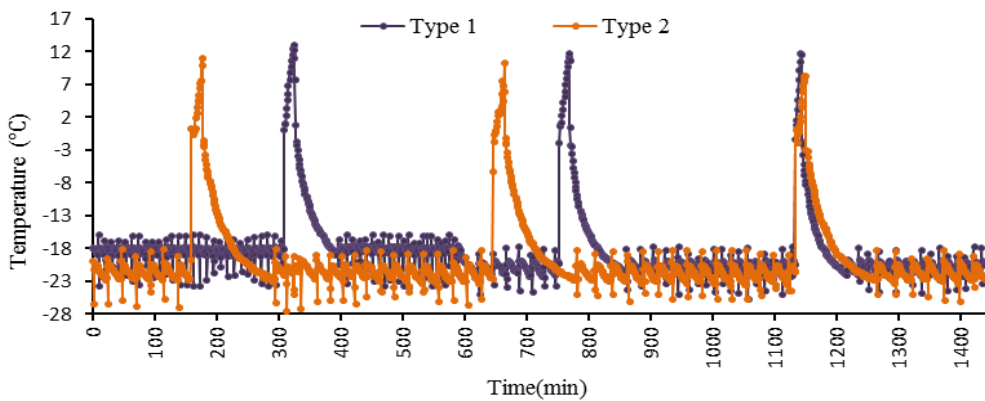


Figure 7. Examination of the change in refrigerant temperature over time at the evaporator outlet in two different fans

Fig. 8 shows the average power values calculated every 2 hours. Looking at the graph, it was seen that the power of the type 1 cooling system was lower than the type 2 cooling system. The average power values of the two cooling systems were calculated as 1.26 kW, 1.15 kW, respectively.

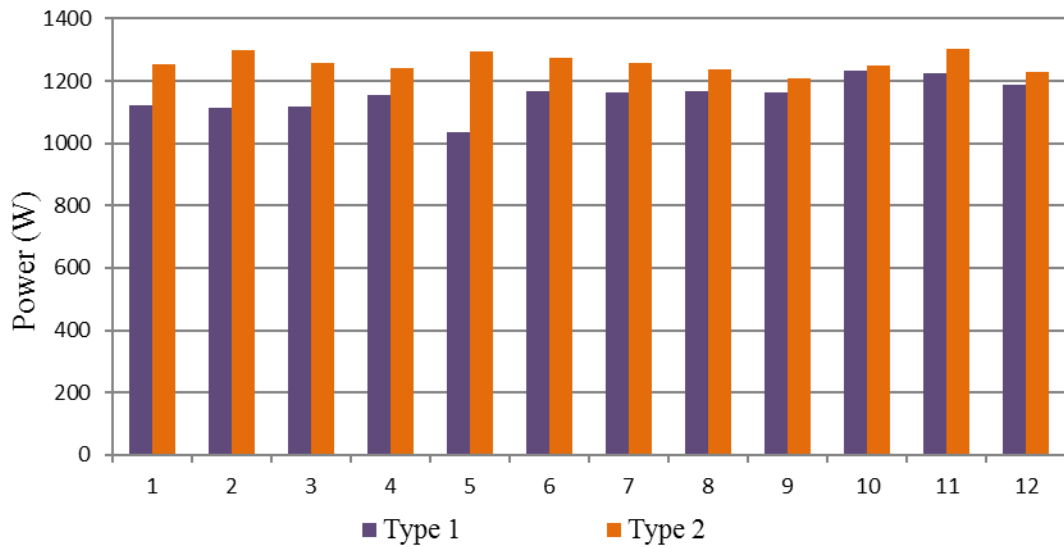


Figure 8. Comparison of average power values calculated every 2 hours

Fig. 9 shows the COP values calculated according to the determined power values. In COP values, while the average COP value of the type 1 system was 1.74, it was calculated as 1.54 for the type 2 cooling system. If it is associated with the differences in energy consumption seen in Fig. 7 and Fig. 8 and the results change in efficiency with fans. Important parameters determining the amount of heat absorbed from the surrounding in the evaporator are the resistance and heat transfer coefficient formed on the evaporator surface. The fans will lower the temperature of the evaporator surface depending on the air swept from the evaporator surface. This is desirable because it creates less ice and resistance on the evaporator surface. If the fans carry the water molecules suspended in the air to the evaporator surface together with the air they sweep. The point where these two situations balance each other will determine the operating speed of the fans and it is a very sensitive point. In this system, while the type 2 fan carries excess air, it has been observed that both consume energy and reduce the system performance by carrying the water molecules that will turn into ice on the evaporator surface.

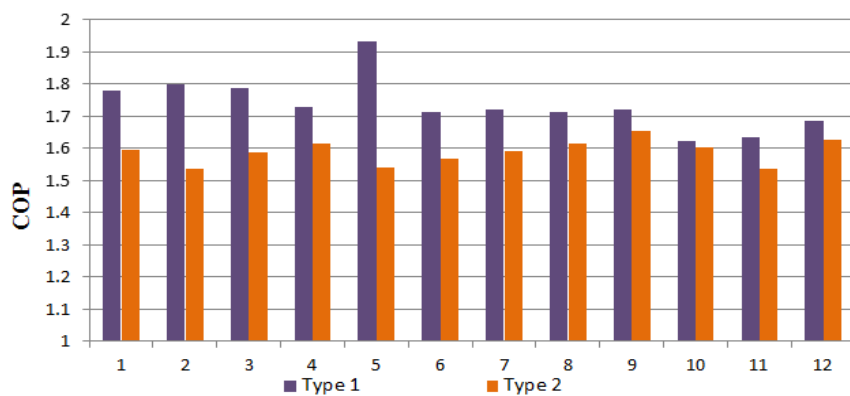


Figure 9. Comparison of COP values calculated every 2 hours

Exergy analysis expresses the second law of thermodynamics and makes it possible to evaluate and compare realistically and meaningfully in cooling systems. Exergy analysis for type 1 and type 2 has an important place in terms of determining their cooling performance. Figure 10 illustrates the average hourly exergy efficiency of the cooling systems for type 1 and type 2. The highest exergy efficiency was found as 34.4 % in the 5th hour in type 1 and the lowest exergy efficiency was calculated as 28.7 % in the 2th hour in type 2. The average exergy efficiency values were calculated as 30.85 % and 29.81 % for type 1 and type 2, respectively.

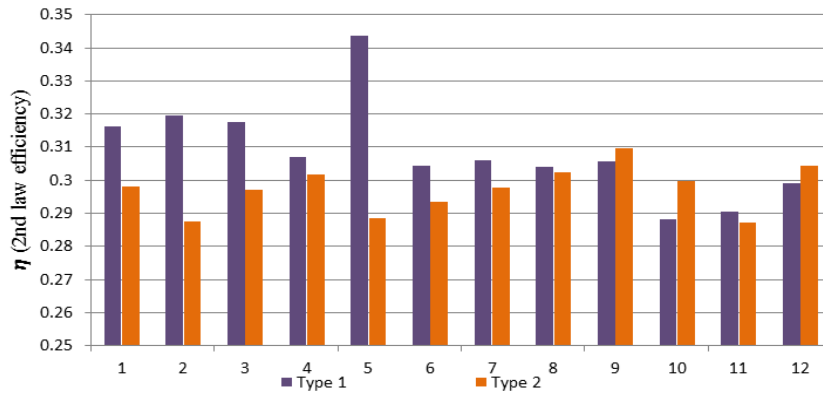


Figure 10. Comparison of the second law efficiency values calculated every 2 hours

Environmental economic analysis is carried out using the amount of CO₂ that is prevented from emitting and the CO₂ emission price calculated accordingly. Calculating the CO₂ emission that will occur when it meets the energy consumed by the cooling system from coal will help it determine the amount of CO₂ emission it prevents when it operates the cooling system. Sovacool et al. stated the average intensity of CO₂ equivalent for coal-fired electricity generation as 960 g CO₂/kWh [27]. Tripathi et al. determined that considering this ratio as well as 40 % transmission and distribution losses and 20 % losses due to inadequate electrical devices used, there would be 2.08 kg CO₂/kWh [28]. Arslan et al. explained CO₂ as 1.45 ¢/kg CO₂ in their experimental study and calculated the environmental cost numerically [29]. It can be seen how the Φ_{CO_2} value changes in time from Fig.11. According to the figure the maximum, minimum and average value of the Φ_{CO_2} for Fan type 1 is 2.981, 1.56 and 2.401 kg CO₂/h; and for Fan type 2, it is determined as 3.105, 1.797 and 2.619 kg CO₂/h. Enviro economic analysis provides information about CO₂, which is prevented from being released into the atmosphere. In the experiments, the amount of CO₂ was prevented from emission when comparing to fan type 2. With the use of fan type 1, 8.32 % more CO₂ emission was prevented. Accordingly, it is possible to say that the use of Fan type 1 is more advantageous than Fan type 2.

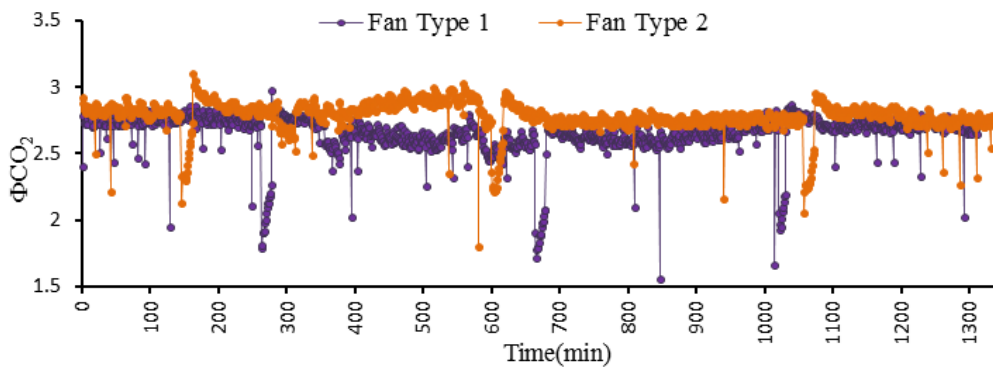


Figure 11. Change of carbon dioxide, which is prevented from production per hour, during the experiment

The enviroeconomic analysis relies on CO₂ emission price and determines carbon quantity. Determining a CO₂ price is one of the most powerful analyses revealing the decline of national greenhouse gas emissions. The CO₂ price is an approach imposing a cost on the emission of greenhouse gases which cause global warming. CO₂ price released into the atmosphere is a way of motivating people and countries to reduce carbon emissions. This situation encourages the use of renewable energy technologies that do not emit CO₂ into the atmosphere [22].

The going price of CO₂ (Z_{CO_2} , ¢/h) prevented from emitting into the atmosphere and; the cost of CO₂ per kilogram (PCO_2 , 1.45 ¢ / kgCO₂) are equal to the product of the heat produced by the amount of

CO₂ released by the coal burned in 1 kWh electricity production. The going price of the CO₂ amount, which is prevented from being released into the atmosphere, is instantly shown in Fig. 12. Accordingly, the maximum, minimum and average values of ZCO₂ obtained in the experiment using fan type 1 were determined as 4.322, 2.262 and 3.482 ¢/kg, respectively. For fan type 2, these values were obtained as 4.503, 2.605 and 3.798 ¢/kg. The use of fan type 1 seems to be 2.19 % more profitable.

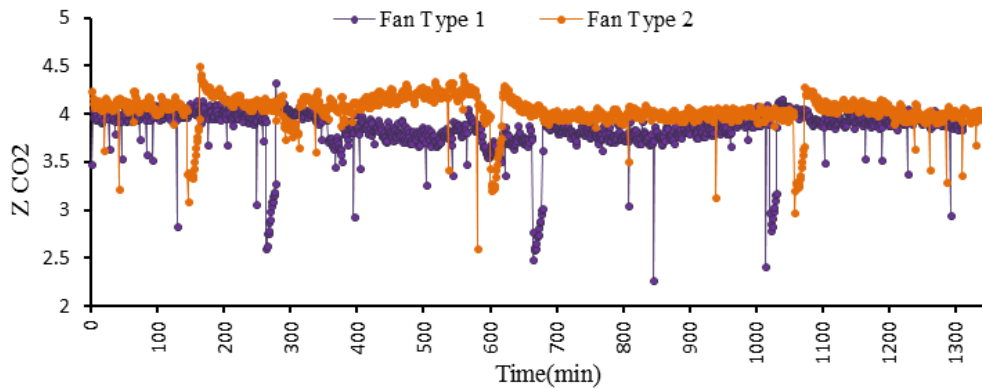


Figure 12. The gain per prevention of carbon dioxide product

It is possible to say that the use of fan type 1 is more advantageous than fan type 2, since the going price is expected to be higher in this experiment, where the amount of CO₂ prevented from being released into the atmosphere is higher as a result of using fan type 1.

Average values of condenser and evaporator exergy destruction were calculated according to Eq. (12) and (13). Accordingly, the average exergy destructions of the condenser and evaporator are 0.178 W and 0.221 W for fan type1, and 0.198 W and 0.243 W for fan type 2. It was determined that the exergy destruction was high in type 2.

V. CONCLUSIONS

This study is on the investigation of the effects of fans on the heat flux and energy consumption of the cooling system in the case of using different types of fans in an industrial cooler. How the fan performance affects the performance of the industrial cooler has been tested experimentally according to the standards and the results have been analyzed. While the energy consumed in the systems designed as a result of the experiments was 51.71 kWh for the first system, this value was measured as 54.22 kWh for the second system. When the two systems were evaluated in terms of performance, COP values were calculated as 1.74 and 1.59, respectively. In the second law analysis, the second-law efficiency of industrial deep freezers was calculated as 30.85% for the first system and 29.81 % for the second system.

In the experiments, the results for different types of fans (Fan Type1 and Fan Type 2) were examined. According to enviro economic analysis, the amount of CO₂ that is prevented from being released into the atmosphere as a result of using Fan type 1 was determined as 2.4 kg CO₂/h, and for Fan type 2 this value was determined as 2.619 kgCO₂/h. As a result of using fan type 2, 8.32% less CO₂ is emitted to the atmosphere compared to Fan type 1.

While the amount of CO₂ prevented from being released into the atmosphere was determined as 3.482 ¢/kg in the experiment using the market Fan type 1, this value was obtained as 3.798 ¢/kg for Fan Type 2. It has been determined that using Fan Type 1 is 2.19% more profitable. In addition to evaporators and other equipment used in cooling systems, the selection of fans that provide air

circulation in the system is of great importance. In this context, it is seen that the efficient selection of fans in the deep freezer or cooling system designs is an issue affecting the coefficient of performance and energy efficiency. Energy efficiency can be achieved by providing the desired heat flows at different flow rates with precision speed-controlled fans for heat extraction and removal in the evaporator and condenser. It has been investigated how the fan selection affects the system energy consumption, and according to the experimental results, the energy and exergy efficiency values for different fan types were determined according to the standard. This experimental information obtained will shed light on the selection of fans.

The effects of the fans used on the cooling system are quite complex. Experimental studies are needed to understand the behavior of fans on cooling systems. In this context, the expected results may not be obtained when the selection is made only according to the fan manufacturer data (airflow, pressure, etc.). In order to better understand the behavior and effects of different fans on the cooling system, it is necessary to compare the manufacturer's data and the configuration used with the test results. In this study, the relationship between different fan configurations with known technical specifications and test results was obtained by designing and manufacturing two sample deep freezers.

Suggestions for future works are given as follows;

- 1- To investigate the effect of partial fan speed and partial fan load on the performance of industrial refrigerator or deep freezer by implementing different fan diameters and blade angles.
- 2- To obtain mathematical models between used fan combination and cooling performance based on various experimental tests.
- 3- To implement smart control techniques between the compressor cycle and fan characteristics.

ACKNOWLEDGEMENTS: We would like to thank Nurdil Refrigeration Inc. for its contributions to this work.

VI. REFERENCES

- [1] J. Wang, Y. Li, Y. Wang, L. Yang, X. Kong and B. Sundén, “Experimental investigation of heat transfer performance of a heat pipe combined with thermal energy storage materials of CuO-paraffin nanocomposites,” *Solar Energy*, vol. 211, pp. 928-937, 2020.
- [2] B. Utomo, Q. Lailiyah, P. Bakti and I. Paramudita, “Heat transfer characteristic of proposed heat transfer configurations of temperature chamber design for energy test refrigerator,” in *American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings*, 2020, vol. 2248, pp. 050002-1-050002-10.
- [3] J. Ye, X. Huang, Y. Cheng, J. Shao and Y. Zhang, “Air volume improvement in the duct system in frost-free refrigerators based on the CFD method,” *Journal of Supercomputing*, vol. 76, no. 5, pp. 3749-3764, 2020.
- [4] F.G. Modarres, M. Rasti, M.M. Joybari, M.R.F. Nasrabadi and O. Nematollahi, “Experimental investigation of energy consumption and environmental impact of adaptive defrost in domestic refrigerators,” *Measurement*, vol. 92, pp. 391-399, 2016.
- [5] R.S. Ribeiro, D.L. Silva and C.J.L. Hermes, “Optimal design of fan-supplied tube-fin evaporators subjected to frosting conditions aiming at minimum energy consumption,” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 40, no. 479, pp. 1-11, 2018.

- [6] S. Erten, C. Ocak and M. Aktaş, “Experimental analysis of fan performance in industrial cooling systems,” in *Proceeding of 9th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'20)*, Bolu, Turkey, 2020, pp. 551-562.
- [7] W. Dong, Y. Liu, Z. Kou, L. Yao, L. Tao and P. Xia, “Energy and exergy analysis of an air-source heat pump water heater system using CO₂/R170 mixture as an azeotropy refrigerant for sustainable development,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 106, pp. 628-638, 2019.
- [8] P. Acharya, B.K. Choudhury, S.K. Rout, “Effect of speed of condenser fan motor on vapor compression refrigeration system,” *Advances in Air Conditioning and Refrigeration*, Singapore: Springer, 2021, pp. 395-403.
- [9] A.O. Elsayed, T.S. Kayed, “Dynamic performance analysis of inverter-driven split air conditioner,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 118, pp. 443-452, 2020.
- [10] H. Yang, , N. Pei, , L. Liu, , M. Fan, , Y. Qin, “Experimental study on the effect of condensate water on the performance of split air conditioning system,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 840-851, 2021.
- [11] M. Thakre, C. Shinde, “Evaluation of a variable speed DC compressor for energy efficiency employing refrigerant-R290,” in *International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)*, Chennai, India, 2020, pp. 1-5.
- [12] F. Hermosa, C. Tasiguano, M. Pozo, E. Acurio, “Controller design for high-energy-efficient performance of a household refrigerator using inverter technology,” in *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, Buenos Aires, Argentina, 2020, pp. 1-7.
- [13] D. Colorado and W. Rivera, “Performance comparison between a conventional vapor compression and compressionabsorption single-stage and double-stage systems used for refrigeration,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 87, pp. 273-285, 2015.
- [14] D.C. Panigrahi and D.P. Mishra, “CFD simulations for the selection of an appropriate blade profile for improving energy efficiency in axial flow mine ventilation fans,” *Journal of Sustainable Mining*, vol. 13, no. 1, pp. 15-21, 2014.
- [15] X. Zhao, J.Sun, Z. Zhang, “Prediction and measurement of axial flow fan aerodynamic and aeroacoustic performance in a split-type air-conditioner outdoor unit,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 36, no. 3, pp. 1098-1108, 2013.
- [16] Z. Dang, Z. Zhang, M. Gao, S. He, “Numerical simulation of thermal performance for super large-scale wet cooling tower equipped with an axial fan,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 135, pp. 220-234, 2019.
- [17] A. Zulkifli and Zulfikri, “Optimize performance of split AC evaporator using variable speed drive in motor fan evaporator,” in *American Institute of Physics (AIP) Conference Proceedings*, 2020, vol. 1983, pp. 020010-1 -020010-7.
- [18] G. Angelini, T. Bonanni, A. Corsini, G. Delibra, L. Tieghi, D. Volponi, “Optimization of an axial fan for air cooled condensers,” *Energy Procedia*, vol. 126, pp. 754-761, 2017.
- [19] M. Caner, N. Duman, E. Buyruk and F. Kılınc, “Performance analysis of horizontal ground source heat pump system in Sivas,” *Journal of Science and Technology of Dumlupinar University*, vol. 42, pp. 47-53, 2019.

- [20] M. Aktaş, M. Koşan, E. Arslan and A.D. Tuncer, "Designing a novel solar-assisted heat pump system with modification of a thermal energy storage unit," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, vol. 233, no. 5, pp. 588-603, 2019.
- [21] Y.A. Çengel and M.A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 8th ed., New York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2014.
- [22] M.G. Elzen, A.F. Hof, A.M. Beltran, G. Grassi, M. Roelfsema, B. van Ruijven, J. van Vlietvan, and D.P. Vuuren, "The Copenhagen Accord: abatement costs and carbon prices resulting from the submissions," *Environmental Science & Policy*, vol. 14, no. 1, pp. 28–39, 2011.
- [23] C.D. Pitis, "Energy efficient single stage axial fan (ENEF)," in *IEEE Canada Electrical Power Conference*, Montreal, Canada, 2007, pp. 280-285.
- [24] Kline, S. J., and McClintock, F. A., "Describing uncertainties in single sample experiments," *Mechanical Engineering*, vol. 75, pp. 3-8, 1953.
- [25] Systemair Technical Handbook. (Oct. 20, 2019). *Ventilation*, [Online]. Available: www.systemair.com/fileadmin/user_upload/systemair-b2b/Support/Technical_Handbook_EN_2019-10_E2029.pdf.
- [26] Ebmpapst. (Nov. 4, 2018). *Comparison: Energy-saving motor (ESM) vs. Q-motor* [Online]. Available: www.ebmpapst.co.uk/media/content/news_media/ebmpapst_news/content_epnews/FirstSpirit_1421932187875Schulung_ESM_E~1.pdf.
- [27] B.K. Sovacool, "Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: a critical survey," *Energy Policy*, vol. 36, no. 8, pp. 2950–2963, 2008.
- [28] R. Tripathi, G.N. Tiwari and V.K. Dwivedi, "Overall energy, exergy and carbon credit analysis of N partially covered Photovoltaic Thermal (PVT) concentrating collector connected in series," *Solar Energy*, vol. 136, pp. 260–267, 2016.
- [29] E. Arslan, and M. Aktaş, "4E analysis of infrared-convective dryer powered solar photovoltaic thermal collector," *Solar Energy*, vol. 208, pp. 46–57, 2020.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Investigation of Cement, Mineral and Chemical Additive Interactions in Micro Scales

Murat GÖKÇE ^a, Osman ŞİMŞEK ^b, Kenan TOKLU ^{c,*}

^a, Department of Architecture, Faculty of Architecture, Amasya University, Amasya, TURKEY

^b Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, TURKEY

^c Department of Civil Engineering, Çorlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: ktoklu@nku.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.944934

ABSTRACT

Self-compacting concretes (SCC), a new type of concrete, were realized with the development of polycarboxylate-based chemical additives. The interaction of these additives with the powder materials in the nano and micro scales affects the fresh and hardened properties of concrete in meso and macro scales. To change and improve the macro-dimensional properties of concrete, it is necessary to better analyze the nano-micro-dimensional interaction. The aim of this study is to examine the interactions of cement, mineral and chemical additives in micro scale. For this purpose, the zeta potential values of the mixtures consisting of cement, water, calcite and blast furnace slag prepared by using a polycarboxylate based plasticizer additive were analyzed. In addition, SEM analyzes of hardened samples were made on the 28th days.

Keywords: Zeta potential, Polycarboxylate-based chemical additive, SEM image

Mikro Boyutlarda Çimento, Mineral ve Kimyasal Katkı Etkileşimlerinin İncelenmesi

ÖZ

Polikarboksilat esaslı kimyasal katkıların geliştirilmesi ile yeni bir beton türü olan kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) hayata geçirilmiştir. Bu katkı maddelerinin nano ve mikro boyutlardaki toz malzemelerle etkileşimi, betonun taze ve sertleşmiş özelliklerini mezo ve makro boyutlarda etkilemektedir. Betonun makro boyutlu özelliklerini değiştirmek ve iyileştirmek için nano-mikro boyutlu etkileşimini daha iyi analiz etmek gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı çimento, mineral ve kimyasal katkı maddelerinin etkileşimlerini mikro ölçekte incelemektir. Bu amaçla polikarboksilat esaslı plastikleştirici katkı kullanılarak hazırlanan çimento, su, kalsit ve yüksek fırın cürufundan oluşan karışımların zeta potansiyel değerleri analiz edilmiştir. Ayrıca 28. günde sertleşmiş numunelerin SEM analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zeta potansiyeli, Polikarboksilat bazlı kimyasal katkı, SEM görüntüsü

Received: 30/05/2021, Revised: 20/06/2021, Accepted: 26/06/2021

*This study is produced from Doctoral Thesis titled "Investigation of the interaction of paste phase with chemical admixtures in self-consolidating concrete".

INTRODUCTION

Researchers have produced self-compacting concrete (SCC), which is one of the latest generation concrete types, having high flow-passing capability and stability properties over the last decades [1]. Due to these properties, SCC is a concrete that can be placed on the molds with its own weight without vibration or too little vibration [2]. In addition, it is a concrete type that is cohesive enough to be processed by eliminating the negative properties of its fresh state such as segregation and bleeding [2]. Thus, high strength concrete having low energy consumption, low labor costs and low porosity can be easily produced [3]. In order to produce the freshly SCC having the desired properties, chemical additives such as a particularly effective superplasticizer and a higher proportion of ultra-thin materials should be added to the mixture [4,5].

With the help of super plasticizers or high water reducers, the workability of the concrete increases with the good dispersion of the cement particles in the concrete mixture, and thus the amount of mixing water decreases [6]. However, the interaction of the cement and superplasticizer is not fully understood and research on this subject is ongoing [7]. There are many ways for determining the optimum dosage of the superplasticizers in the mixture, such as slump test [8,9], the flow table test [9,10] and Marsh cone test [9,11] in terms of rheological perspective [9]. However, these tests only give information about the flow of cement paste and do not give information about the dispersion of cement grains, which is the main effect of superplasticizer in cement paste [9]. Different methods are applied to examine the interaction between colloidal particles and superplasticizers [12]. One of them is the measurement of the zeta potential of cement-water suspensions [12]. The zeta potential, which is the measurability of an electrical interface, is used in electrical double layer theory [13] (Figure 1). The zeta potential is affected by the surface structure of the solid particles and the content of the liquid [14-20].

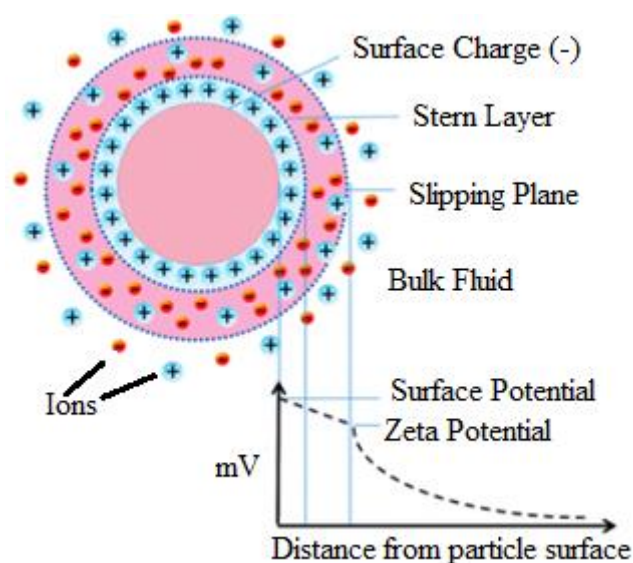


Figure 1. Configuration of double layer [21]

In the study conducted by Ersoy et al. [22], time dependent zeta potentials of the pure clinker phase of normal portland cement were measured. As a result, they found that the C3S phase showed positive zeta potential. They also emphasized that the ambient pH does not affect the zeta potential of the C3S phase much, but the +2 valence Ca^{+2} ions are the main parameter in the zeta potential of the C3S phase. Lastly, the authors said that there was a weak relationship between hydration temperature data and time-dependent zeta potential data.

Yıldız et al. [23] examined the mineralogical, molecular, zeta potential and simultaneous thermal compatibility of usage of pumice and zeolite in high strength concrete. According to the analysis results, it is stated that CEM I 42.5 R is suitable for surface charges of pumice and zeolite, but CEM I 42.5 R and pumice are more electrokinetically compatible.

Srinivasan et al. [9] investigated that the superplasticizers were absorbed by cement particles and the zeta potential formed between the interfaces of these particles was measured using electroacoustic technique. The study investigated both the zeta potential magnitude for ordinary Portland cement and Portland pozzolanic cement pastes and also the effects of different superplasticizers on these cement types. When the results were analyzed, Portland pozzolanic cement pastes showed a better distribution than ordinary Portland cement pastes. The article also tried to reveal the importance of the interaction of three different superplasticizers with cement. In general, it was concluded that one of the best ways to understand the absorptive and dispersing effect of superplasticizers in cement paste is by measuring the zeta potential of cement suspensions.

In another study [24], the general method, which takes into account the experimentally achievable total surface conductivity, has been introduced in the analysis of ESA data obtained from partially concentrated suspensions. When the zeta potentials obtained and the zeta potentials without taking into account contribution of the stagnant layer to surface conductivity were compared, it was found that the zeta potential obtained is unambiguously higher than the other. Also in this study, the mobility of potassium and magnesium ions in stagnant layer in terms of hydrodynamic was analyzed. It has been concluded that while the level of magnesium mobility is considerably decreased, the ionic mobility of potassium has the same magnitude as in bulk solution [24].

The aim of this study is to examine the interactions of cement, mineral and chemical additives in micro scale. For this purpose, the zeta potential values of the mixtures consisting of cement, water, calcite and blast furnace slag prepared by using a polycarboxylate based plasticizer additive were analyzed. In addition, SEM analyzes of hardened cement pastes were made on the 28th days.

II. MATERIAL AND METHOD

A. MATERIAL

A. 1. Chemical Additive

Polycarboxylate based chemical additive was used in this study. Table 1 shows the physical properties of the chemical additive.

Table 1. Physical properties of the chemical additive

Features	Values
Density (g/cm ³)	1.06
pH	5.6
Solid matter (%)	25

A. 2. Blast Furnace Slag (BFS)

The density and specific surface area of the BFS obtained from Kardemir Karabuk Iron and Steel Factory is 3 g/cm³ and the is 3785 cm²/g, respectively. Table 2 shows the chemical analysis of BFS.

Table 2. Chemical analysis of BFS

Oxide	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
Content (%)	38.5	36.31	9.98	7.8	2.92	0.63	0.66	1.38	0.23	1.31

A. 3. Calcite

In this study, calcite obtained from the Sivrihisar region and passed under a 75 micron sieve used. The density and specific surface area of calcite are 2.72 g/cm³ and 4160 cm²/g, respectively. Table 3 shows the chemical analysis of calcite.

Table 3. Chemical analysis of calcite

Oxide	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Content (%)	0.01	53.94	0.07	1.93	0.01	0.06	0.13

A. 4. Cement

CEM I 42.5 R cement was used in the study. Table 4 shows the physical and chemical properties of the cement.

Table 4. Physical and chemical properties of cement

Physical Properties								
Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	2 days strength (MPa)	7 days strength (MPa)	28 days strength (MPa)	Initial setting (min)	Final setting (min)	Volume expansion (mm)	LOI* (%)
3.1	3300	27.3	40.8	51.7	162	282	1	2.5
Chemical Properties (%)								
SO ₃	Cl	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
2.81	0.01	20.04	5.27	3.38	62.23	1.89	0.04	0.78

*Loss on ignition

B. METHOD

Samples were prepared to understand the starting interaction of polycarboxylate based chemical additives with powder materials in the concrete in micro scales. Samples prepared for this purpose were produced as follows; the amounts of the binder, water, chemical additives were kept constant in all cement paste prepared and reference cement paste. Then, BFS was added as a replacement material to cement at the rates of 10%, 20%, 30% and 40% of cement weight and calcite was added as an additional material to mixture at the rates of 10%, 15%, 20% and 25% of cement weight in mixture. Mixture quantities and rates are given in Table 5.

Table 5. Mixing amounts and ratios for cement pastes

Mixture	Materials (g)					Abbreviation
	Cement	Water	Calcite	BFS	Polycarboxylate Based Chemical Additive	
R	1000	330	0	0	10	R=Reference
RCa10	1000	330	100	0	10	RCa10 = R + 10 wt% Ca
RCa15	1000	330	150	0	10	RCa15 = R + 15 wt% Ca
RCa20	1000	330	200	0	10	RCa20 = R + 20 wt% Ca
RCa25	1000	330	250	0	10	RCa25 = R + 25 wt% Ca
C90BFS10	900	330	0	100	10	C90BFS10 =90% Cement + 10 wt% BFS
C80BFS20	800	330	0	200	10	C80BFS20 =80% Cement + 20 wt% BFS
C70BFS30	700	330	0	300	10	C70BFS30=70% Cement + 30 wt% BFS
C60BFS40	600	330	0	400	10	C60BFS40=60% Cement + 40 wt% BFS
C90BFS10Ca10	900	330	100	100	10	C90BFS10Ca10 =90% Cement + 10 wt% BFS +10 wt% Ca
C90BFS10Ca15	900	330	150	100	10	C90BFS10Ca15 =90% Cement + 10 wt% BFS +15 wt% Ca
C90BFS10Ca20	900	330	200	100	10	C90BFS10Ca20 =90% Cement + 10 wt% BFS +20 wt% Ca
C90BFS10Ca25	900	330	250	100	10	C90BFS10Ca25 =90% Cement + 10 wt% BFS +25 wt% Ca
C80BFS20Ca10	800	330	100	200	10	C80BFS20Ca10 =80% Cement + 20 wt% BFS +10 wt% Ca
C80BFS20Ca15	800	330	150	200	10	C80BFS20Ca15 =80% Cement + 20 wt% BFS +15 wt% Ca
C80BFS20Ca20	800	330	200	200	10	C80BFS20Ca20 =80% Cement + 20 wt% BFS +20 wt% Ca
C80BFS20Ca25	800	330	250	200	10	C80BFS20Ca25 =80% Cement + 20 wt% BFS +25 wt% Ca
C70BFS30Ca10	700	330	100	300	10	C70BFS30Ca10 =70% Cement + 30 wt% BFS +10 wt% Ca
C70BFS30Ca15	700	330	150	300	10	C70BFS30Ca15 =70% Cement + 30 wt% BFS +15 wt% Ca
C70BFS30Ca20	700	330	200	300	10	C70BFS30Ca20 =70% Cement + 30 wt% BFS +20 wt% Ca
C70BFS30Ca25	700	330	250	300	10	C70BFS30Ca25 =70% Cement + 30 wt% BFS +25 wt% Ca
C60BFS40Ca10	600	330	100	400	10	C60BFS40Ca10 =60% Cement + 40 wt% BFS +10 wt% Ca
C60BFS40Ca15	600	330	150	400	10	C60BFS40Ca15 =60% Cement + 40 wt% BFS +15 wt% Ca
C60BFS40Ca20	600	330	200	400	10	C60BFS40Ca20 =60% Cement + 40 wt% BFS +20 wt% Ca
C60BFS40Ca25	600	330	250	400	10	C60BFS40Ca25 =60% Cement + 40 wt% BFS +25 wt% Ca

-BFS was used a partial cement replacement in the mixtures, Ca was added to cement as an additional material.

B. 1. Experiments For Samples Having Micro Size

The zeta potential is measured by ultrasonic sound waves, the vibrations emitted by the particles according to the surface charge potential value, as a result of the electric field applied to the mixture consisting of the pastes placed in the cell of the test device (Figure 2). The speed and dynamic mobility of the particles were calculated from the sound waves emitted by vibrations. As a result of the experiment, zeta potential values were obtained as Mv unit.

While preparing the pastes, mixing was done according to TS EN 197-1 [25]. The prepared pastes were placed in the zeta potential measuring device and the experiment was continued for 15 minutes and a measurement result was taken every 30 seconds. In the zeta potential device, it is mixed with a mixer at a constant speed (60 rpm) so that pastes remain homogeneous during the experiment. The data obtained after 15 minutes (zeta potential, ESA) were recorded by taking the average. Samples taken pastes prepared for zeta potential measurements placed to molds having 5 mm diameter and 3 mm height for SEM analysis. SEM analysis of hardened paste samples were performed at days 1, 7 and 28. While SEM analysis was performed on 1-day samples without curing, it was performed on 7 and 28 day samples subjected to water curing at 20 ± 1 ° C. The zeta potential for each prepared paste and SEM analysis for the hardened samples were made in this study.

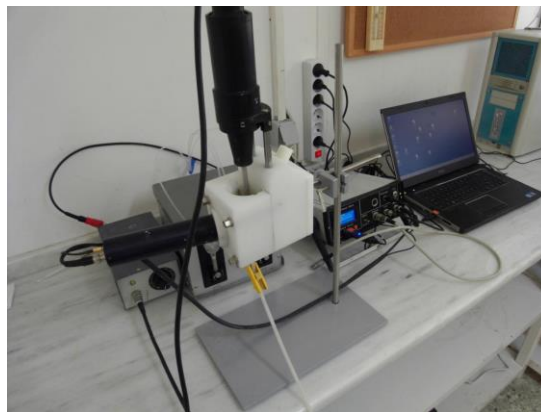


Figure 2. Zeta potential measurement test device

III. RESEARCH FINDINGS

Large particles of BFS have more smoother edge lines and smoother surface texture than smaller particles as seen from Figure 3.

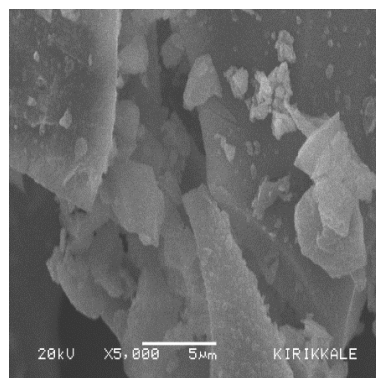


Figure 3. SEM micro image of BFS

In the SEM analysis given in Figure 4, it is observed that the calcite sample has more irregular geometric shapes, more rough surface texture compared to the BFS.

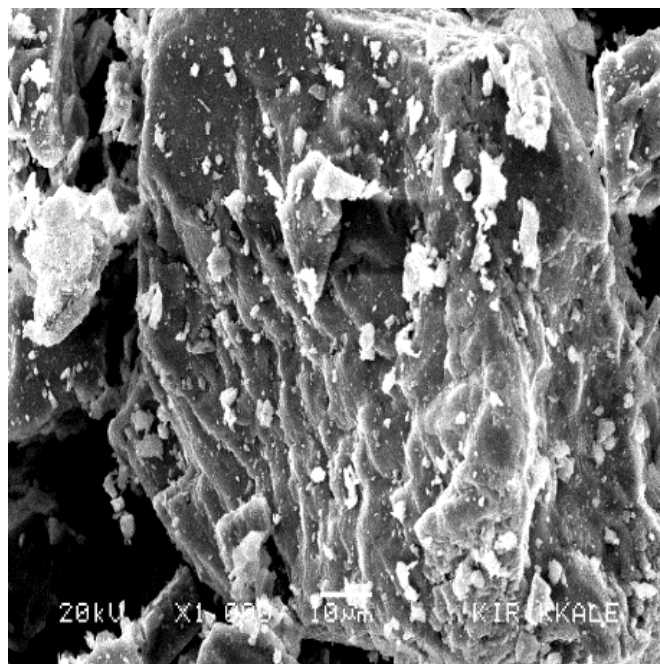


Figure 4. SEM micro image of calcite [26]

As seen in Table 6, the highest zeta potential was found as 94.6 mV in the cement paste mixture, which is C60BFS40Ca10 (C:cement, BFS: blast furnace slag, Ca: calcite). The lowest zeta potential was determined as 52.8 mV in the reference sample. In addition, it is seen in Table 6 that an increase in zeta potential values was generally occurred by adding calcite to cement for reference samples. The addition of 20% calcite to the reference sample provided the greatest increase in zeta potential value compared to other reference samples. BFS substitutions increased zeta potential values compared to the reference sample. The zeta potential value of the paste with 20% BFS substitution was higher than those produced at 10%, 30% and 40% BFS substitution rates. With the addition of 10%, 15%, 20% and 25% calcite to C90BFS10 paste, calcite addition rates increased but zeta potential values decreased. In the same way, with the addition of 10%, 15%, 20% and 25% calcite to C80BFS20 paste, calcite addition rates increased but zeta potential values decreased. While the zeta potential values decreased with the increase of calcite addition rates in the paste mixes that added 10%, 20% and 25% calcite to the C70BFS30 paste, the zeta potential increased in the 15% calcite addition mixture, which is C70BFS30Ca15. Also, while the zeta potential values decreased in the paste mixes where 15% calcite was added to the C60BFS40 paste, the zeta potential values increased in the mixture of C60BFS40Ca10, C60BFS40Ca20 and C60BFS40Ca25.

The reason for the serious differences of the zeta potentials obtained is that the grain sizes of the powder materials (cement, BFS and Ca) used in the paste phase are different from each other and large according to this test method.

Table 6. Results of zeta potential for all samples

Mixture	Zeta Potential (mV)	ESA (mPa*M/V)	Abbreviation
R	52.8	1.24	R=Reference
RCa10	53.6	1.20	RCa10 = R + 10 wt% Ca
RCa15	56.5	1.24	RCa15 = R + 15 wt% Ca
RCa20	85.2	1.83	RCa20 = R + 20 wt% Ca
RCa25	82.0	1.72	RCa25 = R + 25 wt% Ca
C90BFS10	61.0	1.42	C90BFS10 =90% Cement + 10 wt% BFS
C80BFS20	78.5	1.4	C80BFS20 =80% Cement + 20 wt% BFS
C70BFS30	60.9	1.39	C70BFS30=70% Cement + 30 wt% BFS
C60BFS40	56.4	1.29	C60BFS40=60% Cement + 40 wt% BFS
C90BFS10Ca10	81.7	1.79	C90BFS10Ca10 =90% Cement + 10 wt% BFS +10 wt% Ca
C90BFS10Ca15	79.5	1.73	C90BFS10Ca15 =90% Cement + 10 wt% BFS +15 wt% Ca
C90BFS10Ca20	75.6	1.61	C90BFS10Ca20 =90% Cement + 10 wt% BFS +20 wt% Ca
C90BFS10Ca25	70.7	1.57	C90BFS10Ca25 =90% Cement + 10 wt% BFS +25 wt% Ca
C80BFS20Ca10	87.8	1.87	C80BFS20Ca10 =80% Cement + 20 wt% BFS +10 wt% Ca
C80BFS20Ca15	83.5	1.77	C80BFS20Ca15 =80% Cement + 20 wt% BFS +15 wt% Ca
C80BFS20Ca20	81.7	1.81	C80BFS20Ca20 =80% Cement + 20 wt% BFS +20 wt% Ca
C80BFS20Ca25	79.5	1.73	C80BFS20Ca25 =80% Cement + 20 wt% BFS +25 wt% Ca
C70BFS30Ca10	85.9	1.83	C70BFS30Ca10 =70% Cement + 30 wt% BFS +10 wt% Ca
C70BFS30Ca15	92.5	1.93	C70BFS30Ca15 =70% Cement + 30 wt% BFS +15 wt% Ca
C70BFS30Ca20	79.9	1.76	C70BFS30Ca20 =70% Cement + 30 wt% BFS +20 wt% Ca
C70BFS30Ca25	77.9	1.69	C70BFS30Ca25 =70% Cement + 30 wt% BFS +25 wt% Ca
C60BFS40Ca10	94.6	1.96	C60BFS40Ca10 =60% Cement + 40 wt% BFS +10 wt% Ca
C60BFS40Ca15	76.3	1.64	C60BFS40Ca15 =60% Cement + 40 wt% BFS +15 wt% Ca
C60BFS40Ca20	84.5	1.75	C60BFS40Ca20 =60% Cement + 40 wt% BFS +20 wt% Ca
C60BFS40Ca25	87.0	1.82	C60BFS40Ca25 =60% Cement + 40 wt% BFS +25 wt% Ca

-BFS was used a partial cement replacement in the mixtures, Ca was added to cement as an additional material.

Figure 5 shows the SEM image of the 28-day reference paste and also the EDS analysis (Figure 6) of the region indicated by the red line. According to the results of EDS and SEM analyzes, it is seen that calcium silicate hydrates are in the majority in this region.

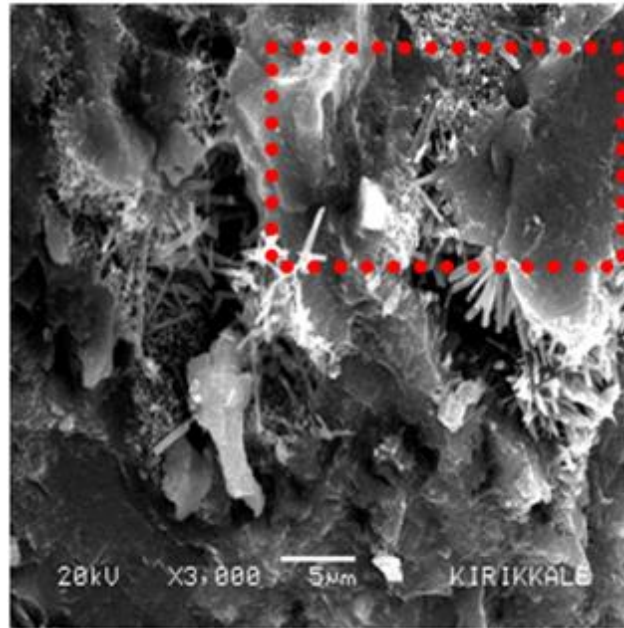


Figure 5. SEM image of the reference cement paste on the 28th day

Component	Type	Mole Conc.	Conc.		
C O2	Calc	0,000	0,000	wt. %	
MgO	Calc	3,099	2,128	wt. %	
Al2O3	Calc	1,289	2,240	wt. %	
SiO2	Calc	32,884	33,665	wt. %	
SO3	Calc	1,911	2,607	wt. %	
Cl2O	Calc	0,211	0,312	wt. %	
K2O	Calc	0,123	0,197	wt. %	
CaO	Calc	59,884	57,218	wt. %	
Fe2O3	Calc	0,600	1,634	wt. %	
		100,000	100,000	wt. %	Total
El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
C	Ka	8,08	1,271	0,000	wt. %
O	Ka	42,65	2,921	38,296	wt. %
Mg	Ka	11,63	1,525	1,284	wt. %
Al	Ka	12,74	1,596	1,186	wt. %
Si	Ka	189,83	6,162	15,736	wt. %
S	Ka	11,99	1,548	1,044	wt. %
Cl	Ka	2,93	0,765	0,254	wt. %
K	Ka	1,90	0,617	0,163	wt. %
Ca	Ka	414,14	9,101	40,894	wt. %
Fe	Ka	5,13	1,013	1,143	wt. %
				100,000	wt. % Total
kV		20,0			
Takeoff Angle		35,0°			
Elapsed Livetime		20,0			

Figure 6. EDS analysis of the region indicated by the red line on the SEM image for the reference cement paste on the 28th day

In the 28-day SEM analysis of hardened cement paste (Figure 7), RCa25, the presence of ettringite in the region marked with the red line was determined according to the EDS (Figure 8) result.

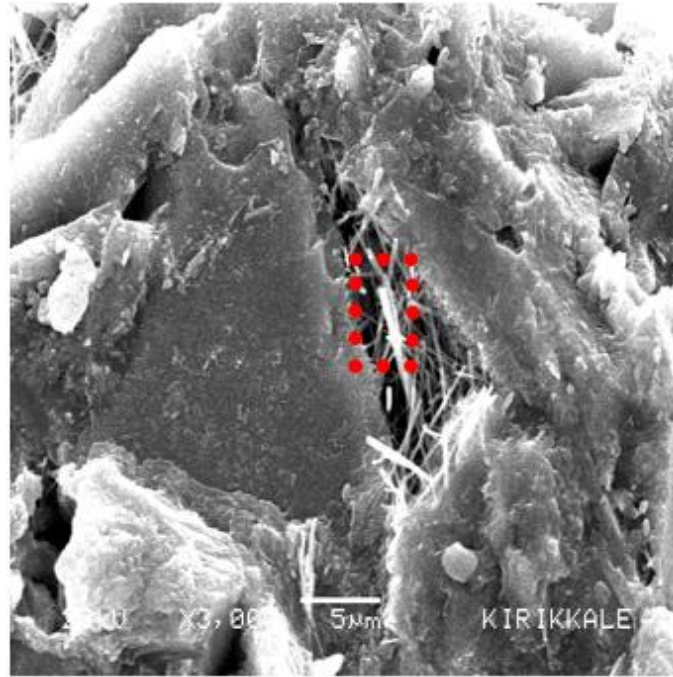


Figure 7. SEM image of the RCa25 paste on the 28th day

Component	Type	Mole Conc.	Conc.	
C O2	Calc	0,000	0,000	wt.%
MgO	Calc	1,402	0,916	wt.%
Al2O3	Calc	2,639	4,361	wt.%
SiO2	Calc	17,848	17,379	wt.%
P2O5	Calc	2,897	6,665	wt.%
SO3	Calc	2,888	3,747	wt.%
Cl2O	Calc	0,112	0,158	wt.%
CaO	Calc	71,085	64,604	wt.%
MnO2	Calc	0,636	0,896	wt.%
Fe2O3	Calc	0,492	1,273	wt.%
		100,000	100,000	wt.%
				Total

El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
C	Ka	0,00	0,000	0,000	wt.%
O	Ka	8,53	1,306	36,847	wt.%
Mg	Ka	1,73	0,588	0,552	wt.%
Al	Ka	8,66	1,316	2,308	wt.%
Si	Ka	34,03	2,609	8,124	wt.%
P	Ka	11,54	1,519	2,909	wt.%
S	Ka	6,27	1,120	1,501	wt.%
Cl	Ka	0,54	0,327	0,129	wt.%
Ca	Ka	164,68	5,739	46,173	wt.%
Mn	Ka	1,00	0,447	0,566	wt.%
Fe	Ka	1,41	0,531	0,891	wt.%
				100,000	wt.%
					Total

kV	20,0
Takeoff Angle	35,0°
Elapsed Livetime	20,0

Figure 8. EDS analysis of the region indicated by the red line on the SEM image for the RCa25 paste on the 28th day.

The presence of calcium aluminate hydrate in the region marked with the red line on the lower left of the SEM image (Figure 9) for the C60BFS40Ca25 paste on the 28th day was determined according to the EDS result (Figure 10 (a)). In addition, the presence of calcium silicate hydrate in the region marked with the red line on the upper of the SEM image for the C60BFS40Ca25 paste on the 28th day

was determined according to the EDS result (Figure 10 (b)). Lastly, the presence of ettringite in the region marked with the red line on the middle of the SEM image (Figure 11) for the C60BFS40Ca25 paste on the 28th day was determined according to the EDS result (Figure 12).

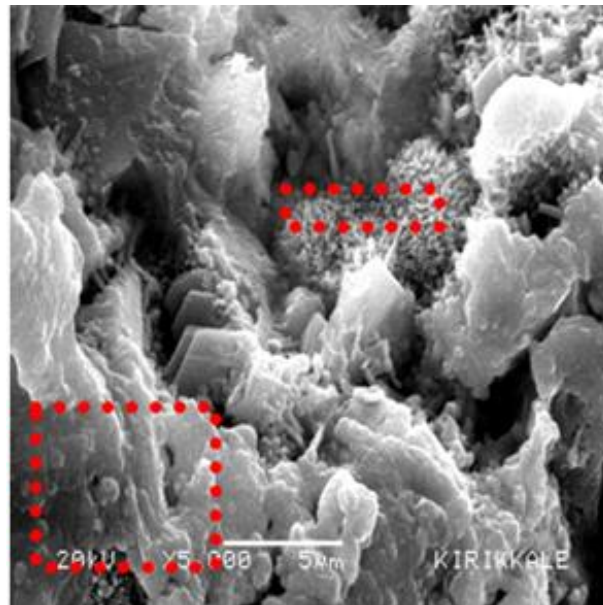


Figure 9. SEM image of the C60BFS40Ca25 paste on the 28th day

Component	Type	Mole Conc.	Conc.	
C O2	Calc	0,000	0,000	wt. %
MgO	Calc	1,729	1,116	wt. %
Al2O3	Calc	7,943	12,975	wt. %
SiO2	Calc	23,570	22,688	wt. %
SO3	Calc	1,548	1,986	wt. %
Cl2O	Calc	1,138	1,584	wt. %
K2O	Calc	0,316	0,476	wt. %
CaO	Calc	62,616	56,256	wt. %
Fe2O3	Calc	1,141	2,919	wt. %
		100,000	100,000	Total

El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
C	Ka	29,17	2,415	0,000	wt. %
O	Ka	56,03	3,348	37,123	wt. %
Mg	Ka	5,93	1,089	0,673	wt. %
Al	Ka	71,90	3,792	6,867	wt. %
Si	Ka	116,07	4,818	10,605	wt. %
S	Ka	8,94	1,337	0,795	wt. %
Cl	Ka	14,55	1,706	1,292	wt. %
K	Ka	4,45	0,944	0,395	wt. %
Ca	Ka	398,91	8,932	40,206	wt. %
Fe	Ka	8,93	1,336	2,042	wt. %
				100,000	Total

kV 20,0
Takeoff Angle 35,0°
Elapsed Livetime 20,0

Component	Type	Mole Conc.	Conc.	
C O2	Calc	0,000	0,000	wt. %
MgO	Calc	2,899	1,970	wt. %
Al2O3	Calc	2,289	3,935	wt. %
SiO2	Calc	29,813	30,201	wt. %
SO3	Calc	1,465	1,977	wt. %
Cl2O	Calc	0,397	0,581	wt. %
K2O	Calc	0,571	0,907	wt. %
CaO	Calc	61,838	58,467	wt. %
Fe2O3	Calc	0,728	1,961	wt. %
		100,000	100,000	Total

El.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
C	Ka	35,29	2,657	0,000	wt. %
O	Ka	24,51	2,214	37,434	wt. %
Mg	Ka	7,34	1,211	1,188	wt. %
Al	Ka	15,26	1,747	2,083	wt. %
Si	Ka	114,93	4,794	14,117	wt. %
S	Ka	6,27	1,120	0,792	wt. %
Cl	Ka	3,77	0,868	0,474	wt. %
K	Ka	6,03	1,098	0,753	wt. %
Ca	Ka	288,38	7,594	41,787	wt. %
Fe	Ka	4,22	0,918	1,372	wt. %
				100,000	Total

kV 20,0
Takeoff Angle 35,0°
Elapsed Livetime 20,0

(a)

(b)

Figure 10. (a) EDS analysis of the region indicated by the red line on the lower left of the SEM image for the C60BFS40Ca25 paste on the 28th day. (b) EDS analysis of the region indicated by the red line on the upper of the SEM image for the C60BFS40Ca25 paste on the 28th day.

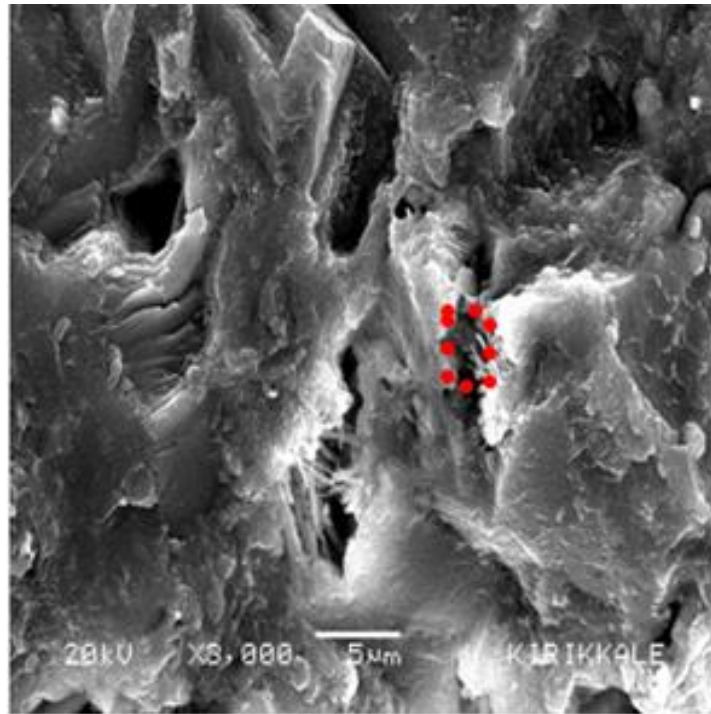


Figure 11. SEM image of the C60BFS40Ca25 paste on the 28th day

Component	Type	Mole Conc.	Conc.		
C O2	Calc	0,000	0,000	wt. %	
MgO	Calc	0,306	0,207	wt. %	
Al2O3	Calc	2,165	3,705	wt. %	
SiO2	Calc	6,505	6,561	wt. %	
SO3	Calc	5,267	7,079	wt. %	
Cl2O	Calc	0,137	0,200	wt. %	
K2O	Calc	0,354	0,559	wt. %	
CaO	Calc	84,450	79,499	wt. %	
Fe2O3	Calc	0,817	2,191	wt. %	
		100,000	100,000	wt. %	Total
El.	Line	Intensity (cps)	Error 2-sig	Conc	
C	Ka	9,21	1,357	0,000	wt. %
O	Ka	7,75	1,245	33,035	wt. %
Mg	Ka	0,42	0,289	0,125	wt. %
Al	Ka	7,94	1,260	1,961	wt. %
Si	Ka	14,08	1,678	3,067	wt. %
S	Ka	14,19	1,685	2,835	wt. %
Cl	Ka	0,80	0,399	0,163	wt. %
K	Ka	2,36	0,687	0,464	wt. %
Ca	Ka	227,64	6,747	56,818	wt. %
Fe	Ka	2,66	0,730	1,533	wt. %
				100,000	wt. % Total
kV		20,0			
Takeoff Angle		35,0°			
Elapsed Livetime		20,0			

Figure 12. EDS analysis of the region indicated by the red line on the middle of the SEM image for the C60BFS40Ca25 paste on the 28th day.

IV. CONCLUSION

The highest zeta potential value was obtained for C60BFS40Ca10 paste (94.6 mV). The lowest zeta potential was 52.8 mV for the reference sample. It has been determined that with the increase of calcite additions to the reference samples, it increases the zeta potential results.

The reason for the serious differences of the zeta potentials of the paste mixes is that the grain sizes of the powder materials (cement, BFS, Ca) used in the paste phase are very large compared to this test method.

In order for the measurement results with zeta potential to be more consistent, it will be necessary to work with much finer powder materials (cement, mineral additives, calcite). The specific surface area of all powder materials greater than 5000 cm²/gr can provide more consistent zeta potential results.

In the SEM analysis, it was observed that the calcium hydroxide rate in the environment decreased and C-S-H gels increased after 28 days with the increase of BFS rate. So, as new calcium silica hydrate gels are generated as a result of reactions of BFSs with calcium hydroxides, it has been observed that the amount of calcium hydroxide decreases in hardened pastes. In the SEM analysis, with the increase of the calcite addition rate, the volume of powder material increased and the micro voids decreased.

V. REFERENCES

- [1] O.R. Khaleel, S.A. Al-Mishhadani, H.A. Razak, "The effect of coarse aggregate on fresh and hardened properties of self-compacting concrete (SCC)," *Procedia Engineering*, vol. 14, pp. 805-813, 2011.
- [2] H.A. Mohamed, "Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions," *Ain Shams Engineering Journal*, vol.2, no.2, pp. 79-86, 2011.
- [3] C. Karakurt, A.O. Çelik, V. Kiriççi, E. Özyaşar, C. Yılmaz, "Kendiliğinden yerleşen beton davranışının hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile benzetimi," *Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 20, no. 59, pp. 449-460, 2018.
- [4] L. Iures, C. Bob, "The Future Concrete: Self-Compacting Concrete," *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, vol. 56, no. 2, pp. 93, 2010.
- [5] P.W. Zakka, O.F. Job, N.A. Anigbogu, "Ecological selfcompacting concrete using Gum Arabic as a plasticizer," *West Africa Built Environment Research Conference*, Ghana, pp. 10, 2015.
- [6] Y. Houst, P. Bowen, A. Siebold, "Some basic aspects of the interaction between cement and superplasticizers," *Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction*, vol. 12, pp. 225-234, 2002.
- [7] J., Plank, C. Hirsch, "Impact of zeta potential of early cement hydration phases on superplasticizer adsorption," *Cement and concrete research*, vol. 37, no. 4, pp. 537-542, 2007.
- [8] D.L. Kantro, "Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste—a miniature slump test," *Cement, Concrete and Aggregates*, vol. 2, no. 2, pp. 95-102, 1980.
- [9] S. Srinivasan, S.A. Barbhuiya, D. Charan, S.P. Pandey, "Characterising cement–superplasticiser interaction using zeta potential measurements," *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 12, pp. 2517-2521, 2010.

- [10] ASTM C230 / C230M-14, "Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement," *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2014.
- [11] P.C. Aïtein, C. Jolicoeur, & J.G. MacGregor, "A look at certain characteristics of superplasticizers and their use in the industry," *Concrete international*, vol. 16, no. 15, pp. 45-52, 1994.
- [12] L. Ferrari, J. Kaufmann, F. Winnefeld, J. Plank, "Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements," *Journal of colloid and interface science*, vol. 347, no. 1, pp. 15-24, 2010.
- [13] B. Salopek, D. Krasic, S. Filipovic, "Measurement and application of zeta-potential," *Rudarsko-geolosko-naftni zbornik*, vol. 4, no. 1, pp. 147-151, 1992.
- [14] A. Uçar, "Effect of surface properties on fluorite flotation," PhD Thesis, Osmangazi University Institute of Science, Eskişehir, Turkey, pp. 11-22, 1995.
- [15] A. Uçar, "Colloid and surface chemistry," *Lecture notes*, pp. 138-155, 2004.
- [16] D.J. Shaw, *Introduction to colloid and surface chemistry*, Butterworths, London. pp. 231, 1970.
- [17] M.C. Fuerstenau, J.D. Miller, M.C. Kuhn, *Chemistry of Flotation, Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. Inc*, New York, pp. 177, 1985.
- [18] D.N. Fuerstnau, S. Chander, "Thermodynamics of flotation, advances in mineral processing," *In Arbiter Symposium*, pp. 121-136, 1985.
- [19] J.M.W. Mackenzie, "Zeta potential studies on mineral processing measurement techniques and applications," *Mineral Science and Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 25-43, 1971.
- [20] A. Uçar, Y. Kocak, A. Dorum, "Çimento sektöründe zeta potansiyeli," *Engineering Sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 308-318, 2010.
- [21] N. Marriaga-Cabrales, F. Machuca-Martínez, "Fundamentals of electrocoagulation," *PeraltaHernández, JM, Rodrigo-Rodrigo, MA & Martínez-Huitle, CA In: Evaluation of Electrochemical Reactors as a New Way to Environmental Protection*, Kerala: Research Signpost, pp. 1-16, 2014.
- [22] B. Ersoy, T. Kavas, S. Dikmen, E. Akbulut, A. Olgun, F.M. Kavas, "Saf C3S Fazının Zamana Bağlı Zeta Potansiyel (ZP) Değişimi İle Hidratasyonu Davranışı (Prizlenme) Arasındaki İlişki," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 14, no. 3, pp.479-488, 2014.
- [23] K. Yıldız, A. Dorum, Y. Koçak, "Pomza Zeolit ve Cem I Çimentosunun Minerolojik Moleküler Elektrokinetik ve Termal Uyumunun Yüksek Dayanımlı Betona Etkisinin Araştırılması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 25, no. 4, pp. 867-879, 2010.
- [24] M. Löbbus, J. Sonnfeld, H.P. van Leeuwen, W. Vogelsberger, J. Lyklema, "An improved method for calculating zeta-potentials from measurements of the electrokinetic sonic amplitude," *Journal of Colloid and interface Science*, vol. 229, no. 1, pp. 174-183, 2000.
- [25] TS EN 197-1, "Cement—Part 1: Composition, Specifications and Conformity Criteria for Common Cements," *Turkish Standard Institution*, Ankara, 2012.



[26] M. Gökçe, O. Şimşek, The effect of calcite and blast furnace slag on the rheology properties of self-compacting concrete in meso and macro scales. *Revista de la construcción*, vol. 20, no. 1, pp. 190-204, 2021.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Effective Use of Solar Energy with BIM Supported Parametric Methods: Case Study Al-Shaab Stadium

 Filiz BAL KOÇYİĞİT^{a,*},  Abdullah ALLAWI^b

^a Department of Architecture, Faculty of FAD&A, Atılım University, Ankara, TURKEY

^b Department of Civil Eng. Faculty of Engineering Atılım University, Ankara, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: filiz.kocyigit@atilim.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.915940

ABSTRACT

In this study, it is aimed to create an infrastructure that can contribute to the integration of parametric techniques and the joint work of construction and architectural science through an exemplary building design. The ability to respond to changes in data entry in algorithms gives architectural designers the opportunity to optimize structures and form at the same time. At the same time, replacing inputs with parametric techniques saves time in the design process. Otherwise, the design will have to be redesigned from the beginning, depending on the periodic change made in the design. In addition to this, it has been emphasized to build a building design and structure that will provide energy efficiency. In order to create low cost in profit-cost ratios, the possibility of minimizing the inefficient surfaces with the design method by analysing the floats with maximum energy gain due to creating solar plans. The algorithmic design used for this is modelled on the visual and optimizes the geometry to achieve maximum energy efficiency for the building form. To find solar panels suitable for the building geometry design, there is a need to model the actual effect of the sun's rays on the building. One of the key parameters that helped us reach the results of the study is to explore the possibility of using modern guidelines of exemplified stadium designs. This research is based on a method of comparing analysis between two prototype proposals tested to show the effect of the sun on geometry using parametric algorithms. In this case, "Grasshopper 3D" software was used for radiation, daylight hours and shadows to create parametric algorithms in the solar effect simulations process. The purpose of using parametric simulation was to increase energy efficiency for the stadium. Additionally, generative design was used for structural optimization. In this study, generative design was also used to optimize the stadium design structure, which helps to significantly reduce the amount of materials used in the formation of the structure and its costs. In this study, with the help of the Building Information Modelling (BIM) program used, solar energy gains affecting the building were investigated and energy gain-loss calculations were made by using environmental data. The obtained data and shell design samples were compared. In the study, Al Shaab stadium in Baghdad was evaluated as an experimental model for modelling the reality.

Keywords: Parametric design, Energy efficiency, Grasshopper, Solar panels, Structural optimization, Building Information Modelling (BIM)

Received: 15/04/2021, Revised: 26/04/2021, Accepted: 03/05/2021

YBM Destekli Parametrik Yöntemler ile Güneş Enerjisinin Etkin Kullanım Analizi: Al-Shaab Stadyumu Vaka Çalışması

ÖZ

Tasarım alanında parametrik tasarım, çeşitli algoritmalar, değişkenler ve sayılardan oluşan farklı durumlara adapte edilebilen ve dinamik bir süreci tanımlar. Algoritmalarındaki girilen verilerin değişimine cevap verebilme yeteneği, tasarımcılara yapıları ve formlarını aynı anda optimize etme fırsatı verir. Aynı zamanda girdilerin parametrik yöntemlerle değiştirilmesi, tasarım sürecine de zaman kazandırmaktadır. Aksi halde, tasarımda girilen revizyonlara bağlı olarak tasarımın baştan yeniden tasarlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, özellikle enerji verimliliği sağlayacak bir yapı tasarımı ve strüktürünü inşa etmek ön plana çıkartılmıştır. Kar-maliyet oranlarında düşük maliyet oluşturmak amacıyla güneş panelleri oluşturulmuş, dolayısı ile maksimum enerji kazançlı yüzeylerin analizini yaparak, verimsiz yüzeylerin tasarım yöntemi ile minimuma indirgenme olanağı analiz edilmiştir. Bunun için kullanılan algoritmik tasarım, binanın görselini modeller ve bina formu için maksimum enerji verimliliği elde etmek amacıyla geometriyi optimize eder. Bina geometrisi tasarımına uygun güneş panellerini tespit etmek için, güneş ışınlarının bina üzerindeki gerçek etkisini modellenme ihtiyacı oluşmuştur. Çalışmanın sonuçlarına ulaşmamıza yardımcı olan temel parametrelerden biri, örnek alınan stadyum tasarımlarının modern talimatlarını kullanma olasılığını keşfetmektir. Bu araştırma, parametrik algoritmalar kullanarak güneşin geometri üzerindeki etkisini göstermek için test edilen iki prototip önerisi arasındaki analizlerin karşılaştırması yöntemine dayanmaktadır. Bu durumda, güneş ışığı simülasyonları sürecinde parametrik algoritmaları oluşturmak için radyasyon, gün ışığı saatleri ve gölgeler için "Grasshopper 3D" yazılımı kullanılmıştır. Parametrik simülasyon aracı kullanılmasının amacı, stadyum için enerji verimliliğini artırmaktır. Bu çalışmada, stadyum tasarım yapısını optimize etmek için üretken tasarım da kullanılmıştır, bu da yapının oluşumunda kullanılan malzeme miktarını ve maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaya yardımcı olmuştur. Bu çalışmada, kullanılan Yapı Bilgi Modellemesi (YBM) programı yardımıyla binayı etkileyen güneş enerjisi kazanımları araştırılmış ve çevresel verilerden yararlanılarak enerji kazanç-kayıp hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen veriler ve kabuk tasarım örnekleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, örnek bir yapı tasarımı üzerinden, parametrik tasarım tekniklerin entegrasyonu, inşaat ve mimarlık disiplinlerinin ortak çalışmasına katkıda bulunabilecek altyapı oluşturulması amaçlanmıştır. Alan çalışması olarak Bağdat'taki Al Shaab stadyumu, deneysel bir model olarak ele alınmış, optimizasyon çalışmaları bu model üzerinden yürütülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Parametrik tasarım, Enerji etkin mimari, Grasshopper, Güneş panelleri, Strüktürel optimizasyon, Yapı Bilgi Modellemesi (YBM)

I. INTRODUCTION

Al-Shaab Stadium was incipiently designed to be an Olympic stadium; thus, it has the features to be a multi-purpose space. For example, besides Football, it can host other sports types that help expand the stadium uses and grow its financial viability. Football fields can also host amusement events, including concerts, festivals, theatrical glamor, and commercial / consumer shows[1].Therefore, Stadiums need to increase the area of spectators. However, making the pitchlarger for another sport or adding a running track around the field can cause the football spectator's seats to be far from the field. It reduces their sense of participation and interaction with the game and decreases their enthusiasm. Stadium developers often have to increase the size of the stadium regarding clients' requests. Occasionally, these requirements are inevitable.Unfortunately, this would result in a much less successful facility than a football field explicitly built around a football field's dimensions [2].The consequence of increasing stadium area is the increasing of the stadium roof. Solar plans can be used to cover the stands, but to know where the solar radiation will on roof surfaces, there is a need to simulate the solar effect on geometry[3]. In this research, two-hypotheses for comparing the pros and cons of developing Al-Shaab stadium were done. These are:

Hypothesis (H0): The effect and value of using shell form on the energy efficiency design.

Hypothesis (H1): The effect and value of using the cylindrical form on the energy efficiency design.

Mainly represents the parametric analysis as the subject.

P. Caponi [4] presented the techniques of Luigi Moretti's parametric theory in architecture. Also, shows Moretti's recommendations by leaving the empiricism thinking in the design, and using the parametric method include procedures, tools, and objectives.

M.S. Roudsari [5] has research presenting the ladybug tool features in comparison with environmental tools. Also, showing the instant response of environmental information behaviour changing on a building through the design process.

Atsushi Shiota and Ayumi Tada, [6] had shown a new manner in converting raster data simulation's results to vector data. Also, presented how to analyze the solar radiation amount and the correction of these data.

P. Shepherd, R. Hudson [7] shows the success of new technology of design by integrating parametric technique to model design across all disciplines. Also, the collaboration between architects and structural engineers by the response to immediate changes without re-designing or re-analyzing the structure.

II. STADIUM MASS

Before putting the solar plans for the roof, knowing which part of the geometry is mostly affected by the sun and the temperature variation throughout the year in Baghdad city. To know the weather information, we used a "Grasshopper 3d" plugin called "Ladybug." This tool allows us to simulate and visualize the radiation and the sun hours per day on the geometry.

Two masses were created to simulate, one is a cylindrical shape, and the second is a shell shape to compare between them and see which one is better to get more hours and radiation. in

simulation has been ignored the stadium's surrounding context because the area beside is an open area and no high-rise structures or buildings (Figure 1)[8].



Figure 1. Stadium site and surrounding context. Source: (Google Earth)

III. WEATHER DATA

Al-Shaab Stadium is located on the right side of Baghdad city near the Tigris River, and the city of Baghdad is located in the middle of Iraq in the alluvial plain of the Mesopotamian Valley. The climate in Baghdad is characterized by being hot and dry during the summer months. In winter, temperatures reach below zero on some days of the year although sunlight available most of the year [9].

As for the eco-friendly buildings, there is a newly completed project, which is the International Shuadaa Stadium, in which solar panels were used in some areas of its roof (Figure 2). More specifically, a small part of the roof includes solar cells with an area of approximately 7000 square meters installed on the roof of the stadium that will provide it with 1200 kW. This stadium is the only environmentally friendly facility in Baghdad[10].



Figure 2 .Solar plates- International Shuadaa Stadium, Baghdad[11]

To find out the relationship between the temperature variation and its effect on the facility in the city of Baghdad, the temperature variation must be known first, by extracting it using the Energy Plus Weather File (EPW) information in the “Grasshopper” through the tool “Ladybug” which provides temperature information according to the location of the building or the city geographically (Figure 3). Providing this information is essential to know if the site is suitable for using energy panels or not. Also, knowing the temperatures throughout the year qualifies us to conduct the radiological analysis of the sun in the coming stages (Figure 4) (Figure 5).

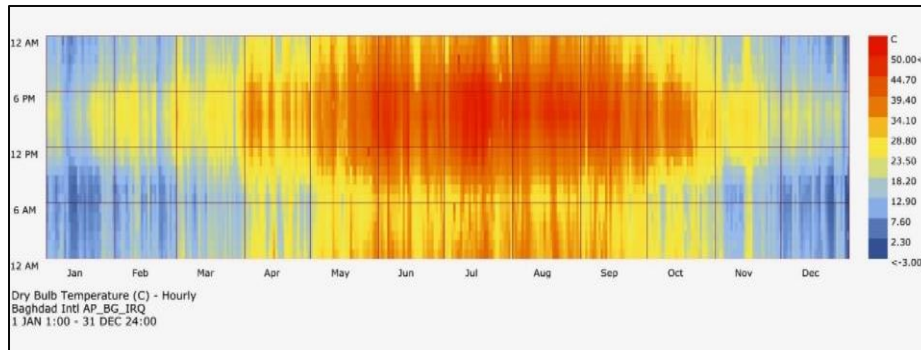


Figure 3. Baghdad's temperature hourly variation, (1 Jan – 31 Dec, 2020)

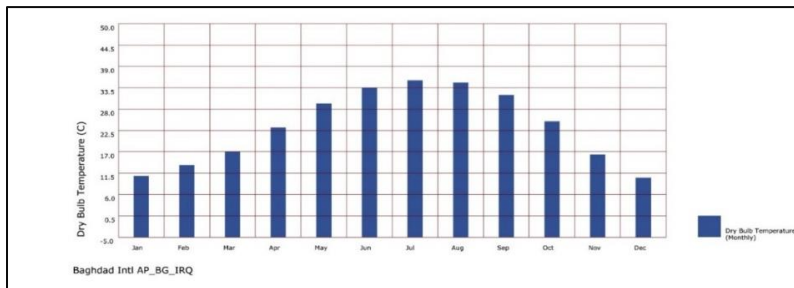


Figure 4. Baghdad's dry temperature monthly variation, (1 Jan – 31 Dec, 2020)

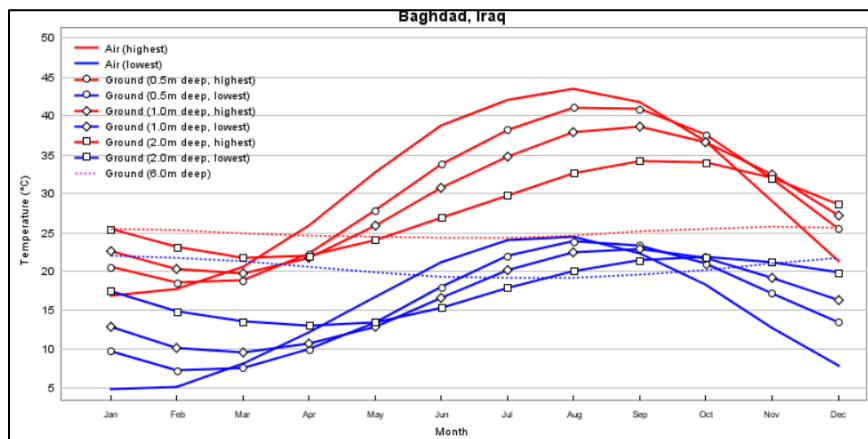


Figure 5. Baghdad's temperature hourly variation, from “Energy 3D” software, (1 Jan – 31 Dec, 2020)

IV. METHODOLOGY

A. ANALYSIS

The methodology used in this research depends on the comparing between two prototypes for three different simulations; Radiation simulation analysis, sunlight hours, and the shadows. Also, reviewing topology optimization tools, to compare parametric tools for architecture and structure.

A. 1. Solar Radiation Analysis

An essential aspect of the analysis process is solar radiation analysis. The experiment for two prototypes (shell form) and (cylindrical form) has used the algorithmic design of the "Ladybug" tool, one of the Grasshopper environment plugins. Solar radiation analysis improves the eco-friendly buildings in case of using solar plates system as major electric supply. Equinox times have been chosen for analysis[9].As for illustrating the mechanism of the algorithm (Figure 6) simply shows the workflow for this algorithm. First, link the weather data from the "Ladybug" tool website with the algorithm and link it with the "Import" parameter. Second, by using the number slider determine the simulation duration time and dates for the simulation. Third, link the data with the "colour" parameter to the "Ladybug Sun path" parameter to calculate the data and process it before links it with " Ladybug Radiation analysis"parameter to simulate the radiation of the geometry.

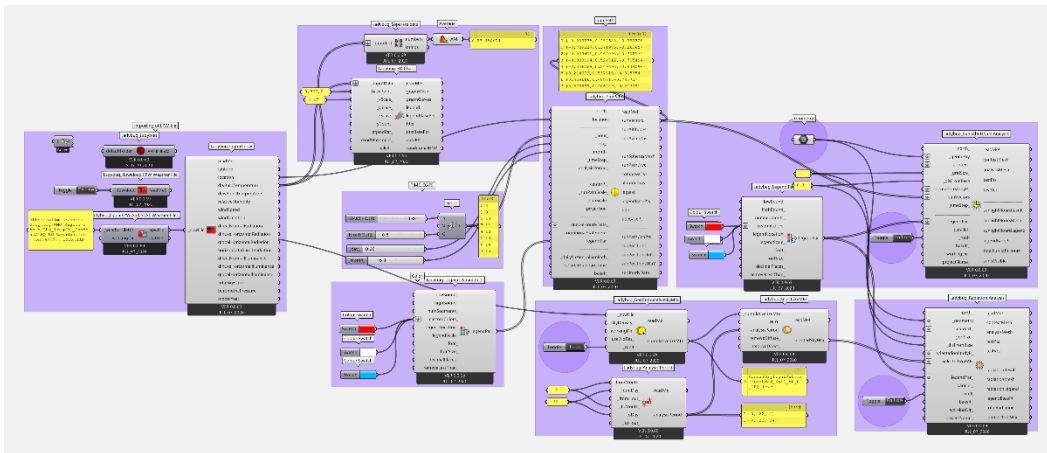


Figure 6. Radiation algorithm Using "Ladybug"

A. 2. Hours of Sunlight

Another aspect after solar radiation analysis is analysing the number of hours to determine solar radiation's time during the day where the surfaces have hours of exposure to the sun. The same tool, "Ladybug," for analysing the sun's radiation, is also used to analyse the hourly sunlight for different times of the year, equinox time. The same algorithm in (Figure 6) was used in radiation analysis was used to simulate hours of sunlight too, but the difference with selecting the last parameter " Ladybug Sunlight Hours Analysis " to did the simulation [12,13].

A. 3. Shadow Analysis

To optimize the ceiling surfaces that will use the solar plates, shadow analysis will be the final key factor for this stage. Nevertheless, the shadow analysis will be showing in the black and white abstract view from using the "DIVA" tool. DIVA tool is another environment Grasshopper plugin used to analyse environmental data[14](Figure 7) shows the illustrating mechanism of run the DIVA algorithm. To run it, First, determine the geometry for the experiment. Second, select the weather data from a file path, then by using the number slider determine the simulation duration time and dates, after preparing all data link it to "solar arc" to provide the shadow simulation.

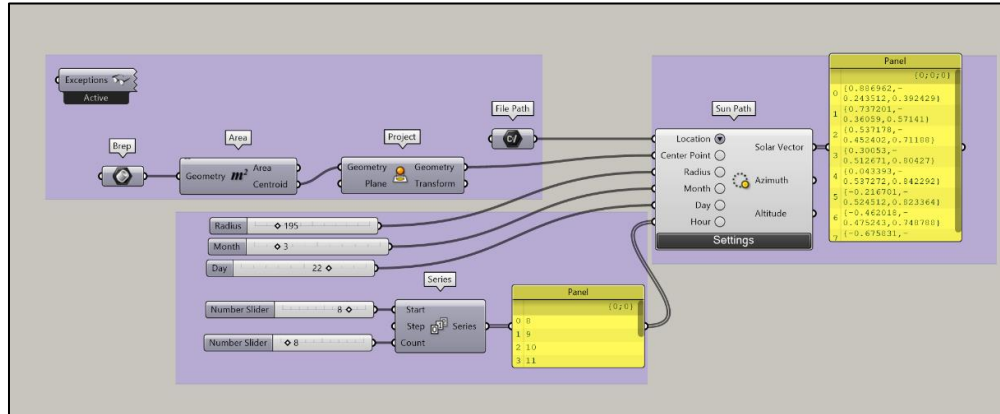


Figure 7. Shadow analysis algorithm

B. STRUCTURE ENHANCEMENT

As another application of algorithmic design is topology optimization. Which is a mathematical process to determine the maximum material that gives a better performance for a body, mass, or shape. Topology optimization's importance is to minimize materials used to the applied load and extract the structure's unnecessary volumes. Therefore, it is directly related to reducing the costs of construction.

First, a section of the stadium mass has been prepared by the "LunchBox" tool in Grasshopper. This tool allows to modify the geometry and extract the experimented section(Figure 8). The purpose of using the Lunchbox tool is to prepare the section shown in (Figure 9) without redrawing manually. If any change in geometry in the future, the algorithm will be a better solution for saving design time.

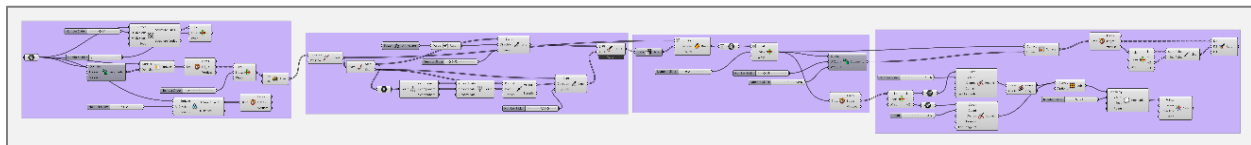


Figure 8. Lunchbox algorithm

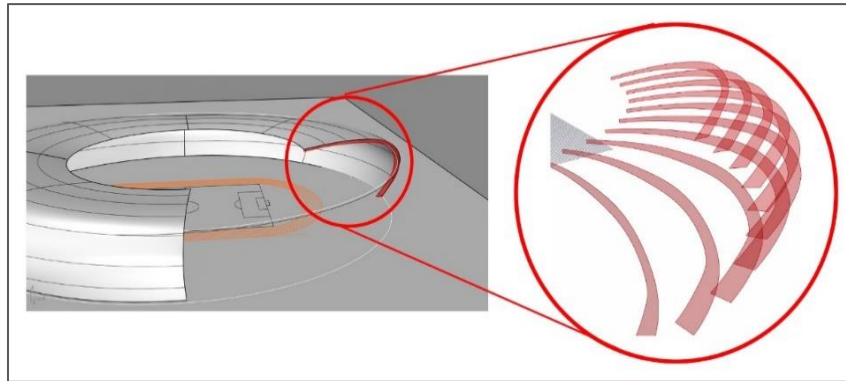


Figure 9. Section extracting by Lunchbox algorithm

After extracting the experimental section from the cylindrical form shapes surface, topology optimization was done using the "TOPOS" plugin in Grasshopper (Figure 10)[15]. The tool workflow considers the load, supports, boundary conditions, and boundary properties. The algorithm's applied load was 1.1 KN/m² (solar plats weight, live load, and dead load), without considering wind loads.

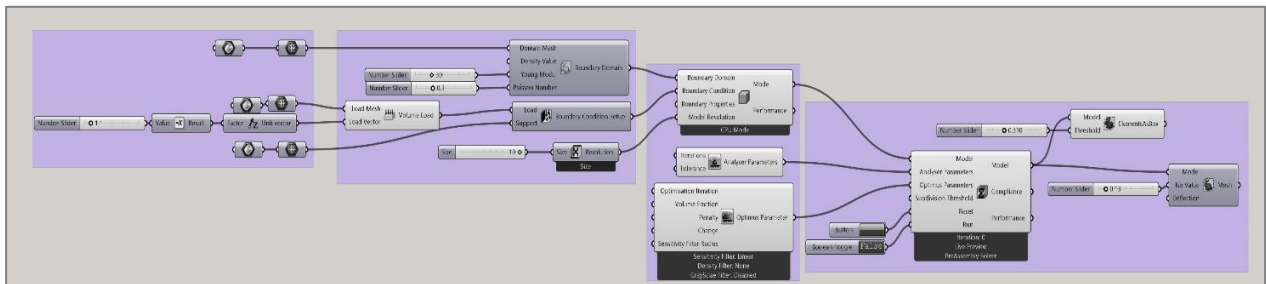


Figure 10. TOPOS algorithm

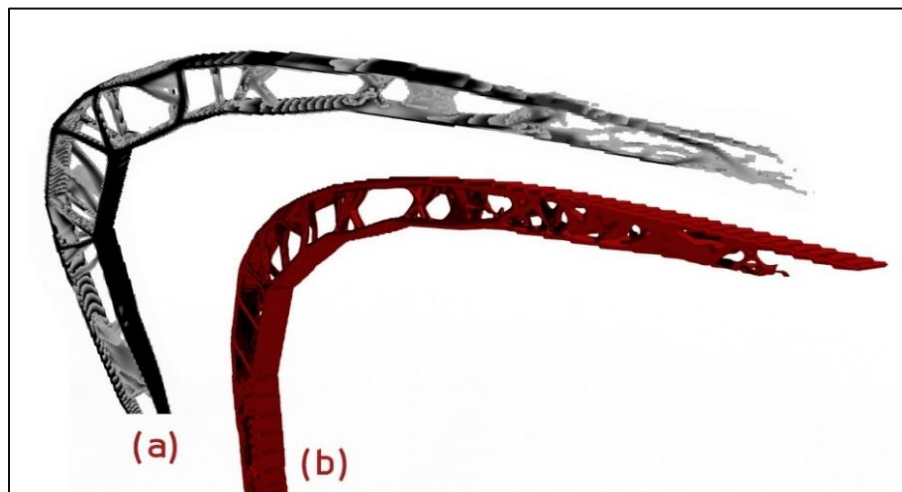


Figure 11.(a) Closer image pixel result. (b)Final result

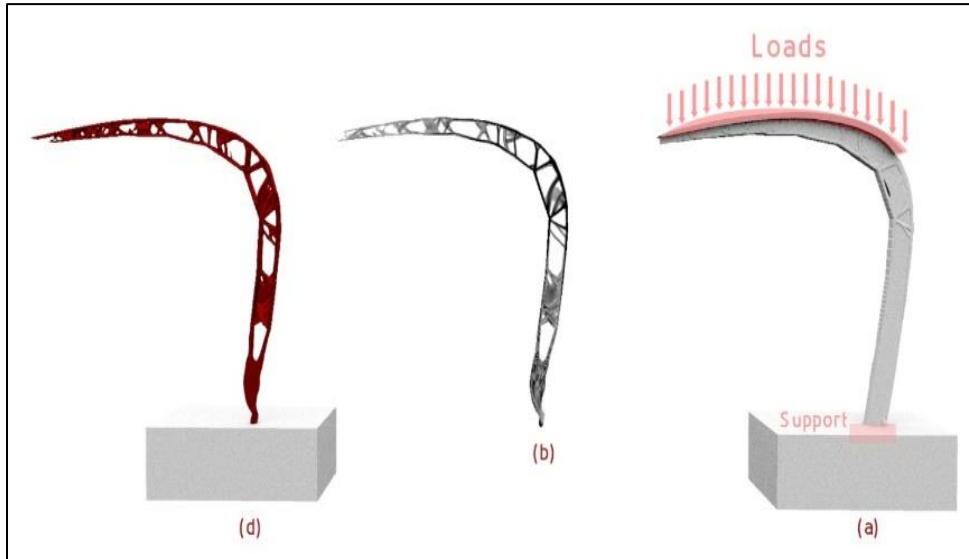


Figure 12. Topology optimization for a section sample. (a) loads, and support. (b) pixel result. (d) Final result

The outputs of this tool are two styles. First, pixel result (Figure 11 - a), which mainly refers to loads transferring from the applied forces to the support. Second, the soft mesh result (Figure 11 - b) is used to render the geometry, and it could be softer by using the "Weaverbird" tool. Finally, there is apparently torsion at the bottom of the column (Figure 12 - b), regards support only on the ground floor. The tool needs more options to input the data like structural software such as "SAAP, ETABS" to optimize the large-scale structure.

V. RESULTS

After exploring the algorithmic technique in different parametric tools, "Ladybug, DIVA 4.0, Lunchbox, TOPOS, and Weaverbird," the results were divided into two groups first the simulation analysis process results, and second the topology optimization tools review.

A. SIMULATION RESULTS

The simulation results show the analysis illustration and values for each prototype (01) and prototype (02) and compare between it as below:

A.1. Solar Radiation Analysis Results

Ladybug tool extracts the values of radiation shown in (Figure 13). These values are explained by unit "kWh/m²," and the colors change to the setting colors in the algorithm (Figure 6). According to the selecting experimenting times (Equinox time), the maximum value was 8.17 kWh/m² in June, and the lower value 0.17 kWh/m² in December; (Table 1). The variation in the radiation values illustrated in (Figure 14).

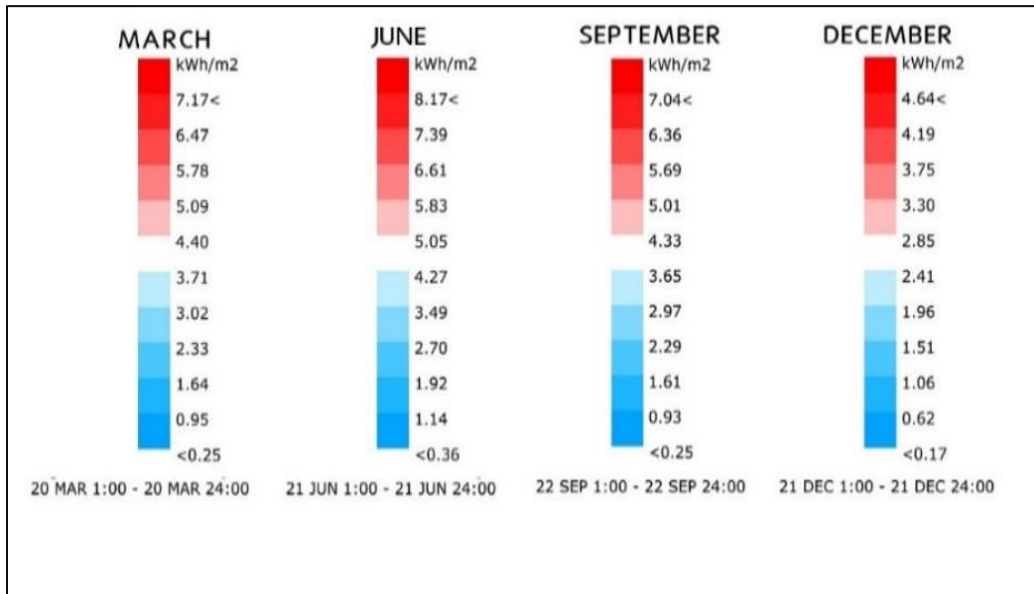


Figure 13. Solar Radiation Values (kWh/m²)

Table 1. Maximum and minimum solar radiation values (kWh/m²)(1 Jan – 31 Dec, 2020)

Radiation Values (kWh/m ²) - Equinox Time			
March	June	September	December
7.17	8.17	7.04	4.64
6.64	7.39	6.36	4.19
5.78	6.61	5.69	3.75
5.09	5.83	5.01	3.3
4.4	5.05	4.33	2.85
3.71	4.27	3.65	2.41
3.02	3.49	2.97	1.96
2.33	2.7	2.29	1.51
1.64	1.92	1.61	1.06
0.95	1.14	0.93	0.62
0.25	0.36	0.25	0.17

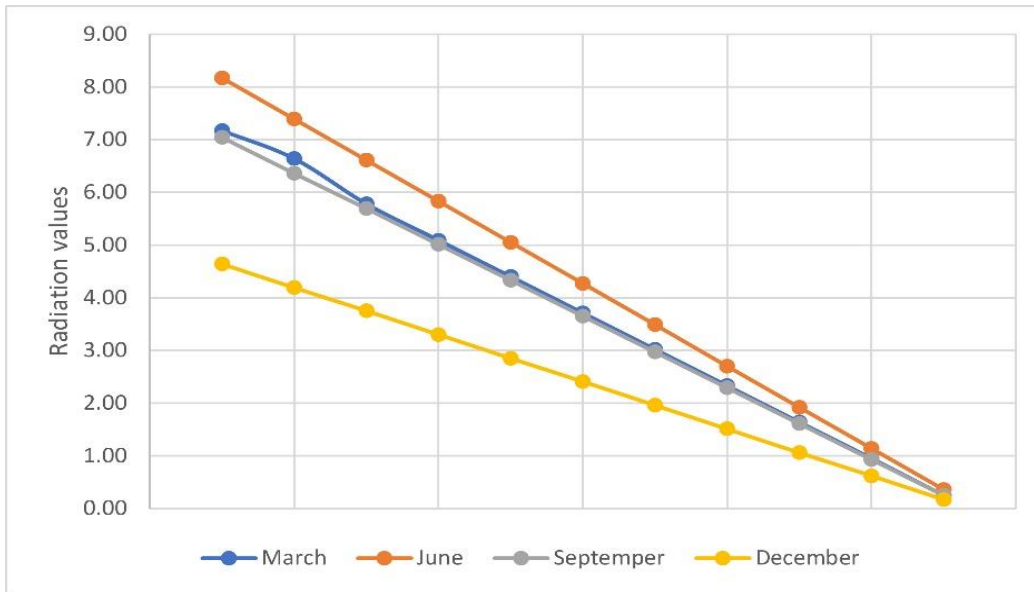


Figure 14. Variation in the solar radiation values(kWh/m²) (1 Jan – 31 Dec, 2020)

As shown in (Table 2), the prototype (02) cylindrical form presents better performance than the prototype (01) shell form in the radiation earning area. For radiation analysis of March, the radiation earning area of the prototype (02) increases by 22.5% than the prototype (01). For June, the radiation earning area of the prototype (02) increases by 25.5% than the prototype (01). For September, the radiation earning area of the prototype (02) increases by 12.3% than the prototype (01). For December, the radiation earning area of the prototype (02) increases by 9%, and only 6% increases for the prototype (01); These data are illustrated in (Figure 15).

Table 2 - Analysis Results

	March	June	September	December
Prototype (01) - shell Form.				
Prototype (02) - Cylindrical Form.				

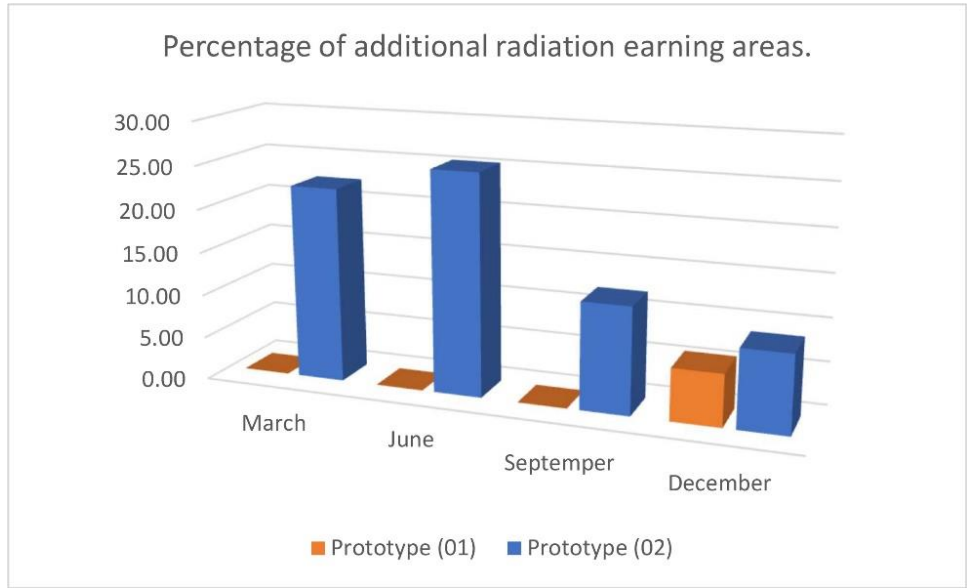


Figure 15. Percentage of additional radiation earning area

A.2. Shadow Analysis Results

As shown in (Table 3), For shadows analysis, the prototype (02) cylindrical form presents better performance than the prototype (01) shell form, with fewer shade areas. The shade areas of March of the prototype (02) are less by 15.75% than the prototype (01). For June, the shade areas of the prototype (02) are less by 11.75% than the prototype (01). For September, the shade areas of the prototype (02) are less by 16.3% than the prototype (01). For December, the shade areas of the prototype (02) are less by 37%, and only 29.3% decreasing the prototype (01); These data are illustrated in (Figure 16).

Table 3 - Shadow analysis

	March	June	September	December
Prototype (01) - shell Form.				
Prototype (02) - Cylindrical Form.				

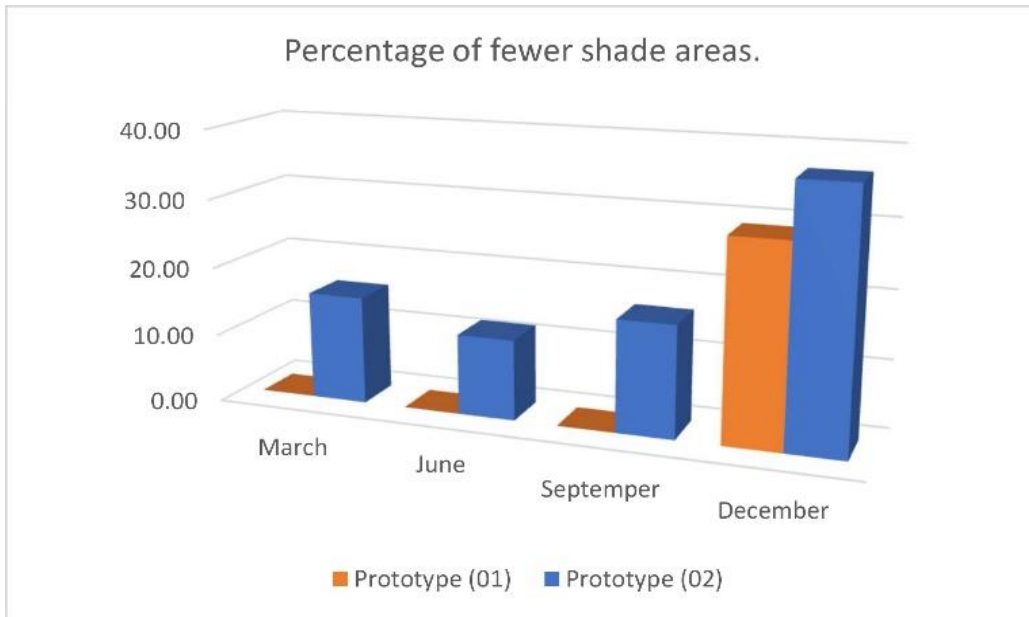


Figure 16. Percentage of fewer shade areas

A.3. Sunlight Hours Analysis Results

As shown in (Table 4), For sunlight hours analysis, the prototype (02) cylindrical form presents better performance than the prototype (01) shell forming the sunlight hours earning area. Where the sunlight hours earning area of March, the prototype (02) increases by 45.5% than the prototype (01). For June, the sunlight hours earning area in the prototype (02) increases by 29.5% than the prototype (01). For September, the sunlight hours earning area in the prototype (02) increases by 40% than the prototype (01). For December, the sunlight hours earning area in the prototype (02) increases by 46%, and only 29% increases for the prototype (01); These data are illustrated in (Figure 17).

Table 4 - Sunlight hours

	March	June	September	December
Prototype (01) - shell Form.				
Prototype (02) - Cylindrical Form.				

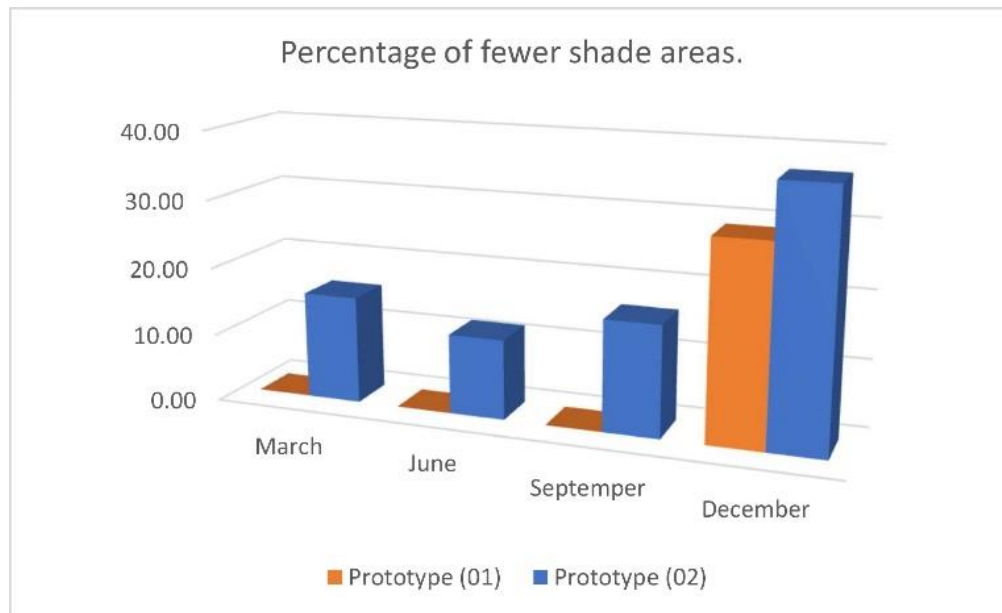


Figure 17. Percentage of fewer shade areas

As clearly shown in the tables above, the cylindrical form presents better performance than the shell form. The concept of increasing the stadium's surface to earn more roof area for solar plates, as in the case of shell form, may not be perfect. The increasing of surfaces as cantilevers may increase the cost of the construction. Furthermore, it could complicate the structural design and the construction methods. So, simulate the effect of climate on a building is very essential, it helps to understand the pros and cons of a design for a function not only form.

B. TOPOLOGY OPTIMIZATION TOOLS REVIEW

The parametric tools show a huge development in the way of programming of these tools but this for the architectural side. For the structure side, it still needs more development to be conceded as a design reference. To understand the level of development of these tools, Table 5 below shows the difference between the architectural simulation tools, and topology optimization tools; and shows the pros and cons for each other.

Table 5. Parametric tools comparison

Comparison factor	Structure tools (Topology optimization tools: TOPOS)	Architectural tools (Simulation tools: Ladybug, DIVA 4.0)
Hardware requirements	High	Medium, Low
Processing time	Long time	Short time
Interactive view	Slow	Fast
Easy to use	Normal	Normal
Accuracy	Low	High
Range of functions	Limited	Multi-functional
Programming level	Beginner	Advanced

VI. CONCLUSION

In this study, the integration of architectural design and civil engineering and how solar energy from energy sources can be activated by building envelope design was investigated. solar energy panels have increasingly developed technology and application areas today. However, in cases where the building does not cooperate with the shell design or is not integrated into use, both the installation-maintenance-repair cost increases and its efficiency decreases.

The studies were carried out using a computer program (Grasshopper) supported simulation technique using the BIM (Building Information Modelling) system. The ability to respond to changes in data entry in algorithms gives architects the opportunity to optimize structures and form at the same time. Replacing the inputs with the parametric technique saves time in the design process, any changes that are made regularly in the design need to be redesigned from the beginning. However, building a structure for energy efficiency must use maximum surfaces to put solar plans. The algorithmic design simulates the effect and optimizes the geometry to achieve maximum energy efficiency for the building form.

Designers sometimes make decisions based on the eye in which the simulation analysis shows differences in values with different colours. Depending on the designer's opinion, the colours can be changed algorithmically. Colour preview helps to better understand the behaviour of the analysis.

Another advantage of simulation analysis is related to the reduction of construction costs by neglecting unnecessary surfaces that do not reach sunlight. The question is, this technique is easier to use than it is before, and how could it become widespread in the future for use in apartments, homes, and other structures.

Optimization in the TOPOS tool is the link between architectural and structural engineering in parametric technique. This tool, like other software, is based on structural analysis, but this tool tries to optimize the structure by neglecting unnecessary parts of the geometry. It mainly focuses on reducing the cost of construction. As shown in (Table 5) TOPOS is in the early stages of tool development and needs more work to compete with others optimizing software such as "Autodesk Fusion 360". The parametric tools served the field of architecture in terms of forms and functions very well, more than structural tools.

VII. REFERENCES

- [1] A. Al-Mashhadani (2015). "Story of Al-Shaab stadium. An Iraqi facility was never built like it before.," *Ishtar Channel*, [Online]. Available: <https://www.ishtartv.com/viewarticle,64637.html>.
- [2] FIFA (2007). "Football Stadiums - Technical recommendations and requirements," *FIFA Fédération Int. Footb. Assoc.*, [Online]. Available: http://www.fifa.com/mm/document/tournament/competition/football_stadiums_technical_recmmendations_and_requirements_en_8211.pdf%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Searh&q=intitle:Football+Stadiums.+Technical+recommendations+and+requirements.
- [3] S. G. Attia, "Early design simulation tools for net zero energy buildings : a comparison of ten tools design process & tools of nzeb," *Buildings*, pp. 14–16, 2011.
- [4] P. Caponi, F. Cutroni, and L. Rhode-Barbarigos, "Revisiting the 'M Stadium' project by luigi moretti: A forgotten model of parametric architecture," *IASS Symp. 2019 - 60th Anniv. Symp. Int. Assoc.*

Shell Spat. Struct. Struct. Membr. 2019 - 9th Int. Conf. Text. Compos. Inflatable Struct. FORM FORCE, no. September, pp. 2247–2256, 2019.

[5] M. S. Roudsari and M. Pak, “Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design,” *Proc. BS 2013 13th Conf. Int. Build. Perform. Simul. Assoc.*, pp. 3128–3135, 2013.

[6] A. Shiota, A. Tada, S. Yamada, K. Yokozawa, T. Kerdphol, and Y. Mitani, “Construction of Solar Radiation Simulation Database and Solar Radiation Simulation System using GIS and Application to the Agriculture Field,” *Acta Sci. Agric.*, vol. 3, no. 10, pp. 02–09, 2019.

[7] P. Shepherd, R. Hudson, and D. Hines, “Aviva Stadium: A parametric success,” *Int. J. Archit. Comput.*, vol. 9, no. 2, pp. 167–185, 2011.

[8] W. Khider, (2019). “The story of the design and construction of Al-Shaab International Stadium,” *kooora*, [Online]: Available: [\(1-5-2021\)](https://bit.ly/3sJibGV)

[9] Ali Ismaeel. (2019). “*Al-Shuhada Stadium in Iraq. the first environmentally friendly sports project that adopts solar energy.*,” [Online]: Available:[\(2-5-2021\)](https://bit.ly/3d9eB7S).

[10] M. Ramadhan.(2021). “*Habibiya stadium in Baghdad,*” *Rudaw.net*, 2021.[Online]: Available: <https://bit.ly/3e63wGl>.

[11] *Nidanews*, (2020). *Al-Shuhada Stadium waiting for the green light to announce the opening.*, [Online]: Available:<https://cutt.ly/2vMMG6e>.

[12] J. de S. Freitas, J. Cronemberger, and R. M. Soares, “Using rhinoceros plugins grasshopper and ladybug to assess BiPV Façades in Brasília.,” *Proc. Build. Simul. 2019 16th Conf. IBPSA*, vol. 16, no. July 2020, pp. 4467–4472, 2020.

[13] E. Touloupaki and T. Theodosiou, “Optimization of building form to minimize energy consumption through parametric modelling,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 38, pp. 509–514, 2017.

[14] C. Sun, H. Giles, and Z. Lian, “Parametric regression model for lighting calibration,” *Indoor Built Environ.*, vol. 25, no. 2, pp. 407–423, 2016.

[15] S. Bialkowski, “Topos GPGPU accelerated structural optimisation utility for architects,” vol. 1, pp. 679–688, 2004.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

A Bioinformatics-Based Approach for Designing Primer Sets in Determination of Meat Specificity

 Nursel SÖYLEMEZ MİLLİ^{a,*},  İsmail Hakkı PARLAK^b,  Ercan Selçuk ÜNLÜ^c,
 Mehmet MİLLİ^b,  Ömer EREN^d

^aScientific, Industrial and Technological Application and Research Center (STARC), Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, TURKEY

^bDepartment of Computer Engineering, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, TURKEY

^cDepartment of Chemistry, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, TURKEY

^dDepartment of Food Engineering, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: nurselsoylemez@ibu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.898519

ABSTRACT

Polymerase chain reaction (PCR) and its derivatives are one of the most widely used DNA-based methods in species determination studies in meat and meat products. Chromosomal or mitochondrial genes of the species can be targeted in PCR-based analyzes used in species detection studies. Many researchers are able to realize oligonucleotide differences between species through online alignment programs on mitochondrial DNA. Using chromosomal DNA would provide more concise results in quantification studies. However, determining the marker regions for genomic DNA is challenging due to the large size of the chromosomes. Bioinformatics approaches are available for selected applications. However, using those approaches requires intensive knowledge of computer science, molecular biology, and bioinformatics in addition to high computational power. In this study, a pipeline is presented that will provide a user-friendly approach to be adopted by facilities where contamination analyzes are routinely performed.

Keywords: Sequence alignment, Bioinformatics, Biocomputing, Food quality

Et Özgüllüğünün Belirlenmesinde Primer Setlerinin Tasarımına Yönelik Biyoinformatik Tabanlı Bir Yaklaşım

ÖZ

Polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ve türevleri, et ve et ürünlerinde tür belirleme çalışmalarında en yaygın kullanılan DNA bazlı yöntemlerden biridir. Tür tespit çalışmalarında kullanılan PCR tabanlı analizlerde türlerin kromozomal veya mitokondriyal genleri hedeflenebilir. Birçok araştırmacı, mitokondriyal DNA üzerindeki çevrimiçi hizalama programları aracılığıyla türler arasındaki oligonükleotid farklılıklarını gerçekleştirebilmektedir. Kromozomal DNA kullanmak, kantifikasyon çalışmalarında daha kısa sonuçlar sağlayacaktır. Bununla birlikte, genomik DNA için işaretleyici bölgelerin belirlenmesi, kromozomların büyüklüğünden dolayı zordur. Biyoinformatik yaklaşımlar, seçilmiş uygulamalar için mevcuttur. Ancak, bu yaklaşımları kullanmak, yüksek hesaplama gücüne ek olarak yoğun bilgisayar bilimi, moleküler biyoloji ve biyoinformatik bilgisi gerektirir. Bu çalışmada, kontaminasyon analizlerinin rutin olarak yapıldığı tesisler tarafından benimsenmesi için kullanıcı dostu bir yaklaşım sağlayacak bir kod akışı sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sekans hizalama, Biyoinformatik, Biyo-hesaplama, Gıda kalitesi

I. INTRODUCTION

Determining meat specificity is a serious problem, and verification of meat products is very important in the food industry [1]. Authentication of meat and meat products is essential for protecting public health, economic investment, and religious sanctity [2-4]. The integrity of food products is protected by national and international regulations that state that all ingredients must be labeled and all raw materials must be traceable [5]. The basis of these regulations is the approaches applied to determining the source of meat and its limits. In general, proteomics and genomics-based approaches are among the most preferred approaches. However, electrophoretic [6], spectroscopic [7], chromatographic [8], [9], immunological [10], biosensors [11-13] and electronic nose [14,15] chemometric approaches such as are also being studied.

Especially, the PCR method, which is one of the genomic-based approaches, is more sensitive compared to other methods due to the stability of DNA in hard conditions. Therefore, DNA identification techniques have enormous potential for forensics, diagnostics, and food analysis [1]. Various DNA-based techniques have been proposed by researchers: sequence-specific PCR [16-18], qPCR [19-21], PCR-RFLP [22,23], PCR-RAPD [24], ddPCR [25-27], DNA Barcoding [28,29].

Chromosomal or mitochondrial genes can be targeted for PCR-based applications in species detection [30]. Using mitochondrial DNA for analysis provides a low limit of detection but cannot be used for quantitation. Due to the varying number of mitochondrial DNA (mtDNA) between cells, single-copy chromosomal DNA was generally preferred as the target gene to ensure the reproducibility of quantitative PCR measurements [26,31]. It has been suggested that the use of mtDNA cannot be recommended in full quantification studies since it varies at least 5 times between different tissues (fat vs muscle) compared to chromosomal DNA [26].

Using chromosomal DNA would provide more concise results in quantification studies. However, determining the marker regions for genomic DNA is challenging due to the large size of the chromosomes. Bioinformatics approaches are available for selected applications. However, using those approaches requires intensive knowledge of computer science, molecular biology, and bioinformatics in addition to high computational power. In this study, a pipeline is presented that will provide a user-friendly approach to be adopted by facilities where contamination analyzes are routinely performed.

II. MATERIALS AND METHODS

To obtain the results, the alignment software offered by LAST and the proposed program for the appropriate primer design in chromosomal DNA alignment files for the mentioned species was run on Linux (Ubuntu) at a personal computer. The LAST algorithm finds similar regions between genome sequences and aligns them accordingly. It is an algorithm designed to compare vertebrate genomes or large genome sequences such as chromosomal DNA. The installation and update of the LAST alignment software are available on the official site [32].

Alignment files, produced by LAST, may take up very large spaces and may become unfavorable for researchers to search for useful information manually. Basic text editors are not suitable to handle the files on large scales. In order to locate and search divergent sub-sequence pairs in alignment files, we created an open-source Python project [33]. The project consists of two files: `differ.py` and `srch.py`. `differ.py` finds and stores all divergent sub-sequences of aligned pairs with respect to given parameters. Mandatory parameters for `differ.py` are input file (`-i`), output file prefix (`-o`), and minimum value of divergent sequence length (`-md`). Two optional parameters are similarity tolerance (`-ms`) and early stop limit (`-sa`). An example command to run `differ.py` can be given as:

```
python differ.py -i input_file -o output_prefix -md N -msT -saE
```

The above command reads `input_file`, finds all divergent sub-sequence pairs of minimum length `N` with tolerance `T`, and stores the results in `output_prefix_K_J.txt` files, each of which are containing at most 10MB of data, where $K \geq N$ and $J \geq 1$. Also, the program stops execution when `E` matches satisfying requirements given by former parameters. When the analysis is completed, `differ.py` outputs the length of the largest divergent sub-sequence to the terminal window. An example of the output of the proposed program is provided in Figure 1.

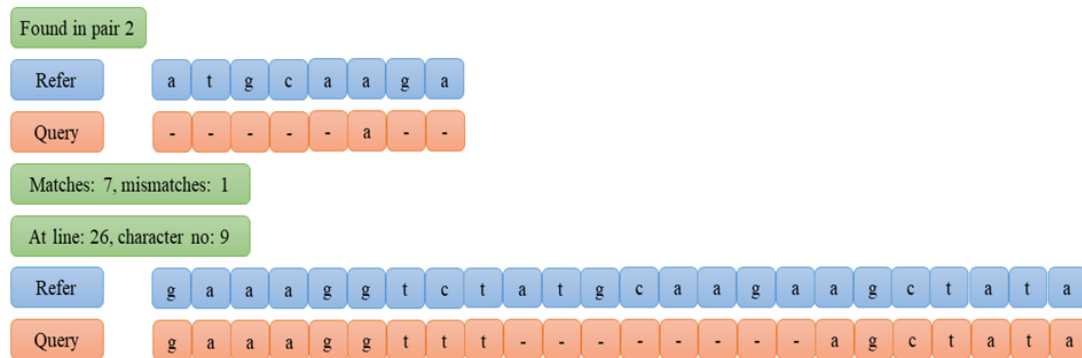


Figure 1. An example of pairs in output

The above statement can be interpreted as: at second pair in source alignment file, there is a 7 character long divergent sub-sequence with 1 erroneous character within, starting from 9th character at line 26. Reference sub-sequence is `atgcaaga` and query sub-sequence is `-----a--`. Also, the original reference and query sequences are given at the two bottom-most lines.

The second program, `srch.py`, perform a search for finding similar sub-sequences between output files generated by `differ.py` and a given FNA file. Parameters for `srch.py` are input file prefix (`-ipx`), the minimum length of similar sub-sequences (`-min`), the maximum length of similar sub-sequences (`-max`), which sequence in output files to look at (`-ord`), allowed percentage of indel symbols (`-rid`), tolerance of non-similarity (`-tol`) and target FNA file to perform the search (`-target`). An example command for running `srch.py` can be shown as:

```
python srch.py -ipxinput_prefix -min A -max B -ord R -rid I -tol T -target F
```

The above command performs a similarity search between all files with name `input_prefix_X` and `F`. Any sub-sequence, satisfying the parametrized requirements will be saved to output files named as `FNA_R_Y.txt`, where $Y \geq A$ and Y equals to the length of matching sub-sequence. The resulting output files are formatted as following:

```
> ATATA
  Line:15, Src: results_5_1.txt: 44
  Line:24, Src: results_5_1.txt: 44
```

The above statement can be interpreted as: `results_5_1.txt` file contains the sequence `ATATA` at its 44th line. This sequence is found at lines 15 and 24 of the given FNA file.

III. RESULTS

The proposed algorithm was implemented on a computer equipped with a Core I7 4720HQ 2.6 Ghz processor, 16 Gb DDR3 Memory, AMD® R9 M265X graphics card. 16GB of physical memory on the computer was not enough during the alignment processes used. This situation was solved with the SWAP operation command provided by the Ubuntu system during the installation and an area of 100 Gb from the HDD was recognized as virtual RAM to the operating system. Swap operation is a partition on the hard drive reserved by the operating system. When the size of the data exceeds the maximum RAM capacity, this part is used as RAM and thus the operations can continue. Performance indicators of proposed algorithms are shown Table 1.

Table 1. Performance indicators of proposed algorithms

Process	Operating System	CPU	Device Features			Species		Time
			RAM	HDD	GPU	First	Second	
Alignment (LAST)	Linux (Ubuntu)	Core I7 4720HQ 2.6 Ghz	16 GB DDR3+ 100GB SWAP	1 TB	AMD® R9 M265X	Pig (File Size:2.5 GB)	Cattle (File Size: 2.7 GB)	122h. 16 min. 3 sec.
First program (differ.py)	Linux (Ubuntu)	Core I7 4720HQ 2.6 Ghz	16 GB DDR3+ 100GB SWAP	1 TB	AMD® R9 M265X	Pig (File Size:2.5 GB)	Cattle (File Size: 2.7 GB)	153 h. 4 min. 26 sec.
Second program (srch.py)	Linux (Ubuntu)	Core I7 4720HQ 2.6 Ghz	16 GB DDR3+ 100GB SWAP	1 TB	AMD® R9 M265X	Pig (File Size:2.5 GB)		91 h. 56 min. 45 sec.
Second program (srch.py)	Linux (Ubuntu)	Core I7 4720HQ 2.6 Ghz	16 GB DDR3+ 100GB SWAP	1 TB	AMD® R9 M265X	Cattle (File Size:2.7 GB)		85 h. 4 min. 51 sec

Note: No other operation was performed on the computer during these processes.

Abbreviations: CPU: Computing Processing Unit – RAM: Read Only Memory – HDD: Hard Disk Drive – GPU: Graphics Processing Unit – HQ: High Quality – Ghz: Gigahertz.

In the second program, srch.py, it took 91 hours, 56 minutes, and 45 seconds to search the outputs of differ.py, the first program, in the Pig.FNA, on the personal laptop with the above features. The same situation took 85 hours, 4 minutes, and 51 seconds for the Cattle.FNA file.

IV. DISCUSSION & CONCLUSION

Most of the primers used in species identification and classification studies have been designed to target genes on mitochondrial DNA. On the other hand, primers designed based on chromosomal DNA sequences will be more useful than mitochondrial DNA, especially in comparing genomes close to each other, such as breeds of the same breed (two different bovine genomes). However, processing chromosomal DNA information is challenging to carry out necessary analysis using user-friendly online tools due to the large size of the sequence data. Another drawback is that using stand-alone-tools requires extensive knowledge and practice to understand the executable implementations of the tools.

In this study, we encoded a tool to represent species-specific chromosomal DNA regions belonging to pig and bovine species by aligning DNA sequences with each other. The Output file of this tool is

created by parsing the different oligonucleotide sequences between the species separately considering user-determined INDEL frame lengths.

In summary, we introduced a tool written in Python that can easily design primers for researchers who want to identify races close to each other. The developed tool along with its implementation documents is available for the academic community.

Optimization of software development will continue in order to increase the performance of the developed tool and to produce output in a more reasonable time frame. An output data of this program will be tested on meat samples to assess the efficiency of the primer sets for detection of contaminations in meat samples for closely related species.

ACKNOWLEDGMENT: This study was supported by Bolu Abant İzzet University Scientific Research Projects (Project no: 2017.09.04.1123). In addition the authors would like to thank the Scientific, Industrial and Technological Application and Research Center (STARC) of Bolu Abant İzzet Baysal University for utilization of laboratories.

V. REFERENCES

- [1] Q. Zia, M. Alawami, N. F. K. Mokhtar, R. M. H. R. Nhari and I. Hanish, “Current analytical methods for porcine identification in meat and meat products,” *Food Chem.*, vol. 324, no. April 2019, pp. 126664, 2020.
- [2] M. A. M. Hossain, S. M. K. Uddin, S. Sultana, S.Q. Bonny, M. F. Khan and Z. Z. Chowdhury, “Heptaplex polymerase chain reaction assay for the simultaneous detection of beef, buffalo, chicken, cat, dog, pork, and fish in raw and heat-treated food products,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 67, no. 29, pp. 8268–8278, 2019.
- [3] A. Lopez-Oceja, C. Nuñez, M. Baeta, D. Gamarra, and M. M. de Pancorbo, “Species identification in meat products: A new screening method based on high resolution melting analysis of *cyt b* gene,” *Food Chem.*, vol. 237, pp. 701–706, 2017.
- [4] M. E. Ali, M.A. Razzak, S. B. A. Hamid, M. M. Rahman, M. Al Amin, N. R. A. Rashid, and A. Sign, “Multiplex PCR assay for the detection of five meat species forbidden in Islamic foods,” *Food Chem.*, vol. 177, pp. 214–224, 2015.
- [5] M. E. Ali, U. Hashim, S. Mustafa, Y. B. Che Man, Th S. Dhani, M. Kashif, M. K. Uddin, and S. B. A. Hamid, “Analysis of pork adulteration in commercial meatballs targeting porcine specific mitochondrial cytochrome *b* gene by TaqMan probe real-time polymerase chain reaction,” *Meat Sci.*, vol. 91, no. 4, pp. 454–459, 2012.
- [6] R. Grujić and D. Savanović, “Analysis of myofibrillar and sarcoplasmic proteins in pork meat by capillary gel electrophoresis,” *Foods Raw Mater.*, vol. 6, no. 2, pp. 421–428, 2018.
- [7] M. Montowska and E. Pospiech, “Differences in two-dimensional gel electrophoresis patterns of skeletal muscle myosin light chain isoforms between *Bos taurus*, *Sus scrofa* and selected poultry species,” *J. Sci. Food Agric.*, vol. 91, no. 13, pp. 2449–2456, 2011.
- [8] M. Alikord, H. Momtaz, J. Keramat, M. R. Kadivar, and A. Homayouni, “Species identification and animal authentication in meat products : a review,” *J. Food Meas. Charact.*, vol. 12, no. 1, pp. 145–155, 2018.

- [9] J. M. N. Marikkar, M. E. Mirghani, and I. Jaswir, "Application of chromatographic and infrared spectroscopic techniques for detection of adulteration in food lipids: a review," *J. Food Chem. Nanotechnol.*, vol. 2, no. 1, pp. 32–41, 2016.
- [10] J. Mandli, I. EL Fatimi, N. Seddaoui and A. Amine, "Enzyme immuno assay (ELISA/immuno sensor) for a sensitive detection of pork adulteration in meat," *Food Chem.*, vol. 255, no. January, pp. 380–389, 2018.
- [11] P. K. Singh, G. Jairath, S. S. Ahlawat, A. Pathera and P. Singh, "Biosensor: an emerging safety tool for meat industry," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 53, no. 4, pp. 1759–1765, 2016.
- [12] S. Roy, I. A. Rahman, J. H. Santos, and M. U. Ahmed, "Meat species identification using DNA-redox electrostatic interactions and non-specific adsorption on graphene biochips," *Food Control*, vol. 61, pp. 70–78, 2016.
- [13] S. Roy, N. F. Mohd-Naim, M. Safavieh and M. U. Ahmed, "Colorimetric nucleic acid detection on paper microchip using loop mediated isothermal amplification and crystal violet dye," *ACS Sensors*, vol. 2, no. 11, pp. 1713–1720, 2017.
- [14] X. Tian, J. Wang, and S. Cui, "Analysis of pork adulteration in minced mutton using electronic nose of metal oxide sensors," *J. Food Eng.*, vol. 119, no. 4, pp. 744–749, 2013.
- [15] X. Tian, J. Wang, Z. Ma, M. Li, Z. Wei, and J. M. Díaz-Cruz, "Combination of an E-Nose and an E-Tongue for adulteration detection of minced mutton mixed with pork," *J. Food Qual.*, vol. 2019, 2019.
- [16] E. Novianty, L. R. Kartikasari, J. H. Lee, and M. Cahyadi, "Identification of pork contamination in meatball using genetic marker mitochondrial DNA cytochrome b gene by duplex PCR," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 193, no. 1, 2017.
- [17] Z. Dai, J. Qiao, S. Yang and S. Hu, "Species authentication of common meat based on PCR analysis of the mitochondrial COI gene," *Appl Biochem Biotechnol.*, no. 461, pp. 1770–1780, 2015.
- [18] A. Doosti and P. G. Dehkordi, "Molecular assay to fraud identification of meat products," *J Food Sci Technol.*, vol. 51, no. January, pp. 148–152, 2014.
- [19] A. Di Pinto, M. Bottaro, E. Bonerba, G. Bozzo, E. Ceci, and P. Marchetti, "Occurrence of mislabeling in meat products using DNA-based assay," *J Food Sci Technol.*, vol. 52, no. April, pp. 2479–2484, 2015.
- [20] R. Köppel, A. Ganeshan, S. Weber, K. Pietsch, C. Graf, R. Hochegger, K. Griffiths, and S. Burkhardt, "Duplex digital PCR for the determination of meat proportions of sausages containing meat from chicken, turkey, horse, cow, pig and sheep," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 245,
- [21] J. Ha, S. Kim, J. Lee, S. Lee and H. Lee, "Identification of pork adulteration in processed meat products using the developed mitochondrial DNA-based primers," *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, vol. 37, no. 3, pp. 464–468, 2017.
- [22] F. Guan, Y. Jin, J. Zhao, A. Xu and Y. Luo, "A PCR Method That Can Be Further Developed into PCR-RFLP Assay for Eight Animal Species Identification," *J. Anal. Methods Chem.*, vol. 2018, 2018.
- [23] B. G. Mane and C. S. K. Hpkv, "PCR-RFLP assay for identification of species origin of meat and meat products 1," vol. 2, no. 2, pp. 31–36, 2014.



- [24] M. Huang, Y. Horng, H. Huang, Y. Sin and M. Chen, "RAPD fingerprinting for the species identification of animals," *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, vol. 16, pp. 1406–1410, 2003.
- [25] M. Baker, "Digital PCR hits its stride," *Nat. Methods*, vol. 9, no. 6, pp. 541–544, 2012.
- [26] C. Floren, I. Wiedemann, B. Brenig, E. Schütz and J. Beck, "Species identification and quantification in meat and meat products using droplet digital PCR (ddPCR)," *Food Chem.*, vol. 173, pp. 1054–1058, 2015.
- [27] H. R. Shehata, J. Li, S. Chen, H. Redda, S. Cheng, N. Tabujera, H. Li, K. Warriner, and R. Hanner, "Droplet digital polymerase chain reaction (ddPCR) assays integrated with an internal control for quantification of bovine, porcine, chicken and turkey species in food and feed," *Plos One*, vol. 12, no. 8, 2017.
- [28] R. Köppel, F. Zimmerli and A. Breitenmoser, "Heptaplex real-time PCR for the identification and quantification of DNA from beef, pork, chicken, turkey, horse meat, sheep (mutton) and goat," *Eur. Food Res. Technol.*, pp. 125–133, 2009.
- [29] G. Barcaccia, M. Lucchin and M. Cassandro, "DNA barcoding as a molecular tool to track down mislabeling and food piracy," *Diversity*, vol. 8, no. 1, 2016.
- [30] K. Nakyinsige, Y. B. C. Man and A. Q. Sazili, "Halal authenticity issues in meat and meat products," *Meat Sci.*, vol. 91, no. 3, pp. 207–214, 2012.
- [31] N. Z. Ballin, F. K. Vogensen and A. H. Karlsson, "Species determination - Can we detect and quantify meat adulteration?," *Meat Sci.*, vol. 83, no. 2, pp. 165–174, 2009.
- [32] LAST, "No Title," *Genome-Scale Sequence Comparison*. (2020, September 22). [Online]. Available: <http://last.cbrc.jp/doc/last.html>.
- [33] SBPD, "SBPD," *Software Based Primer Design*. (2020, October 06) [Online]. Available: <https://github.com/ihpar/FnaSrch>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Biyodizel ve EGR Kullanılan Bir Dizel Motorunda Motor Performansını ve NO Emisyonunu Etkileyen Faktörlerin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu

 Çiçek ÇANGAL^{a,*},  Vezir AYHAN^a

^a *Makine Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cicek_veyhan@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.700971

ÖZ

Araç motorlarında petrol kökenli yakıtlara bağımlı kalındığı süreçte çevre kirliliğinin tehlikeli boyutlara ulaşması yadsınamaz bir gerçektir. Ayrıca fosil yakıt kaynaklarının azalması farklı yakıt arayışlarını zorunlu hale getirmiştir. Dolayısıyla günümüzde alternatif yakıtları geliştirme çabaları ve bu yakıtların araç motorlarında kullanılması yaygınlaşmaktadır. Bunun yanı sıra egzoz emisyon standartlarındaki kısıtlayıcı yasalar gereği yenilenebilir alternatif yakıtlarla birlikte emisyon azaltıcı yöntemlerin de kullanılması gereklidir. Bu amaçla bu çalışmada, tek silindirli direkt püskürtmeli ve tam yükte çalışan bir dizel motoruna farklı oranlarda biyodizel (B10, B20 ve B50) ve egzoz gazı resirkülasyonu (EGR) (%10, %15 ve %20) uygulanarak motor performans ve NO emisyonlarındaki değişimler deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel tasarımın Taguchi optimizasyon yöntemi ile yapıldığı çalışmada L16 ortogonal dizisi kullanılmış, böylece deneyler esnasında zaman ve maliyetten tasarruf edilerek motor performansı ve NO emisyonunun optimizasyonu yapılmıştır. Motor performansı ve NO emisyonu üzerinde etkili faktörler olarak biyodizel, EGR ve devir seçilmiş ve bu faktörlerin farklı seviyeleri kullanılmıştır. Sinyal/Gürültü (S/N) analizi sonucunda motor parametreleri açısından en iyi kombinasyonlar belirlenmiştir. Daha sonra faktörlerin etki dereceleri ANOVA (varyans) analizi ile test edilmiştir. Son olarak doğrulama deneyleri yapılmış ve Taguchi optimizasyonu sonucu elde edilen iyileşmeler standart motor sonuçlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Motor döndürme momenti ve özgül yakıt sarfıyatı (ÖYS) açısından optimum sonuçlar B20 yakıtında, EGR uygulanmadığında (EGR0) ve 1600 d/d'da elde edilmiştir. Taguchi optimizasyonu sonucu momentte %1,11'lik, ÖYS'de ise %0,67'lik bir iyileşme kaydedilmiştir. NO emisyonunda ise Taguchi optimizasyonu sonucunda %92,3'lük bir iyileşme meydana gelmiştir. ANOVA analizi sonucunda faktörlerin performans parametreleri üzerinde %99 ile %99,99 arasında etkili oldukları saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Biyodizel, EGR, Taguchi optimizasyonu, motor performansı, NO emisyon*

Optimization of Factors Affecting Engine Performance and NO Emissions in a Diesel Engine Using Biodiesel and EGR by Taguchi Method

ABSTRACT

It is an undeniable fact that environmental pollution reaches dangerous levels as long as the use of petroleum-based fuels in vehicle engines. In addition, the decrease in fossil fuel resources has made it necessary to search

for different fuels. Therefore, efforts to develop alternative fuels and the use of these fuels in vehicle engines are becoming widespread today. In addition, in accordance with the restrictive laws in the exhaust emission standards, emission reduction methods should be used together with renewable alternative fuels. For this purpose, in this study, changes in engine performance and NO emissions were investigated by applying different rates of biodiesel (B10, B20 and B50) and exhaust gas recirculation (EGR) (10%, 15% and 20%) to a single cylinder direct injection diesel engine operating at full load. The L16 orthogonal sequence was used in the study where the experimental design was made with Taguchi optimization method, thus optimization of engine performance and NO emission was performed by saving time and cost during the experiments. Biodiesel, EGR and speed were selected as factors affecting engine performance and NO emission, and different levels of these factors were used. As a result of Signal/Noise (S/N) analysis, the best combinations in terms of engine parameters were determined. Then, the effect degrees of the factors were tested by ANOVA (variance) analysis. Finally, validation experiments were conducted and improvements obtained as a result of Taguchi optimization were given in comparison with standard engine results. Optimum results in terms of engine torque and brake specific fuel consumption (BSFC) were obtained in B20 fuel, when EGR is not applied (EGRO) and at 1600 rpm. As a result of Taguchi optimization, an improvement of 1.11% in moment and 0.67% in BSFC was recorded. An improvement of 92.3% was achieved in NO emission as a result of Taguchi optimization. As a result of ANOVA analysis, factors were found to be effective between 99% and 99.99% on performance parameters.

Keywords: Biodiesel, EGR, Taguchi optimization, engine performance, NO emission

I. GİRİŞ

Dünya üzerinde bulunan ve gittikçe azalan fosil yakıtlar, enerji üretimi için gerekli olan kaynakların başında gelir. Bu yakıtların, azalmasının yanı sıra küresel ısınmayı artırması ve zararlı emisyonlara neden olması gibi olumsuzlukları da vardır. Bu nedenle, bitkisel yağların yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir olması, toksik madde içermemesi ve NO_x haricinde düşük emisyon profillerine sahip olması dizel motorlarındaki kullanımını yaygınlaştırmaktadır [1]. Böylece bitkisel yağların dizel motorlarında kullanılması büyük önem teşkil etmektedir [2]. Bitkisel yağlar ayçiçek, mısır, pamuk, gibi farklı bitkilerden elde edilebilmektedir [3]. Bunun yanı sıra, petrol kökenli yakıtların kullanımının azaltılması, emisyon standartlarına getirilen kısıtlamalar nedeniyle zorunlu hale gelmiştir. Özellikle en son yürürlüğe giren Euro 6 emisyon standardı ile egzoz emisyonlarının çevreye verdiği zararın büyük oranda azaltılması hedeflenmektedir. Petrolden elde edilen yakıtların yanı sıra standart dizel motorunda biyodizel yakıt kullanıldığında, biyodizelin oksijen içermesi ve dizel yakıtı göre hava fazlalık katsayısının daha düşük olmasından dolayı NO_x emisyonu dizel yakıt ile çalışan standart motora göre artma eğilimindedir [4]. Dolayısıyla NO_x salınımını azaltmak için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en etkili EGR sistemidir. Bu sistem egzoz gazlarının bir bölümünün silindire geri verilmesini sağlayarak, karışımın içerdiği oksijen miktarını azaltıp, karışım oranını düşürmek ve silindir içerisindeki gazların ısı kapasitesinin artmasını sağlayarak gaz sıcaklığını düşürmektedir. Silindire geri verilen egzoz gazları sayesinde yanma odasındaki karışım seyreltilerek yanma sonu sıcaklığı ve buna bağlı olarak üretilen NO_x miktarı azaltılmaktadır [5-7].

Biyodizel ile yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde biyodizelin motor performansı ve bazı emisyonlar açısından olumlu sonuçlar verdiği saptanmıştır. Bu durum biyodizelin dizel motorlarında alternatif ve sürdürülebilir bir yakıt olduğunu göstermektedir [8-10]. Ayhan vd. [10] direkt püskürtmeli bir dizel motorunda yaptıkları deneysel çalışmada farklı oranlarda ayçiçek yağı metil esteri kullanmışlardır. Moment ve efektif güç açısından en iyi biyodizel oranının B20 olduğunu tespit etmişlerdir. Yakıt içerisindeki biyodizel miktarı az olduğunda ÖYS'nin azaldığını, efektif verimin ise arttığını saptamışlardır. B50 yakıtında ise ÖYS ve efektif verimin kötüleştiği sonucuna ulaşmışlardır. Standart durumda 1300 d/d motor devrinde 61,6 Nm olarak ölçülen motor tork değeri, B10 kullanımında 61,7 Nm ve B20 kullanımında ise 62,1 Nm ve B50'de ise 61,2 Nm olarak ölçülmüştür. Standart durumda 2200 d/d motor hızında maksimum 12,42 kW olarak ölçülen efektif güç değeri B10'da 12,45 kW, B20'de 12,5 kW, B50 kullanımında ise 12,4 olduğu tespit edilmiştir. NO emisyonlarının ise biyodizel kullanımı ile arttığını saptamışlardır. Keskin vd. [11] mısır yağı biyodizeli kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada, motor momenti ve motor gücünde kayda değer bir değişimin olmadığını tespit etmişlerdir. Özgül yakıt tüketiminde ise biyodizelin artışa sebebiyet verdiğini

gözlemlemişlerdir. Araştırmacılara göre mısır yağı biyodizelinin alt ısıl değeri dizel yakıtla oranla düşük olduğundan, biyodizel kullanılan çalışmalarda özgül yakıt tüketiminde artma olmaktadır. Biyodizel kullanımı ile CO ve is emisyonlarının azaldığını, NOx emisyonlarının ise arttığını saptamışlardır. Karabaş [1] tek silindirli, su soğutmalı bir dizel motorunda tütün tohumu yağı biyodizeli kullanarak motorun performans ve emisyonlarındaki değişimlerini deneysel çalışma yaparak incelemiştir. Tam yük koşullarında ve %10, %20, %50 ve %100 kütleli biyodizel oranlarında gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarını standart motor verileri ile karşılaştırmıştır. B10, B20 ve B50 karışımları ile yaptığı deneyler sonucu dizel yakıtla göre daha yüksek motor gücü ve motor momenti tespit etmiştir. B100 yakıtı kullanıldığında ise moment ve güçte azalmalar gözlemlemiştir. B10, B20, B50 ve B100 kullanımı ile ve yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça NOx emisyonlarının artış gösterdiğini, HC, CO ve is emisyonlarının ise azaldığını saptamıştır. Rosha vd. [12] sıkıştırma ateşlemeli bir dizel motorda yakıt olarak %20 palm biyodizeli kullanarak farklı sıkıştırma oranlarında motor karakteristiklerini incelemiştir. Sonuç olarak B20 yakıtının yüksek motor sıkıştırma oranında motor performansı açısından iyi bir sonuç verdiğini saptamışlardır. Raman vd. [13] dört zamanlı, tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda, kolza yağı biyodizeli (B100) ve dizel-biyodizel karışımlarının (B25, B50, B75) 200 bar sabit enjeksiyon basıncında motorun performans, yanma ve emisyon özelliklerine etkilerini analiz etmek için deneyler yapmışlardır. Deney sonucunda, B100 yakıtı ve diğer biyodizel karışımları kullanıldığında motorun ÖYS ve egzoz gazı sıcaklığının arttığını gözlemlemiştir. Maksimum silindir basıncı biyodizelde dizel yakıtlı motora göre daha düşük tespit edilmiştir. Biyodizel yakıtlarında HC ve CO emisyonlarının dizel yakıtla göre daha düşük, NO ve is emisyonlarının ise daha yüksek olduğunu saptamışlardır.

Dizel motorlarında EGR'nin uygulandığı çalışmalarda genel olarak motor performansının kötüleştiği, NOx emisyonunun ise azaldığı görülmektedir [5, 14-16]. Haşimoğlu vd. [5] yapmış oldukları çalışmada dizel motorlarında EGR'nin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalar esnasında farklı oranlarda egzoz gazlarını emme hattına geri göndererek motor performans ve emisyonlarındaki değişimi izlemiştir. Deneyler sonucunda EGR uygulamasıyla NOx emisyonlarında kayda değer bir düşüş gözlemlemiştir. Standart değerler ile %10 ve %20 EGR uygulandığı durumdaki değerler arasında, sırasıyla yaklaşık olarak ortalama %35 ve %75'lik bir azalma olmuştur. %30 EGR durumunda ise emisyon ölçüm cihazında NOx emisyonları sıfır olarak ölçülmüştür. He vd. [17] tek silindirli bir dizel motorunda farklı EGR oranları uygulayarak yapmış oldukları deneysel çalışmada, EGR oranlarının orta seviyelerde seçilmesiyle motor performansının ve emisyonların daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Verma vd. [15] çift yakıtlı (dizel-biyogaz) bir dizel motorunda farklı EGR ve sıkıştırma oranlarının motor performans ve emisyonlarındaki etkilerini deneysel çalışmalar yaparak incelemiştir. EGR ile düşük yüklerde motor veriminde bir miktar artış ve NOx emisyonlarında azalma tespit etmişlerdir. Yüksek yüklerde ve artan EGR oranlarında ise motor veriminde azalmanın olduğunu gözlemlemiştir.

Literatürde dizel motorlarında biyodizel ve EGR'nin birlikte uygulandığı farklı çalışmalar mevcuttur. Ayhan vd. [18] direkt enjeksiyonlu tek silindirli bir dizel motorunda biyodizel ve EGR'nin farklı oranlarını kullanarak yapmış oldukları çalışmada biyodizel ve EGR'nin motor performansı ve emisyonlar üzerinde etkili olduklarını tespit etmişlerdir. Motora uygulanan %10, %15 ve %20 oranlarında EGR ile NOx emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Maksimum azalma %20 EGR oranında meydana gelmiştir. Bhowmick vd. [19] common rail (tutuculu püskürtme sistemi) direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda farklı enjeksiyon stratejileri ve EGR'nin etkilerini araştırmak için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bunun için tamanu (*calophyllum inophyllum*) biyodizeli üretmişler (CIP10) ve bu yakıtın %10'luk bir karışımını (CIP10) hazırlamışlardır. Deney sonuçlarına göre CIP10 yakıtı ve P10-M90 yakıt enjeksiyon stratejisi beraber uygulandığında, dizel motora ve diğer enjeksiyon stratejileri ile çalışan motora göre CO ve HC emisyonlarında kayda değer bir düşüş gözlemlemiştir. Yine CIP10 P10-M90 ve tam yük durumunda NOx emisyonlarında dizel motora göre %18,9 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir. CIP10 P10-M90 ile %10 ve %20 EGR uygulamasıyla NOx emisyonlarının (motor performansında önemli bir kayıp olmadan) EGR'siz CIP10 P10-M90'a kıyasla sırasıyla %14,4 ve %27,6 azalma gösterdiğini gözlemlemiştir. Can vd. [20] 2200 d/d'da ve dizel yakıt ile karıştırılmış %20 soya fasulyesi biyodizel yakıtı ile çalışan tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda farklı EGR oranlarını (%5, %10, %15) test etmişlerdir. Motor

deneylerini dört farklı yük altında (15, 11,25, 7,5 ve 3,75 Nm) gerçekleştirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre biyodizel ve EGR uygulamasıyla maksimum ısı yayılım oranı ve maksimum silindir basıncında artma gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ısı yayılım oranlarının merkezi ÜÖN'ya kayarken, yanma süreleri genellikle stabil kalmıştır. Genel olarak EGR ile ÖYS'nin arttığını, efektif verimin ise azaldığını saptamışlardır. Biyodizel ve EGR ile NOx ve is emisyonlarını yüksek motor yükünde sırasıyla %55 ve %15 oranlarında iyileştirmişlerdir. Shi vd. [21] yapmış oldukları deneysel çalışmada farklı motor yüklerinde çalışan dört silindirli bir dizel motorunda yüksek EGR ve biyodizelin (%20 soya fasulyesi biyodizeli) yanma ve emisyonlar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. EGR, %10 ile %62 oranları arasında uygulanmıştır. Biyodizel yakıt ilavesi ve %15 EGR oranı kombinasyonu ile NOx emisyonlarındaki iyileştirmeler, yüksek motor yükünde %55, orta motor yükünde %38, kısmi motor yükünde %26 ve düşük motor yükünde %9,94'tür. Biyodizel ile %15 EGR uygulandığında tüm motor yüklerinde ÖYS bir miktar artmış, efektif verim ise azalmıştır. Yasin vd. [22] dört zamanlı su soğutmalı direkt enjeksiyonlu ve biyodizel (Palm biyodizeli) kullanılan bir dizel motorunda EGR'nin motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçları standart motorla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre, biyodizel ve EGR kullanıldığında motor gücü, motor momenti ve NOx emisyonlarında düşüş; ÖYS, CO ve CO₂ emisyonlarında az miktar artış gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın deney tasarımı, Taguchi'nin önerdiği yöntem ile yapılmıştır. Bu yöntem, deneylerdeki faktörlerin tüm eşleşmelerinin denenmesi yerine ortogonal dizinin oluşturduğu kombinasyonların denenmesi ile optimum performans karakteristiğini veren faktör seviyelerinin tespit edilmesidir [23]. Bu doğrultuda literatür çalışmaları incelendiğinde zaman ve maliyet kayıplarını azalttığı için Taguchi yönteminin birçok araştırmacı tarafından tercih edildiği görülmektedir [24-26]. Buna istinaden, literatürde motor performansı ve emisyonlarının en iyi değerlerini elde etmek için farklı motor parametrelerinin Taguchi yöntemi kullanılarak optimizasyonunun yapıldığı birçok çalışmaya rastlanmıştır [26-28]. Çangal [29] direkt enjeksiyonlu tek silindirli bir dizel motorunda Taguchi yöntemini kullanarak ve faktör olarak yük, motor hızı, biyodizel, etanol, EGR ve aşırı doldurmanın farklı seviyelerini seçerek motor deneyleri yapmıştır. Deneylerde, motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimleri incelemiştir. Sonuç olarak hem motor performansı hem de egzoz emisyonları açısından en iyi kombinasyonları %95 doğruluk oranıyla elde etmiştir. Ansari vd. [30] Taguchi metodunu kullanarak farklı biyodizel karışımları uygulanan bir dizel motorunda motor performansı ve emisyonlarının değişimlerini incelemişlerdir. Çalışmada girdi parametreleri, en iyi motor performansı ve emisyon değerlerini verecek şekilde optimize edilmiştir. Ayhan vd. [7] bir dizel motorunda farklı oranlarda yakıt püskürtme avansı ve buhar enjeksiyonu değerlerinde motor performansı ve emisyonlarında meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Motor performansının ve NOx emisyonunun optimum oldukları faktör ve seviyeleri Taguchi yöntemi ile tespit etmişlerdir. Wu ve Wu [25] tek silindirli bir dizel motorunda farklı oranlarda biyodizel-dizel karışımı ile H₂ kullanarak ve emme manifolduna farklı oranlarda EGR uygulayarak motor emisyonlarını ve yanma performansını incelemiş ve girdi parametrelerinin en iyi kombinasyonlarını Taguchi metoduyla belirlemişlerdir. L9 ortogonal dizisinin kullanıldığı Taguchi deney tasarımı yöntemi ile yapılan deneylerde %67 oranında zamandan tasarruf sağlamışlardır. Wu vd. [24] bir dizel motorunda farklı oranlarda LPG ve biyodizel kullanarak ve motora farklı oranlarda EGR uygulayarak Taguchi yöntemi ile yanma karakteristiklerini incelemiş ve motorun optimum çalışma koşullarını tespit etmişlerdir. Motor 1500 d/d'da ve farklı yüklerde çalışırken en büyük yakıt tüketim süresini, en düşük duman ve NO_x emisyonlarını elde etmek için az sayıda deney yaparak en uygun çalışma faktörlerini belirlemişlerdir. Balkı vd. [27] dört silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı bir benzin motorunda saf benzin ve metanol-etanol karışımlarının kullanılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma faktörlerinin ateşleme zamanı, sıkıştırma oranı ve motor hızı olarak seçildiği çalışmada faktörlerin optimizasyonu için Taguchi deney tasarımı yöntemini ve ANOVA analizini kullanmışlardır. Üçer seviyeli üç faktörün motor performansı ve emisyonlarına olan etkilerini araştırmak için yapılan çalışmada L9 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Optimize edilmiş motordan elde edilen performans değerlerini ve egzoz emisyon değerlerini temel motorun değerleri ile karşılaştırmışlardır. Doğrulama deneyi sonucunda Taguchi yöntemi sayesinde motor testi sayısı %89 oranında azaltılmış ve yapılan optimizasyon %95 güven aralığında gerçekleştirilmiştir. Optimize edilmiş motordan, temel motora kıyasla daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, tek silindirli direkt enjeksiyonlu, tam yükte ve farklı devirlerde çalışan bir dizel motorunda farklı oranlarda biyodizel yakıt kullanarak ve motora farklı oranlarda EGR uygulayarak motorun performans ve NO emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir. Motor performans parametreleri ve NO emisyonlarının optimum kombinasyonları Taguchi yöntemi ile belirlenmiş ve buna göre deneysel çalışmalar yapılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. BİYODİZEL ÜRETİMİ

Deneysel çalışmalarda dizel ve %10, %20, %50 biyodizel-dizel karışımli yakıtlar kullanılmıştır. Karışım yakıtlarının elde edilmesi için, biyodizel ve dizel yakıtlar, deneyler öncesinde hassas terazi ile tartılarak kütleli oranlarda birleştirilmiştir. Biyodizel yakıt, mısır yağından transesterifikasyon yöntemiyle üretilmiştir. Transesterifikasyon, hayvansal ve bitkisel kökenli yağların genellikle metanol ve etanol gibi alkollerle reaksiyona girmesi ile biyodizel üretilmesi yöntemidir. Bu yöntemin diğer biyodizel üretim yöntemlerine göre avantajları arasında yüksek miktarda setan sayısı, yenilenebilir özellik, yüksek yanma verimi ve düşük miktarda emülsiyon içermesi sayılabilir [31]. Deneylerde kullanılan dizel ve biyodizel yakıtların özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan yakıtların özellikleri

Özellik	Dizel	Biyodizel (Mısır yağı)
Yoğunluk (15 °C)	0,82-0,86	0,87-0,88
Setan sayısı	49	>55
Kinematik viskozite mm ² /s, (40 °C)	2,5-3,5	4,3
Parlama noktası (°C)	>55	>100
Alt ısı değeri (kJ/kg)	42640	39576

B. EGR UYGULAMASI

Deneysel çalışmalarda motora %10, %15 ve %20 oranlarında EGR uygulanmıştır. EGR’li deney adımları öncelikle EGR’siz olarak yapılmıştır ve tüketilen CO₂ miktarları ölçülmüştür. Ölçülen CO₂ miktarlarına göre EGR oranları hesaplanmıştır. Emme hattına gönderilen egzoz gazı miktarının hesaplanmasında denklem 1 kullanılmıştır.

$$EGR(\%) = \frac{[(CO_2)_{emme manifoldu} - (CO_2)_{çevre}]}{[(CO_2)_{egzoz manifoldu}]} \times 100 \quad (1)$$

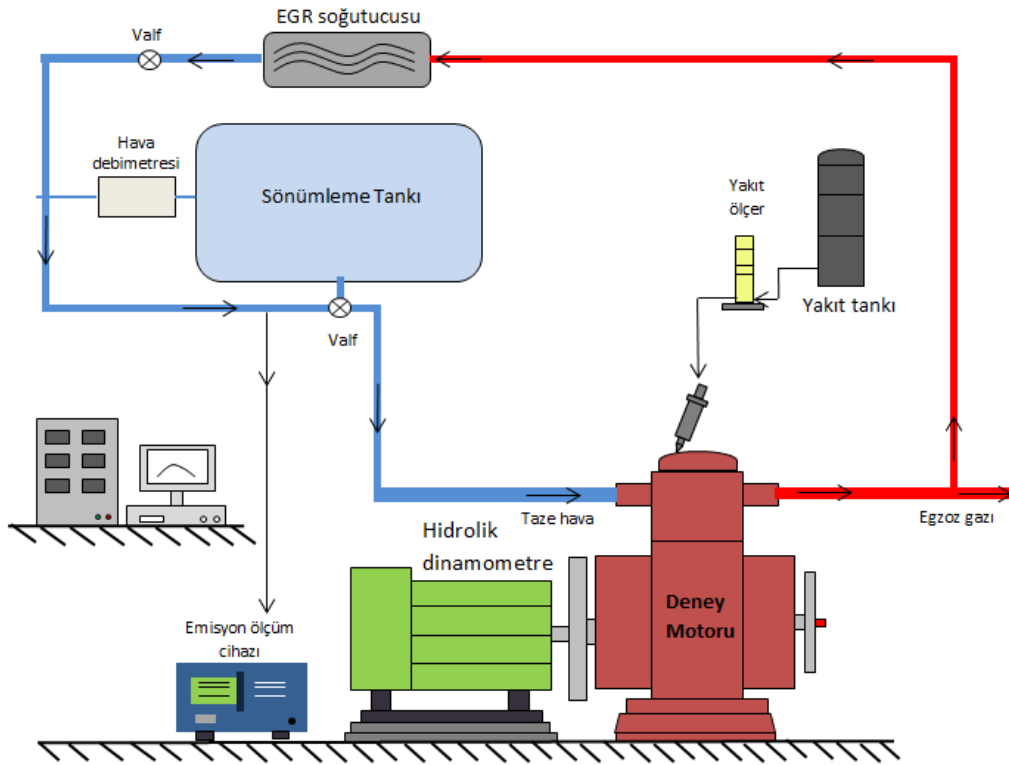
Motorda yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının bir kısmının emme manifolduna geri gönderilmesi için boru bağlantısı yapılmıştır. Bu hat üzerine, egzoz manifoldundan çıkan egzoz gazlarının soğutulmasını sağlayan EGR soğutucusu ve EGR oranının ayarlanmasını sağlayan çok turlu vana konumlandırılmıştır.

C. DENEY DÜZENEGİ

Deneyler esnasında kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Deney Düzenegi ise Şekil 1’de gösterilmektedir.

Tablo 2. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor Tipi	Süper Star
Piston Çapı [mm]	108
Strok [mm]	100
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi [dm ³]	0,92
Güç, 2200 d/d, [kW]	12
Enjektör Açma Basıncı [bar]	225
Püskürtme Avansı [Krank Açısı]	29
Sıkıştırma Oranı	17
Maksimum Devir [d/d]	2500
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak Piston



Şekil 1. Deney düzeneği

Deneyel çalışmalarda motor 50 kg yük tutma kapasiteli hidrolik bir dinamometre ile yüklenmiştir. Dinamometrenin koluna motorun ürettiği gücü tespit etmek için 0,1 kg hassasiyetle çalışan S tipi yük hücresi (Loadcell) bağlanmıştır. Ortam sıcaklığı, egzoz gaz sıcaklığı ve soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları NiCr-Ni tipi Elimko 680 marka sıcaklık ölçüm sensörleri kullanılarak ölçülmüştür. Uygun püskürtme avansının tespit edilmesi için standart motorda testler yapılmış ve püskürtme avansı 29° olarak belirlenmiştir. Deney motorunun maksimum momenti 1600 d/d'da 44,5 Nm olarak ölçülmüştür. Deney motorundan veriler alınmadan önce motorun kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Deneyler boyunca soğutma suyu çıkış sıcaklığı 80°C'de sabit tutulmuştur. NO emisyonlarının ölçümü için Bosh BAE 060 marka emisyon cihazı kullanılmıştır. Yakıt sarfiyatının ölçümü hacimsel debi ölçüm kabı ile yapılmıştır. Deneyler tam yükte ve 1600 d/d, 2400 d/d motor hızlarında gerçekleştirilmiştir. Tablo 3'te ölçülen parametreler ve ölçüm cihazlarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. Ölçülen parametreler ve ölçüm cihazlarının özellikleri

Ölçülen parametreler	Birim	Ölçüm aralığı	Ölçme aleti	Ölçüm hassasiyeti
Motor Devri	dev/dak	0–9999	Dijital takometre	1 dev/dak
Egzoz sıcaklığı	°C	0–1000	Ni-Cr-Ni	1 °C
Fren terazi kuvveti	Kg	0–100	Su freni	0,1 Kg
Azot oksit (NO), ppm	ppm	0–2000	Bosh BAE 060	± 5 ppm

D. DENEY TASARIMI

Deney tasarımı Taguchi yöntemi ile Minitab programında yapılmıştır. Bu çalışmada, iki farklı devirde farklı oranlarda biyodizel ve EGR kullanımının motor performans ve NO emisyonlarına etkileri tespit edilmek istendiği için bu parametreler üzerindeki diğer etkili faktörler optimum düzeyde tutulmuştur. Çalışmada seçilen kontrol edilebilen faktör ve seviyeleri Tablo 4’te verilmiştir. Daha önce yapılan deneysel denemeler ve literatürdeki çalışmalardan faydalanılarak biyodizel ve EGR’nin 4 seviyesi; motor devrinin ise 2 seviyesi seçilmiştir.

Tablo 4. Faktör ve seviyeleri

Sembol	Faktör	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
A	Biyodizel, m %	B0	B10	B20	B50
B	EGR, %	EGR0	EGR10	EGR15	EGR20
C	Devir, d/d	1600	2400		

Tam faktöriyel deney planlarında çok sayıda deney yapılması, zaman ve maliyet açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Taguchi deney tasarım yönteminde ortogonal deney planları sayesinde çok sayıda faktör ile az sayıda deney yapılarak optimum sonuçlara ulaşılmaktadır. Ortogonal dizi, deneme sırasında bir faktörün seviyelerinin diğer faktörlerin seviyeleri ile eşleştirilmesidir [32]. Bu çalışmada, 2 faktör 4 seviyeli, 1 faktör 2 seviyeli seçilerek bu bilgiler Minitab programına girilmiş ve bu faktör ve seviye sayılarına uygun bir ortogonal dizi program tarafından oluşturulmuştur. L16(4²)(2¹) olarak ifade edilen ortogonal dizi Tablo 5’te verilmiştir. Bu tabloya göre 16 deney 3 tekrarlı olarak, rassal sıra ile gerçekleştirilmiştir.

Motor deneylerinden elde edilen veriler sonucu motor momenti, efektif güç, ÖYS ve efektif verim değerleri hesaplanmıştır. NO emisyonlarının egzozdaki miktarı ppm olarak ölçülmüştür. Hesaplamalarda kullanılan formüller Tablo 6’da verilmektedir.

Tablo 5. L16 ortogonal dizisi

Deney No	Biyodizel	EGR	Devir
1	B0	EGR0	1600
2	B0	EGR10	1600
3	B0	EGR15	2400
4	B0	EGR20	2400
5	B10	EGR0	1600
6	B10	EGR10	1600

Tablo 5 (devam). L16 ortogonal dizisi

7	B10	EGR15	2400
8	B10	EGR20	2400
9	B20	EGR0	2400
10	B20	EGR10	2400
11	B20	EGR15	1600
12	B20	EGR20	1600
13	B50	EGR0	2400
14	B50	EGR10	2400
15	B50	EGR15	1600
16	B50	EGR20	1600

Tablo 6. Hesaplamalarda kullanılan formüller

Moment (Nm)	Efektif Güç (kW)	ÖYS (g/kWh)	Efektif verim
$M_d = F \cdot L$	$P_e = \frac{2\pi \cdot F \cdot L \cdot n}{1000}$	$b_e = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{P_e \cdot \Delta t} = \frac{3600 \cdot \dot{m}_y}{P_e}$	$\eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_y \cdot Hu}$

Tüm parametrelerin değerleri bulunduktan sonra Minitab üzerinde analizler yapılmıştır. Taguchi deney tasarım yöntemini geleneksel deney tasarım yöntemlerinden ayıran en önemli özellik performans kriterini belirleyen S/N oranı adında bir kriterin kullanılmasıdır [33]. Buna göre öncelikle moment, efektif güç, ÖYS, efektif verim ve NO emisyonları değerlerinin uygun S/N oranı formülleri belirlenmiştir. Motor momenti, efektif güç ve efektif verimin istenilen değerleri en yüksek değerleri olduğu için Taguchi'nin önerdiği 'en büyük en iyi' (Larger is better) formülü kullanılmıştır. ÖYS ve NO emisyonları için istenilen değerler en düşük değerler olduğu için 'en küçük en iyi' (Smaller is better) formülü kullanılmıştır. Seçilen S/N oranlarının formülleri denklem 2 ve 3 ile gösterilmektedir.

En büyük en iyi;

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2)$$

En küçük en iyi;

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3)$$

S/N oranlarına göre her bir performans parametresi ve emisyon değeri için Minitab programında analizler yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarına göre optimum kombinasyonlar belirlenmiştir. Daha sonra faktörlerin motor performans parametreleri üzerindeki etki yüzdelerini tespit etmek için ANOVA analizi yapılmıştır. ANOVA analizi hesaplamalarında kullanılan formüller denklem 4, 5, 6, 7 ve 8 ile gösterilmiştir.

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^N (S/N)_i^2 \right] - \frac{T^2}{N} \quad (4)$$

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{K_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \quad (5)$$

$$V_{\text{total}} = N - 1 \quad (6)$$

$$V_{\text{factor}} = \frac{SS_{\text{faktör}}}{\vartheta_{\text{faktör}}} \quad (7)$$

$$F_{\text{factor}} = \frac{V_{\text{faktör}}}{V_{\text{hata}}} \quad (8)$$

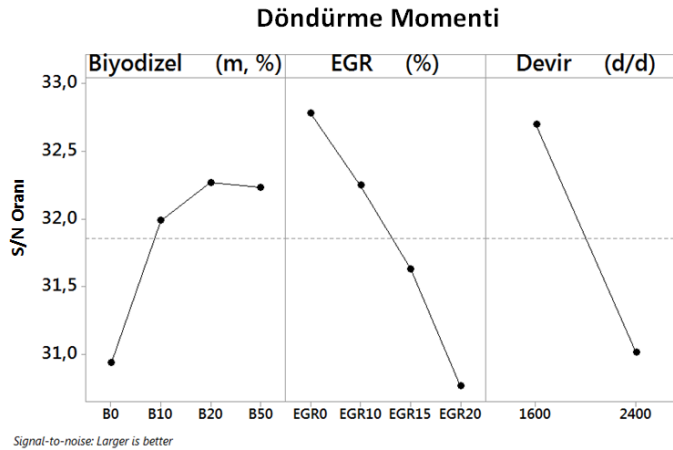
SS_T toplam değişkenliğe sahip olan karelerin toplamını, N toplam deney sayısını, SS_A A faktörüne bağlı karelerin toplamını, K_A ise A faktörü için seviye sayısını belirtir. A_i , A faktörünün toplam seviyesinin toplamını, n_{A_i} ise A faktörünün seviyesinin toplamıdır. T , deneylerin toplam S/N oranının toplamını, v ise serbestlik derecelerini ifade eder. $V_{\text{faktör}}$, faktörün varyansını, $SS_{\text{faktör}}$, faktörün karelerinin toplamını ve $F_{\text{faktör}}$, faktörün F oranını belirtir. Taguchi yöntemine göre faktörlerin seviyeleri %90 ile %99 güven aralığında anlamlıdır.

III. ARAŞTIRMA BULGULARI

Motor tam yükte çalışırken 1600 ve 2400 d/d'da, farklı biyodizel ve EGR oranları ile yapılan deneysel çalışmada motor performans parametrelerindeki ve NO emisyonundaki değişimler Taguchi istatistiksel deney tasarım yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

A. S/N ORANI ANALİZLERİ

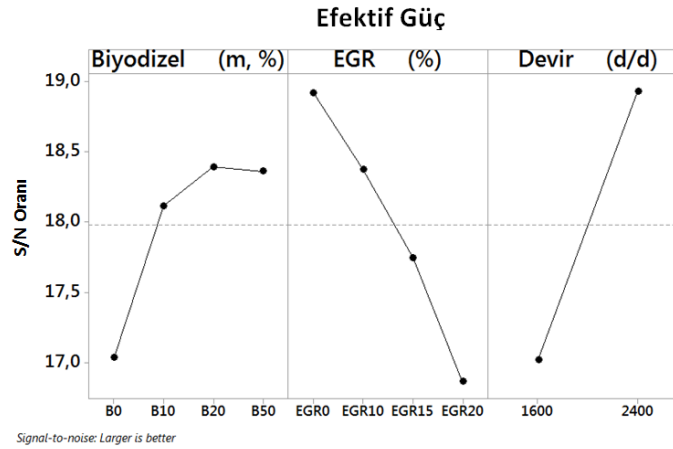
Şekil 2'de motor döndürme momentine etki eden faktör ve seviyelerinin değişimleri görülmektedir. Momenti maksimum yapan değer B20 biyodizel karışımında, EGR uygulanmadığında (EGR0) ve 1600 d/d'da elde edilmiştir. En iyi kombinasyon A3-B1-C1'dir.



Şekil 2. Moment için faktör seviyeleri S/N oranları

Şekil 3'te motor efektif gücüne etki eden faktör ve seviyelerinin değişimleri görülmektedir. Efektif gücün optimum değeri B20 biyodizel karışımında, EGR uygulanmadığında (EGR0) ve 2400 d/d'da elde edilmiştir. En iyi kombinasyon A3-B1-C2'dir.

Şekil 2 ve 3'te faktör ve seviyelerinin tam yükte döndürme momenti ve efektif güce etkisi görülmektedir. B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarıyla yapılan testlerde momentin ve efektif gücün değişimleri incelendiğinde en iyi moment ve efektif güç değerlerinin B20 yakıtında elde edildiği görülmektedir. B10 yakıtında standart motora göre kayda değer bir iyileşme kaydedilmiştir. B50 yakıtında ise B20 yakıtına göre kötüleşme meydana gelmiştir. Biyodizel karışım yakıtları kullanıldığında standart motora göre moment ve efektif güçte meydana gelen iyileşmelerin sebebinin dizel yakıtı göre biyodizelin oksijen zengin içeriğe sahip olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Yakıt içerisindeki oksijen miktarı arttıkça yanma verimi iyileşmekte ve motor döndürme momenti artmaktadır. B10 ve B20 yakıtının kullanılmasıyla motor performansının iyileşmesinin bir diğer sebebi ise setan sayısının yükselmesi olduğu tahmin edilmektedir. Saf dizel yakıtı, B10 ve B20 dikkate alındığında; biyodizel oranı arttığında motor performansı iyileşmektedir. Fakat "saf dizel yakıtı ile B10 kullanımını" kıyaslandığında motor performansındaki artış "B10 ile B20 kullanımı" kıyaslandığındaki motor performansındaki artışa göre daha fazladır. Bir diğer anlatımla, biyodizel oranı arttıkça motor performansındaki artış azalmaktadır. Bu durumun viskozitenin artışına ve ısı değerinin azalmasına bağlı olduğu tahmin edilmektedir. Yani, saf dizel yakıtından B20'ye doğru gidilirken motor performansındaki artış azalmaktadır. B50 yakıtının kullanılmasıyla B20 yakıtına göre momentin azalmasının biyodizelin dizel yakıtı göre düşük alt ısı değere sahip olması ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla B50 yakıt karışımının alt ısı değeri dizel yakıtı oranla az olmakta ve yakıtın yanması sonucunda elde edilen enerji miktarı azalmaktadır. Bu durum da moment ve efektif gücün azalmasına sebebiyet vermektedir. B50 yakıtında momentin azalmasının diğer bir sebebi, biyodizel yakıtlarının dizel yakıtı göre daha yüksek viskoziteye ve yoğunluğa sahip olmasıdır. Özellikle yüksek devirlerde sürtünmeler sebebiyle yakıtın pompayı doldurma gecikmesi dizel yakıtı oranla biyodizelde yüksektir [34]. Literatürde moment ve efektif güç açısından en iyi sonuçların alındığı biyodizel oranının %10 ve %20 arasında olduğu görülmektedir [1, 8-10, 18].



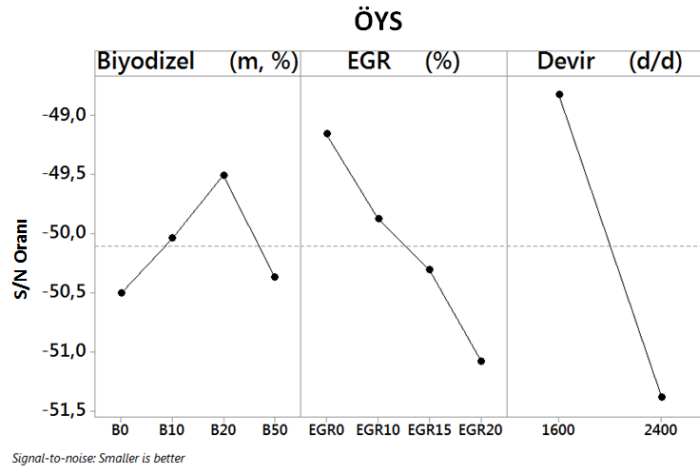
Şekil 3. Efektif güç için faktör seviyeleri S/N oranları

Motora EGR uygulanması nedeniyle dolgu içerisindeki oksijen miktarının ve yanma hızının azalması motor performansını kötüleştirir. S/N analizi sonuçlarına bakıldığında EGR'nin tüm oranlarında moment ve efektif gücün azaldığı görülmektedir.

Genel olarak atmosferik motorlarda momentin en yüksek olduğu devir karakteristik eğrilerden bilindiği üzere orta bir devirdir. Deney motorunda en yüksek moment 1600 d/d'da elde edilmiştir. Bu devirden sonra devir arttıkça moment azalır. Bunun nedeni silindire girecek karışım miktarının azalması ve artan sürtünme kayıplarıdır. Diğer yandan efektif güç moment arttıkça artar, ancak efektif güç momente bağlı olduğu gibi motor devrine de bağlıdır. Devir arttıkça çevrim sayısındaki artmaya bağlı olarak efektif güç artmaktadır. Bu durumda grafiğe göre en yüksek efektif güç değeri 2400 d/d'da elde edilmiştir.

Şekil 4'te ÖYS'ye etki eden faktör ve seviyelerinin değişimleri görülmektedir. ÖYS'nin optimum değeri B20 biyodizel karışımında, EGR uygulanmadığında (EGR0) ve 1600 d/d'da elde edilmiştir. En iyi kombinasyon A3-B1-C1'dir.

ÖYS'nin tam yükte faktör ve seviyelerine göre değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilave edildiğinde ve biyodizel oranı arttıkça (B20'ye kadar) ÖYS azalma göstermiştir. En düşük ÖYS B20 yakıtında elde edilmiştir. %20 biyodizel içeren yakıtta ÖYS'nin standart motora göre düşük olması, biyodizelin oksijen içeriğinden dolayı yanma kalitesinin artması ile açıklanabilir. Aynı zamanda biyodizel kullanıldığında ÖYS'nin azalmasının bir diğer sebebi olarak gücün artması gösterilebilir. %20 biyodizel oranından sonra, biyodizelin karışım içerisindeki yüzdesi ile orantılı olarak ÖYS dizel yakıtına göre artmaktadır. B50 yakıtındaki bu artışın, biyodizelin enerji içeriğinin dizel yakıtına oranla düşük olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Biyodizelin oksijen içeriği fazla olsa da alt ısı değerinin düşük olması, özellikle biyodizelin yüksek oranlarında yanma verimini artırmada yeterli olmadığı tahmin edilmektedir. Ayrıca Özsezen vd. [35] dizele göre biyodizel yoğunluğunun fazla olmasının, püskürtülen yakıt miktarının fazla çıkmasına neden olduğunu ifade etmektedirler. Bunun sebebinin hacimsel olarak aynı miktarda yakıt püskürtülmesine rağmen kütleli olarak ele alındığında daha fazla yakıt verildiği ile ilgili olduğunu belirtmektedirler.

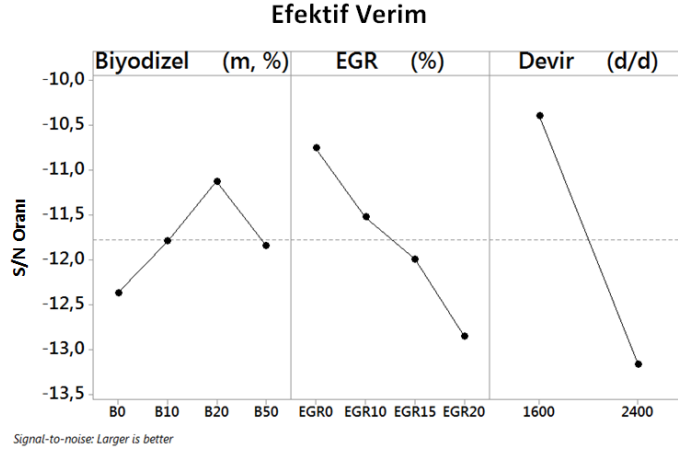


Şekil 4. ÖYS için faktör seviyeleri S/N oranları

Motora EGR uygulandığında ve EGR oranı arttıkça ÖYS'nin kötüleştiği görülmektedir. Artan EGR oranı karışımın fakirleşmesine ve yanmanın kötüleşmesine yol açmaktadır. Ayrıca EGR uygulaması ile yanma sonu oluşan ısının bir bölümü egzoz gazları tarafından soğurulduğundan açığa çıkan maksimum ısı miktarı azalmakta, ve bu durumda ÖYS artmaktadır.

1600 d/d'da 2400 d/d'ya göre ÖYS daha azdır. Devir arttıkça aynı hacimdeki yakıtın tüketim süresinin azalmasına ve dolayısıyla daha fazla yakıtın tüketilmesine bağlı olarak ÖYS artmaktadır.

Şekil 5'te motor efektif verimine etki eden faktör ve seviyelerinin değişimleri görülmektedir. Efektif verimin optimum değeri B20 biyodizel karışımında, EGR uygulanmadığında (EGR0) ve 1600 d/d'da elde edilmiştir. En iyi kombinasyon A3-B1-C1'dir.



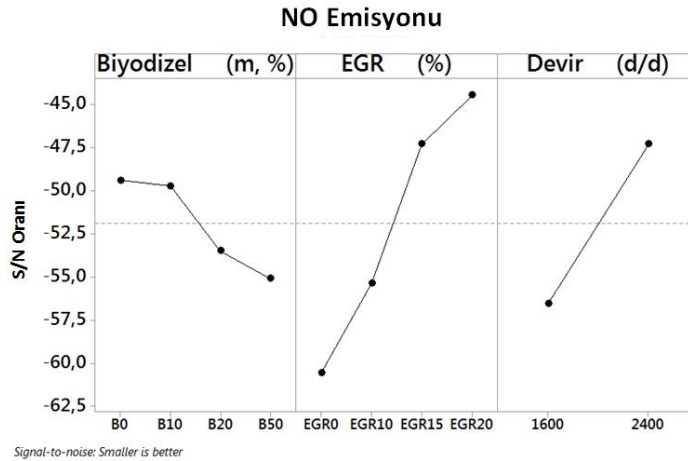
Şekil 5. Efektif verim için faktör seviyeleri S/N oranları

Şekil 5’te motor tam yükte çalışırken faktör ve seviyelerinin efektif verime etkisi görülmektedir. Dizel yakıtı göre B10 yakıtında efektif verimin bir miktar iyileştiği, B20 yakıtında en iyi seviyeye ulaştığı, bundan sonra yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça (B10 ve B20’ye göre) verimin bir miktar kötüleştiği görülmektedir. Dolayısıyla B20 biyodizel karışım yakıtında optimum verim elde edilmiştir. Biyodizelin bünyesinde yaklaşık %11 oranında oksijen bulunması yanmayı iyileştirici bir etki yapmaktadır. Ancak biyodizelin dizel yakıtı göre daha düşük alt ısıl değere sahip olması, yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça (B20-B50 arası) yakıt karışımının da alt ısıl değerinin düşmesine sebep olmaktadır. Karışımın alt ısıl değeri düştükçe sisteme enerji girişi az olmakta, dolayısıyla verim düşmektedir.

EGR’nin deney sisteminde devreye girmesiyle efektif verimin kötüleştiği görülmektedir. EGR ile silindire tekrar alınan egzoz gazları ortamın oksijen konsantrasyonunu düşürdüğünden yanma kalitesi azalmaktadır. Bu durumda elde edilen verim de düşmektedir.

Devir ile efektif verimin değişimine bakıldığında motor yüksek devirlerde çalıştığında motordan alınan efektif verimin azaldığı ifade edilebilir. Dolayısıyla 1600 d/d’da daha yüksek bir verim elde edilmiştir.

Şekil 6’da NO emisyonlarına etki eden faktör ve seviyelerinin değişimleri görülmektedir. NO emisyonunun optimum değeri dizel yakıtında (B0), %20 EGR oranında (EGR20) ve 2400 d/d’da elde edilmiştir. En iyi kombinasyon A1-B4-C2’dir.



Şekil 6. NO emisyonu için faktör seviyeleri S/N oranları

Şekil 6'da görüldüğü gibi motor tam yükteyken en düşük NO emisyonu dizel yakıt kullanımında tespit edilmiştir. NO emisyonu karışımdaki biyodizel yüzdesinin artmasıyla artış göstermiştir. Bu durumun, biyodizelin bünyesindeki oksijenin, yakıt demetinin çevresindeki bölgesel oksijen yoğunluğunu artırması sonucu yanma odasındaki bölgesel ısı çıkış hızı ve sıcaklığının artmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. NO'lar, yüksek sıcaklıkta ve önemli miktardaki hava ile yanma değişim alanlarında üretilir. Bu alanlardaki NO oluşumu, yanma işleminin ilk aşamasındaki serbest oksijene ve maksimum sıcaklığa bağlıdır. En fazla NO emisyonu miktarı, yanma veriminin en yüksek olduğu yüksek hava fazlalık katsayısına sahip egzoz gazında görülür. Dizel motorları yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalıştırları için NO emisyonları bu motorlarda daha fazla görülür [36].

Egzoz gazları silindir içine geri verildiğinde yanma odasındaki asal gaz yoğunluğu büyük oranda artmaktadır ve buna bağlı olarak alev sıcaklığında azalma meydana gelir. Ayrıca taze dolgudaki oksijen yoğunluğu azalır ve azot oksidin oksijen ile reaksiyona girebilmesi için ortamda yeterli oksijen bulunmadığından NO oluşumu azalır [14].

Yüksek devirlerde yanmanın kötüleşmesi ve avansın yeterli gelmemesi sonucu NO emisyonlarının oluşumunun azaldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, motor deneyleri iki farklı devir hızında gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla 1600 d/d ve 2400 d/d ile yapılan deney sonuçları karşılaştırılacak olursa Şekil 6'da belirtildiği gibi yüksek devirde (2400 d/d) daha düşük NO emisyonu tespit edilmiştir. Devir sayısı arttıkça NO miktarının azalmasının, NO oluşumu için yeterli sürenin kalmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

B. ANOVA ANALİZİ

Tablo 7 incelendiğinde ANOVA analizi sonuçlarına göre faktörlerin moment, efektif güç, efektif verim, ÖYS ve NO emisyonları üzerindeki etkileri görülmektedir.

Biyodizel, moment ve efektif güç üzerinde %99 güven aralığında etkilidir. EGR ve motor devri ise moment ve efektif güç üzerinde %99.99 güven aralığında etkilidir. Bu durumda EGR ve motor devrinin moment ve efektif güç üzerinde biyodizele göre daha etkili oldukları söylenebilir.

Motor devri, efektif verim ve ÖYS üzerinde %99.99 güven aralığında, devir efektif verim ve ÖYS üzerinde %99 güven aralığında etkilidir. Biyodizel ise bu faktörler üzerinde daha az etkilidir.

Biyodizel, NO emisyonları üzerinde %99 güven aralığında etkilidir. EGR ve motor devri ise NO emisyonları üzerinde %99.99 güven aralığında etkilidir. EGR ve motor devrinin NO emisyonu üzerinde biyodizele göre daha etkili oldukları ifade edilebilir.

Genel optimizasyonu belirlemek için S/N oranları tablosu oluşturulurken 0,05'ten düşük P değerine sahip faktörlerin S/N oranları tabloda verilmektedir. Diğer S/N oranlarının, anlamlı bulunmadıkları için tabloya aktarılmalarına gerek yoktur [27]. Öncelikle, Tablo 8'de herhangi bir faktör için en yüksek S/N oranı belirlenir. İkinci olarak, en büyük S/N oranına karşılık gelen faktör seviyesi belirlenir ve böylece genel optimizasyon elde edilir. A faktörü için en yüksek S/N oranı 32,27'dir ve seviye 3'te meydana gelir. B faktörü için en yüksek S/N oranı 32,78'dir ve seviye 1'de gerçekleşir. Aynı şekilde C faktörü için en yüksek S/N oranı 32,69'dur ve seviye 1'de gerçekleşir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında genel optimizasyon A3-B1-C1'dir.

Burada genel optimizasyon motor performans parametreleri üzerinde durularak yapılmıştır ve seçilen kombinasyon da performans parametrelerinin tümü için optimum sonucu verebilecek bir kombinasyondur. Eğer öncelikli hedef NO emisyonunun optimum seviyeye getirilmesi olsaydı, farklı bir kombinasyonun seçilmesi gerekirdi (A1-B4-C2). Ayrıca aynı anda hem motor performansının hem de NO emisyonlarının optimum bir seviyeye getirilmesi için genel optimizasyon A2-B2-C1 olarak seçilebilir.

Tablo 7. ANOVA analizi

	Faktörler	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	Fteori	Pdeğeri
Moment	A – Biyodizel	3	4,691	1,5637	10,01**	0,004
	B – EGR	3	8,92	2,9733	19,03***	0,001
	C – Devir	1	11,232	11,2322	71,9***	0,000
	Hata	8	1,25	0,1562		
	Toplam	15	26,093			
Etkifif Güç	A – Biyodizel	3	4,902	1,634	9,95**	0,004
	B – EGR	3	9,341	3,1137	18,97***	0,001
	C – Devir	1	14,61	14,6097	89***	0,000
	Hata	8	1,313	0,1642		
	Toplam	15	30,166			
Etkifif Verim	A – Biyodizel	3	3,107	1,0355	2,91	0,101
	B – EGR	3	9,257	3,0857	8,68**	0,007
	C – Devir	1	30,69	30,6898	86,3***	0,000
	Hata	8	2,845	0,3556		
	Toplam	15	45,898			
ÖYS	A – Biyodizel	3	2,37	0,79	2,6	0,124
	B – EGR	3	7,76	2,5865	8,52**	0,007
	C – Devir	1	26,358	26,3578	86,78***	0,000
	Hata	8	2,43	0,3037		
	Toplam	15	38,917			
NO Emisyonu	A – Biyodizel	3	95,25	31,751	7,79**	0,009
	B – EGR	3	657,86	219,286	53,79***	0,000
	C – Devir	1	343,09	343,088	84,15***	0,000
	Hata	8	32,62	4,077		
	Toplam	15	1128,81			

* %95 etki, **%99 etki, ***%99,99 etki.

Tablo 8. S/N oranlarına göre genel optimizasyonu belirleme

Faktörler /Seviyeler	Moment için S/N oranı	Etkifif güç için S/N oranı	ÖYS için S/N oranı	Etkifif verim için S/N oranı	NO için S/N oranı	Genel Optimizasyon
A	1	30,94	17,04		-49,37	A3
	2	31,99	18,12		-49,72	
	3	32,27	18,39		-53,47	
	4	32,23	18,36		-55,09	
B	1	32,78	18,92	-49,15	-10,75	B1
	2	32,25	18,38	-49,87	-11,52	
	3	31,63	17,75	-50,31	-11,99	
	4	30,77	16,87	-51,08	-12,85	
C	1	32,69	17,02	-48,82	-10,39	C1
	2	31,02	18,93	-51,39	-13,16	

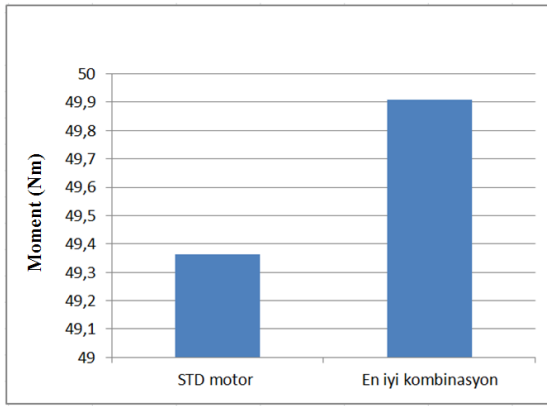
C. DOĞRULAMA DENEYLERİ

S/N analizi ve ANOVA analizi yapıldıktan sonra doğrulama testlerinin de yapılması gerekmektedir. Bunun için önce her bir performans karakteristiği için optimum parametreler seçilir. Daha sonra bu parametrelerin kullanılmasıyla performans karakteristiğindeki gelişmeler (iyileşmeler vs.) doğrulanır [37]. Böylece, Taguchi optimizasyonu sonrasında STD motor verileri ile en iyi kombinasyon sonucu

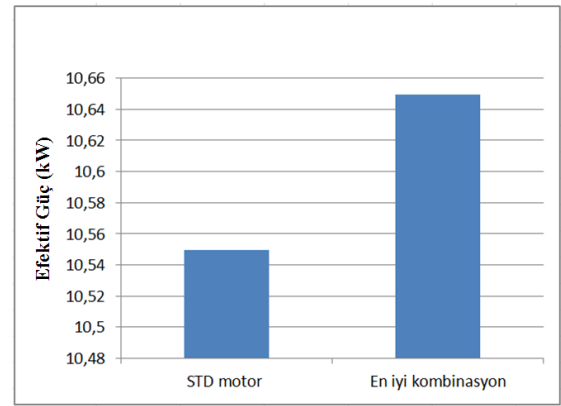
elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Bunun için öncelikle en iyi kombinasyonlara ait ortogonal dizide olmayan deney adımları yapılmış ve veriler kaydedilmiştir.

Şekil 7’de görüldüğü gibi en iyi moment, B20-EGR0-1600d/d kombinasyonunda elde edilmiştir. Bu kombinasyon ortogonal dizideki deney adımlarında mevcut değildir. Bu kombinasyona göre yapılan deneylerden elde edilen ortalama moment değeri 49,91 Nm’dir. Standart motorda (B0-EGR0-1600d/d) elde edilen moment değeri ortalaması 49,36 Nm’dir. Standart motor ile Taguchi optimizasyonu sonucu elde edilen değerler karşılaştırıldığında Taguchi optimizasyonu sayesinde %1,11’lik bir iyileşme elde edilmiştir.

Şekil 8’e bakıldığında en iyi efektif güç, B20-EGR0-2400d/d kombinasyonunda elde edilmiştir. Bu kombinasyon ortogonal dizideki deney adımlarında vardır ve ortalama güç değeri 10,64 kW’tır. Standart motorda (B0-EGR0-2400d/d) elde edilen efektif güç değeri ortalaması 10,54 kW’tır. Standart motor ile Taguchi optimizasyonu sonucu elde edilen değerler karşılaştırıldığında Taguchi optimizasyonu ile %0,95’lik bir iyileşme elde edilmiştir.



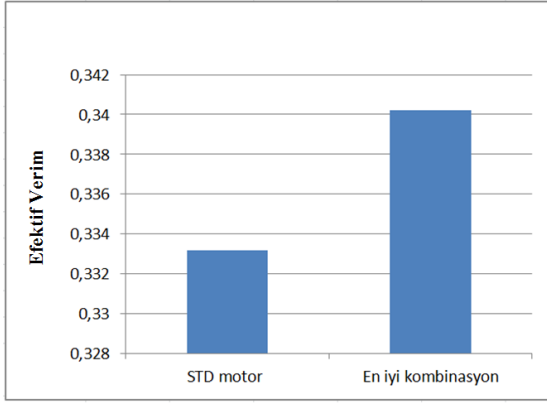
Şekil 7. Moment için karşılaştırma grafiği



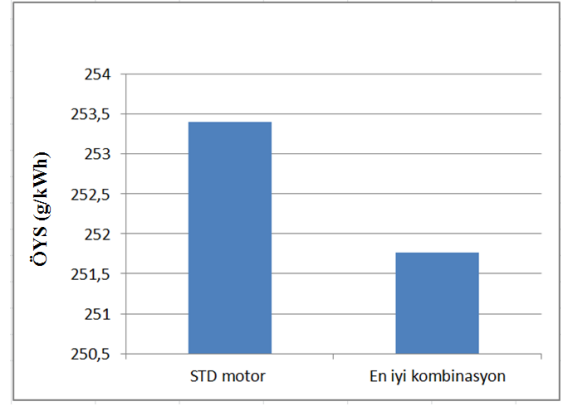
Şekil 8. Efektif güç için karşılaştırma grafiği

Şekil 9 ve 10’da görüldüğü gibi en iyi efektif verim ve ÖYS, B20-EGR0-1600d/d’da elde edilmiştir. Bu kombinasyon ortogonal dizideki deney adımlarında mevcut değildir. Bu kombinasyona göre yapılan deneylerde elde edilen efektif verimin ortalama değeri 0,340, ÖYS’nin ortalama değeri ise 251,7 g/kWh’tir. Standart motorda (B0-EGR0-1600d/d) elde edilen efektif verim ortalaması 0,333, ÖYS ortalaması 253,4 g/kWh’tir. Standart motor ile Taguchi optimizasyonu sonucu elde edilen değerler karşılaştırıldığında Taguchi optimizasyonu sayesinde efektif verimde %2,1’lik, ÖYS’de ise %0,67’lik bir iyileşme kaydedilmiştir.

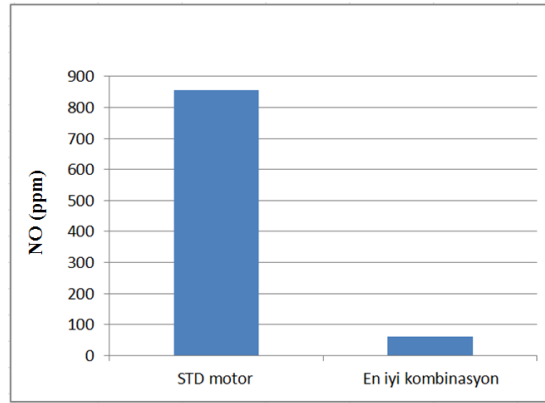
Şekil 11’e bakıldığında en iyi NO emisyonu, B0-EGR20-2400d/d kombinasyonunda elde edilmiştir. Bu kombinasyon ortogonal dizideki deney adımlarında vardır ve ortalama NO değeri 60 ppm’dir. Standart motorda (B0-EGR0-2400d/d) elde edilen NO emisyonunun ortalama değeri 857 ppm’dir. Standart motor ile Taguchi optimizasyonu sonucu elde edilen değerler karşılaştırıldığında Taguchi optimizasyonu ile %92,3’lük bir iyileşme elde edilmiştir.



Şekil 9. Efektif verim için karşılaştırma grafiği



Şekil 10. ÖYS için karşılaştırma grafiği



Şekil 11. NO için karşılaştırma grafiği

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılarak, tam yükte ve iki farklı devirde çalışan bir dizel motorunda farklı biyodizel ve EGR oranlarının uygulanması sonucu motor performans parametreleri ve NO emisyonundakii değişimler incelenmiştir. Yapılan deneysel incelemeler sonucunda motor devrinin, farklı biyodizel ve EGR oranlarının motor performans parametreleri ve NO emisyonları üzerinde etkili oldukları tespit edilmiştir. Genel olarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Taguchi deney tasarım yönteminin kullanılmasının, motor performans parametrelerinin ve NO emisyonunun optimum değerlerinin bulunması açısından etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Motor döndürme momenti açısından optimum sonuçlar B20 yakıtında, EGR uygulanmadığında (EGR0) ve 1600 d/d'da elde edilmiştir. Taguchi optimizasyonu sonucu momentte %1,11'lik bir iyileşme kaydedilmiştir.
- Efektif güç için optimum sonuçlar B20 yakıtında, EGR uygulanmadığında (EGR0) ve 2400 d/d'da, elde edilmiştir. Optimizasyon sonucu efektif güç %0,95 oranında artış göstermiştir.
- Optimum efektif verim ve ÖYS B20 yakıtında, EGR uygulanmadığında (EGR0) ve 1600 d/d'da elde edilmiştir. Optimizasyon sonucu efektif verimde %2,1'lik, ÖYS'de ise %0,67'lik bir iyileşme tespit edilmiştir.

- NO emisyonlarının optimum değeri dizel yakıtında (B0), EGR20 oranında ve 2400 d/d'da, elde edilmiştir. NO emisyonlarının optimizasyonu sonucunda %92,3 oranında bir iyileşme elde edilmiştir.
- ANOVA analizi sonucunda faktörlerin performans parametreleri üzerinde %99 ile %99.99 arasında etkili oldukları saptanmıştır.
- Bu çalışmada, Taguchi istatistiksel deney tasarım yöntemi kullanılarak zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlanmıştır.

DeneySEL çalışmalar neticesinde elde edilen veriler dikkate alındığında yeni çalışmalara yol göstermesi açısından bazı öneriler yapılabilir. Bu çalışmada motor performansı ve NO optimizasyonu için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Ancak ileriki çalışmalarda Taguchi ve YSA (Yapay Sinir Ağları) beraber kullanılarak motor performans ve emisyonlarının optimizasyon çalışmaları yapılabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Karabaş, "Tütün tohumu yağı metil esterinin dizel motorlarında yakıt olarak kullanılma imkanlarının araştırılması," Doktora tezi, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2009.
- [2] K.A. Abed, M.S. Gad, A.K. El Morsi, M.M. Sayed and S.A. Elyazeed, "Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions," *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 28, no. 2, pp. 183-188, 2019.
- [3] M. Arslan ve K. Alibaş, "Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve bu tesiste çeşitli bitkisel yağ kaynaklarından biyodizel üretimi," *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 29, s. 1, ss. 107-113, 2015.
- [4] C. Haşimoğlu, "Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi," Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2005.
- [5] C. Haşimoğlu, Y. İçingür ve H. Ögüt, "Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi," *TÜBİTAK*, s. 26, ss. 127-135, 2002.
- [6] M.E. Tat, "Investigation of oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engine," Ph.D. dissertation, Iowa State University, Iowa, USA, 2003.
- [7] V. Ayhan, İ. Özsert, Y. Çay, A. Çoban ve İ. Cesur, "DI bir dizel motorunda optimum buhar püskürtme oranı ve yakıt püskürtme zamanının taguchi metodu ile deneysel olarak belirlenmesi," *Journal of New Results in Engineering and Natural Science*, s. 8 ss. 128-136, 2018.
- [8] S. Manigandan, P. Gunasekar, J. Devipriya and S. Nithya, "Emission and injection characteristics of corn biodiesel blends in diesel engine," *Fuel*, vol. 235, pp. 723-735, 2019.
- [9] N. Usta, Ö. Can ve E. Öztürk, "Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 11, s. 3, ss. 325-334, 2005.
- [10] V. Ayhan, S. Tunca, İ. Cesur, İ. Özsert ve G. Ergen, "Ayçiçek yağı metil ester karışımlarının di bir dizel motorunun performans ve emisyonlarına etkisi," *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 67-73, 2019.

- [11] A. Keskin ve K. Ekşi, “Dizel motorlarda mısır yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanımının motor performans ve emisyonuna etkisi,” *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 49-55, 2006.
- [12] P. Rosha, S.K. Mohapatra, S.K. Mahla, H. Cho, B.S. Chauhan and A. Dhir, “Effect of compression ratio on combustion, performance, and emission characteristics of compression ignition engine fueled with palm (B20) biodiesel blend,” *Energy*, vol. 178, pp. 676-684, 2019.
- [13] L.A. Raman, B. Deepanraj, S. Rajakumar and V. Sivasubramanian, “Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel,” *Fuel*, vol. 246, pp. 69-74, 2019.
- [14] A. Tok, “Egzoz gazı resirkülasyonunun (EGR) motor performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2010.
- [15] S. Verma, L.M. Das, S.C. Kaushik and S.S. Bhatti, “The effects of compression ratio and EGR on the performance and emission characteristics of diesel-biogas dual fuel engine,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 150, pp. 1090–1103, 2019.
- [16] M.H.M. Yasin, R. Mamat, A.F. Yusop, D.M.N.D. İdris, T. Yusaf, M. Rasul and G. Najafi, “Study of a diesel engine performance with exhaust gas recirculation (EGR) system fuelled with palm biodiesel,” *Energy Procedia*, vol. 110, pp. 26-31, 2017.
- [17] T. He, Z. Chen, L. Zhu and Q. Zhang, “The influence of alcohol additives and EGR on the combustion and emission characteristics of diesel engine under high-load condition,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 140, pp. 363–372, 2018.
- [18] V. Ayhan, Ç. Çangal, İ. Cesur, A. Çoban, G. Ergen, Y. Çay, A. Kolip and İ. Özsert, “Optimization of the factors affecting performance and emissions in a diesel engine using biodiesel and EGR with Taguchi method,” *Fuel*, vol. 261, 2020, Art. no. 116371.
- [19] P. Bhowmick, A.K. Jeevanantham, B. Ashok, K. Nanthagopal, D.A. Perumal, V. Karthickeyan, K.C. Vora and A. Jain, “Effect of fuel injection strategies and EGR on biodiesel blend in a CRDI engine,” *Energy*, vol. 181, pp. 1094-1113, 2019.
- [20] Ö. Can, E. Öztürk, H. Solmaz, F. Aksoy, C. Çınar and H.S. Yücesu, “Combined effects of soybean biodiesel fuel addition and EGR application on the combustion and exhaust emissions in a diesel engine,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 95, pp. 115-124, 2016.
- [21] X. Shi, B. Liu, C. Zhang, J. Hu and Q. Zeng, “A study on combined effect of high EGR rate and biodiesel on combustion and emission performance of a diesel engine,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 125, pp. 1272-1279, 2017.
- [22] M.H.M. Yasin, R. Mamat, A.F. Yusop, P. Paruka, T. Yusaf and G. Najafi, “Effects of exhaust gas recirculation (EGR) on a diesel engine fuelled with palm-biodiesel,” *Energy Procedia*, vol. 75, pp. 30-36, 2015.
- [23] Ç. Sarpkaya, “Taguchi metoduna dayalı gri ilişkiler analizi ile haşıl prosesinin optimizasyonu,” Doktora tezi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2014.
- [24] Z.Y. Wu, H.W. Wu and C.H. Hung, “Applying Taguchi method to combustion characteristics and optimal factors determination in diesel/biodiesel engines with port-injecting LPG,” *Fuel*, vol. 117, pp. 8–14, 2014.



- [25] H. Wu and Z. Wu, "Using Taguchi method on combustion performance of a diesel engine with diesel/biodiesel blend and port-inducting H₂," *Applied Energy*, vol. 104, pp. 362–370, 2014.
- [26] D.H. Lee, J.S. Park, M.R. Ryu and J.H. Park, "Development of a highly efficient low-emission diesel engine-powered co-generation system and its optimization using Taguchi method," *Applied Thermal Engineering*, vol. 50, pp. 491-495, 2013.
- [27] M. Balkı, C. Sayın and M. Sarıkaya, "Optimization of the operating parameters based on Taguchi method in an SI engine used pure gasoline, ethanol and methanol," *Fuel*, vol. 180, pp. 630–637, 2016.
- [28] T. Ganapathy, K. Murugesan and R.P. Gakkhar, "Performance optimization of jatropha biodiesel engine model using Taguchi approach," *Applied Energy*, vol. 86, pp. 2476–2486, 2009.
- [29] Ç. Çangal, "Farklı yakıt karışımları ve emisyon azaltma teknikleri uygulanan bir dizel motorda optimum parametrelerin Taguchi yöntemi ile belirlenmesi, Yüksek Lisans tezi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2019.
- [30] N.A. Ansari, A. Sharma and Y. Singh, "Performance and emission analysis of a diesel engine implementing polanga biodiesel and optimization using Taguchi method," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 120, pp. 146–154, 2018.
- [31] Z.Ö. Özdemir ve H. Mutlubaş, "Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri," *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, s. 2, ss. 129-143, 2016.
- [32] S. İzgiz, *Deney Tasarımı ve Taguchi Metodu - Ürün ve Proseslerin Optimizasyonu*, 1. baskı, Kocaeli, Türkiye: Federal Mogul, 1999, böl. 5, ss. 87-110.
- [33] M. Şirvancı, *Kalite İçin Deney Tasarımı*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Literatür Yayıncılık, 1997, böl. 1, ss. 11-16.
- [34] R. Behçet ve F. Oral, "Dizel motor performans ve emisyonları üzerindeki biyodizel-dizel karışım yakıtların etkisi," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 15-23, 2014.
- [35] A.N. Özsezen ve M. Çanakçı, "Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 15, s. 2, ss. 173-180, 2009.
- [36] A. Jamrozik, "The effect of the alcohol content in the fuel mixture on the performance and emissions of a direct injection diesel engine fueled with diesel-methanol and diesel-ethanol blends," *Energy Conversion and Management*, vol. 148, pp. 461–476, 2017.
- [37] E. Turgut, G. Çakmak and C. Yıldız, "Optimization of the concentric heat exchanger with injector turbulators by Taguchi method," *Energy Conversion and Management*, vol. 53, pp. 268-275, 2012.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Adli Bilişim İncelenme Süreçlerinde Yapay Zeka Kullanımı: VGG16 ile Görüntü Sınıflandırma

 İsrail DİLBER^{a,*},  Aydın ÇETİN^b

^a Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: israfil.dilber@gazi.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.897437

ÖZ

Son yıllarda teknolojiye meydana gelen gelişmelerle beraber başta internet ve sosyal medya olmak üzere bulut bilişim, akıllı telefon ve navigasyon sistemleri gibi uygulamaların kullanım oranları artmıştır. İnternet ve bilişim cihazlarının yoğun kullanımı, beraberinde depolanan veya aktarılan veri miktarını arttırmış ve bu artış aynı zamanda dijital dünya ile ilişkilendirilen suç oranının da yükselmesine neden olmuştur. İşlenen suçlara ilişkin elde edilen delil boyutu da paralel olarak artmış ve artan veri miktarı, adli bilişim uzmanlarının mevcut imkânlarla veriyi analiz edebilmesini zorlaştırmıştır. Adli bilişim veri inceleme süreçlerinde yaşanan aksamalar nihai olarak adli yargılama süreçlerini de olumsuz etkilemiştir. Söz konusu sorunların giderilmesi kapsamında makalede, elde edilen görüntü verilerinin hızlı ve doğru olarak analiz edilmesini sağlayan bir model önerilmiştir. Önerilen model, VGG16 ağ yapısı ile görüntü sınıflandırma için özel tasarlanan ağ katmanlarından oluşmaktadır. Çalışmada, 2085'i Kaggle platformundan 915'i farklı kaynaklardan oluşturulan 300*300 piksel çözünürlüklü resimlerden oluşan veri seti kullanılmıştır. Model, FloydHub ortamında Keras ve TensorFlow kütüphaneleri ile test edilmiştir. Test sonuçlarına göre modelde %97.8 doğruluk oranı elde edilmiştir. Elde edilen sonuç, benzer çalışmalarla kıyaslanmış ve önerilen modelin diğer çalışmalara oranla ortalama %5 oranında performans artışı sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Adli bilişim, Yapay zeka, Derin öğrenme, Evrimsel sinir ağları, ESA

Artificial Intelligence in Digital Forensics Investigation Processes: Image Classification with VGG16

ABSTRACT

With the recent developments in technology, the usage rates of cloud computing, smartphones, and navigation systems, especially the internet and social media, have increased. The intensive use of these devices has increased the amount of data stored or transferred. Such an increase has also led to a growth in the digital world-related crime rate. The size of the evidence has grown incrementally, and making it difficult to analyze the data effectively. The failures in analysis processes have ultimately affected the judicial proceedings negatively. To solve the aforementioned problems, a model is proposed that enables fast and accurate analysis of image data in the article. The model consists of VGG16 convolutional and fully connected neural network layers. In the study, a data set consisting of 300x300 pixel resolution images, 2085 of which were compiled from the Kaggle platform and 915 from different sources, was used. The model was tested in the FloydHub with the Keras and TensorFlow libraries. According to the test results, a 97.8% accuracy rate was obtained. Test results indicate that the proposed model provides an average performance increase of 5% compared to other studies.

Keywords: Digital forensics, Artificial intelligence, Deep learning, Convolutional neural networks, CNN

I. GİRİŞ

Dijital bellek kapasitelerinin devamlı artışı ile bu cihazların günlük hayatta herkes tarafından yaygın kullanımı, söz konusu cihazların incelenmesine olan ihtiyacı ve aynı zamanda incelenecek veri miktarını da artırmıştır. Bu soruna ek olarak, mevcut adli bilişim yazılımları büyük miktarda verinin analizi ve özellikle son bulguların ilişkilendirilmesi söz konusu olduğunda yetersiz kalmaktadırlar. Sonuç olarak, adli bilişim uzmanlarının analize ayırdıkları zaman gereğinden fazla olmaktadır [1]. Bunun neticesinde ise dijital delil analiz çalışmalarına paralel olarak ilerleyen yargılama süreçlerinin aksaması söz konusu olmaktadır.

Verinin gerçek değeri, karar vermede yardımcı olabilecek yararlı bilgiler üretme becerisine dayalı olarak doğrulanır. Çoğu durumda, dijital adli analiz, analistlerin veya yaygın olarak e-suç araştırmacılarının bazı araçların yardımıyla, veriye ilişkin analizini açıklamak için raporlar ve özetler oluşturdukları geleneksel ve manuel bir süreçtir. Bununla birlikte araştırmacısının, toplanan verilerle ilgili yararlı bilgileri orijinal biçiminde kavraması zor olabilir. Bu nedenle toplanan veriler SANS SFIT, Sleuth Kit, Last Activity View gibi araçlar kullanılarak anlaşılır bir forma dönüştürülebilir [2]. Bu noktada hâlihazırda kullanılan yazılım ve cihazlar metin formatında aramalar, hash değeri karşılaştırmaları vb. işlemlerde etkin olarak kullanılabilse de, söz konusu görüntü verilerinin analizi olduğunda bu cihazlar çoğu zaman yetersiz kalmaktadırlar.

Adli bilişim uzmanlarının manuel olarak görüntü verilerini incelemeye çalışmaları, görüntü başına harcanan zaman birimini artırmakta, analiz hata payını yükseltmektedir. Bilindiği üzere son zamanlarda derin öğrenme teknikleri, görüntü manipülasyonunu tanımlamak için kullanılmış ve tatmin edici sonuçlar vermiştir [3]. Dolayısı ile adli bilişim uzmanlarının veri inceleme süreçlerinde karşılaştıkları zorlukların giderilmesi maksadı ile makalede, görüntü verilerinin hızlı ve doğru sınıflandırılmasını sağlayacak, derin öğrenme algoritmalarını kullanan bir model oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan farklı hiper parametreler ile bu parametrelerin neticesinde elde edilen sonuçlar, derin öğrenme alanında gerçekleştirilen diğer çalışmalarda kullanılan hiper parametre ve elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Bilişim suçları ve bilişim yoluyla işlenen suçlar ile daha etkin bir şekilde mücadele edilebilmesi için, suçların aydınlatılması ve suçluların adli makamlara teslim edilmesi sürecinde fiziksel delillerden çok, elektronik veya manyetik bir ortam üzerinden iletilen veya bu ortamlara kaydedilen delil niteliği taşıyan veri ve bilgiler olarak tanımlanan dijital delillere ihtiyaç duyulmaktadır [4]. Dijital delillerin her geçen gün daha fazla önem arz ettiği mahkemelerde yargılama süreçlerinin doğru ve hızlı yapılabilmesi ancak elde edilen dijital verilerin zamanında incelenebilmesi ile mümkündür. Dolayısı ile yargılama süreçlerinin hızlandırılması ve dijital delil kaynaklı ortaya çıkan aksaklıkların en aza indirilmesi kapsamında ortaya konulan çalışma önem arz etmektedir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde adli bilişim ve yapay zekâ/derin öğrenme alanında yapılan önceki çalışmalar yer almaktadır. Üçüncü bölümde, çalışma kapsamında veri setinin oluşturulması, ağ modelinin belirlenmesi ve kullanılan hiper parametre ve değerleri hakkında bilgi verilmiş, çalışma boyunca izlenen yol ve yöntemler ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde model üzerinde test edilen hiper parametreler ve bu parametrelere ait sonuçlar sunulmuş ve elde edilen sonuçlar diğer çalışma sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Son bölümde ise yapılan çalışmanın önemi ve sonucuna ilişkin genel bir değerlendirme yapılmıştır.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Derin öğrenme algoritmaları farklı alanlara ilişkin yapılan çalışmalarda olduğu gibi adli bilişim alanında yapılan çalışmalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu noktadan hareketle literatür araştırmasında özellikle son 5 yılda adli bilişim alanında derin öğrenme algoritmalarının kullanılmasına ilişkin çalışma ve uygulamalar araştırılmıştır. Araştırma neticesinde adli bilişim alanı kapsamında derin öğrenme

algoritmalarının yoğun olarak metin verisi [5], ses verisi [6], video [7-9] ve resim [3], [10-19] verileri analizinde kullanıldığı tespit edilmiştir. Söz konusu çalışma alanlarına ek olarak yöntem iyileştirme [20,21], süreç iyileştirme ve otomasyon [22,23], saldırı tespit ve güvenlik log analizi [2], [24-25], derin öğrenme algoritmalarının yaygın olarak kullanıldığı diğer alanlardır.

Metin verisi çalışması kapsamında, Kansagara ve Singh [5] adli bilişim cihazlarında metin araması gerçekleştirildiğinde aramaya ilişkin sonuçların tamamının gelmediğini belirtmiş ve bu sorunu aşacak bir model ortaya koymuşlardır. Modelde makine öğrenmesi yaklaşımı ile dosyaları bir araya toplamak için Kohenen kendi kendine organizasyon haritası gibi metotlardan faydalanmışlar ve metin araması konusunda iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Ses verisinin analizine ilişkin olarak yapılan çalışmada, ses inceleme süreçlerinde kullanılan temel konuşma işleme teknikleri ile adli bilişim kapsamında ses incelemelerde kullanılan yazılımlar, performans açısından karşılaştırılmıştır [6]. Elde edilen sonuçlar, tablolar ile ayrıntılı olarak gösterilirken, ses analizi yapacak adli bilişim uzmanına doğru yazılımı seçme konusunda yardımcı olmak hedeflenmiştir.

Video analizi kapsamında, MP4, MOV ve 3GP formatında dijital videoların sonradan manipüle edildiğini tespit edebilen bir adli bilişim metodu önerilmiştir [7]. Önerilen metod, makine öğrenmesi teknikleri ile video düzenleme programlarının geride bıraktığı izlerin incelenmesi tekniğine dayanmaktadır. Toplamda 4979 manipüle edilmiş dijital video görüntüsünden faydalanılmış ve model beş farklı ölçüt ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda Rastgele Orman modeli en yüksek performansı göstermiştir. Sosyal medya tespiti çalışmasında ise önerilen model 12 farklı sosyal medya platformunu yüzde yüz doğruluk oranı ile tespit etmeyi başarmıştır.

Bu alanda yapılan diğer bir çalışmada hız ve doğruluk açısından derin öğrenme teknolojilerini kullanan üç popüler yüz tanımlama dedektörü farklı veri setleri ile test edilmiştir [8]. Elde edilen sonuçlar, görüntülerin yeniden boyutlandırılarak işleme alınmasının yüz tanıma süreçlerini hızlandırmakla beraber doğruluğunu azalttığını göstermiştir. Dual Face Shot Detector (DSFD) yüz tanıma dedektörünün, yüzde 50 ve yüzde 25 yeniden boyutlandırılan görüntülere uygulandığında en iyi hız ve doğruluk oranı yakaladığı kanıtlanmıştır. Sreenu ve Durai [9] yaptıkları çalışmada ise kalabalık alanlarda vuku bulan olaylara ilişkin olarak nesne tespitinden, olay tespitine, kalabalık analizinden şiddet tespitine kadar birçok alanı incelemeye almışlardır. Tespit süreçlerinde derin öğrenme algoritmaları kullanılmış ve bu algoritmalar performans açısından karşılaştırılmıştır. Mevcut video analiz uygulamalarının, kötü hava şartları, nesnelerin üst üste binmesi, gerçek dünya dinamikleri dikkate alındığında çoğu zaman veriyi analiz etmede yetersiz kaldığı tespit edilmiş ve video analiz işlemlerinde daha iyi sonuçların alınabilmesi için mevcut derin öğrenme algoritmaları ile klasik video analiz yöntemlerinin birleştirilmesi önerilmiştir.

Görüntü verilerinin derin öğrenme algoritmaları ile incelenmesi kapsamında Fernandes, Cardoso ve Astrup [10] cinsel saldırılarda elde edilen verilerin otomatik ve objektif olarak yorumlanmasını sağlayan derin öğrenme yapısı önermişlerdir. Makine öğrenmesi ve bilgisayar görmesi teknolojilerinden faydalanılmış, çalışmada cinsel bölge yara tespitinden adli bilişim delil yorumlanmasına ve görsel teknikler ile kararın açıklanmasına kadar geniş bir alan kapsam içine alınmıştır. Cinsel saldırıya ilişkin izlerin ortaya konulması açısından klasik yöntemler ile derin öğrenme algoritmaları karşılaştırılmış ve yapılan bütün testlerde derin öğrenme algoritmalarının daha yüksek verim ortaya koyduğu anlaşılmıştır.

Görüntü verilerine ilişkin olarak diğer bir çalışmada ise Evrişimsel Sinir Ağları (ESA) algoritmasını kullanan bir adli bilişim modeli önerilmiştir [11]. Önerilen modelde, girdi olarak kullanılan resim verilerine ait gri düzey eş oluşum matrisleri ESA'yı beslemede kullanılmıştır. Önerilen model, karşı adli bilişim atakların ortaya çıkarılması kapsamında sahteciliğin doğru olarak tespiti açısından klasik modellere oranla yüksek başarı göstermiştir. Bir diğer çalışmada ise dijital verilerin orijinalliği ve bütünlüğünün tespit edilmesi maksadı ile bu alanda kullanılan aktif ve pasif metotlar ile derin öğrenme algoritmalarına dayanan yöntemleri karşılaştırılmıştır [3]. Bu çalışmada ESA tabanlı teknikler bozulmuş görüntü verilerinin tespiti kapsamında iyi sonuçlar ortaya koymuş olsa da bu alanda, karşı adli bilişim

metotlarının da yaygın ve etkin olarak kullanıldığı ve bu metotlardan da tatmin edici sonuçlar elde edildiği vurgulanmıştır. Başka bir çalışmada insanların kıyafetlerinden elde edilen görsel verileri kullanarak kimlik tespitinde bulunan bir derin öğrenme modeli önerilmiştir [12]. Sıradan kıyafet veri seti kullanarak sınıflandırma yapıldığında önerilen modelin kötü performans sergilediği fakat popüler logo ve marka isimleri barındıran görüntüler kullanıldığında önerilen modelin yüzde 75'e yakın bir başarı oranı yakaladığı tespit edilmiştir. Görüntü analizi kapsamında Olmos, Tabik, ve Herrera [13] silah görüntü verilerinin insan müdahalesine gerek kalmadan tespit edebilen bir ESA modeli önermişlerdir. Havaalanlarında kullanılan silah tespit sistemlerinin sadece metal cisimleri algıladığı, X-ray tarayıcı ve yürüyen bant ile kombine ve pahalı sistemler olduğu ve neticesinde yaygın kullanımının sınırlı olduğu belirtilen çalışmada, sorunun aşılmasına ilişkin olarak VGG16 ağ modeli birçok farklı veri seti ile beraber kullanılmıştır. Çalışmada en iyi görüntü sınıflandırma algoritması olduğu tespit edilen Faster RCNN, düşük kalitede ve yedi farklı popüler filmde oluşan video verisinde de kullanılmış ve görüntülerin dinamik olmasına rağmen tatmin edici neticeler elde edilmiştir.

Görüntü analizi kapsamında yapılan diğer bir çalışmada, OpenFace uygulamaları, farklı veri setleri kullanılarak adli bilişim alanında denenmiştir [14]. İleri sürülen model ile adli bilişim süreçlerinde elde edilen yüz görüntülerinin farklılık ve benzerliklerin hangi oranda bulunabildiği üzerine yoğunlaşmış, OpenFace algoritmasının iyi bir performans ortaya koyduğu fakat yüz görüntülerinin kalitesi düştükçe modelin etkinliğinin de düştüğü gözlemlenmiştir. OpenFace uygulamasının mevcut hali ile veri analizinde yetersiz kalacağı, geliştirilmesi halinde bu alanda umut veren gelişmelere yol açabileceği çalışmada ileri sürülmüştür. "Adli benzerlik" diye isimlendirilen ve iki görüntüye ait adli izlerin aynı olup olmadığını belirleyen bir model, Mayer ve Stamm [15] tarafından ortaya atılmıştır. Modelin en önemli avantajının, adli verilerin aynı olup olmadığına karar verirken, modelin önceden benzer verilerle eğitilmesine ihtiyaç olmadığı belirtilen çalışmada, modelin doğruluğu, resim çiftlerinin aynı derleme programı ile yapıldığına karar verebilmesi çerçevesinde test edilmiştir. Modelin önceden eğitilmediği adli izlerde bile doğru çalıştığı ve önceki çalışmalara oranla hata oranını yüzde 50 azalttığı tespit edilmiştir.

Diğer bir çalışmada ise olay mahallinde kumaş parçası üzerinde bulunan barut kalıntısını otomatik olarak tespit edebilen iki farklı makine öğrenmesi algoritması ve hiperspektral kamera uygulamaları incelenmiştir [16]. Çalışmada, olay yerinde barut kalıntısının varlığının teyit edilebilmesi için her ne kadar analiz ve ikinci bir tanımlama tekniği gerektiği vurgulansa da, görüntü işleme algoritmalarını kullanan hiperspektral kameranın, delil toplama ve analiz işlemlerini destekleyen önemli bir uygulama olduğu sonucuna varılmıştır. Eriş [17] ise bu kapsamda adli bilişim veri inceleme süreçlerinde yardımcı bir eleman olarak derin öğrenme algoritmalarının kullanılmasını hedeflemiştir. Bu maksatla derin öğrenme algoritmaları kullanılarak görüntü sınıflandırma modeli oluşturmuş, görüntü verileri üzerinde yapılan sınıflandırma işlemlerinde yüzde 90 üzerinde başarı elde etmiştir.

Bu alanda yapılan bir diğer çalışmada görüntü üzerinde yapılması muhtemel sahtecilik işlemlerini ve bu işlemlerin tespitinde kullanılan bazı görüntü manipülasyon tekniklerini incelemek üzere farklı teknikler üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir [18]. Çalışma boyunca ImageNet veri setinden ve farklı derin öğrenme modellerinden faydalanırken, pratik manipülasyon tespit sisteminin oluşturulmasının zor olduğu fakat transfer öğrenme ve farklı modellerin birleştirilmesi ile manipülasyon tespit sistemi geliştirilebildiği belirtilmiştir.

Bu alanda yapılan son çalışmada adli bilişim veri inceleme süreçlerinde görüntü verilerinin derin öğrenme algoritmaları ile hızlı ve doğru olarak sınıflandırılması üzerine çalışılmıştır [19]. Bu kapsamda adli bilişim görüntü inceleme işleminde insan müdahalesinin en aza indirilmesi hedeflenmiş, eğitim ve doğrulama işlemleri için farklı sayıda görüntü verisi kullanılırken sınıflandırma işlemine ilişkin olarak yaklaşık yüzde 93 oranında başarı elde edilmiştir.

Yöntem iyileştirme çalışmaları kapsamında ise makine öğrenmesinin, internet sitesi saldırılarının analizi ve incelenmesi süreçlerinde etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği önerilmiştir [20]. Çalışmada, makine öğrenmesi aşamalarında özellik seçiminin kritik olduğu ve doğru parametrelerin seçilmesi durumunda modelin performansının artacağı vurgulanmıştır. Günümüzde internet site saldırılarında

delil elde etmek için optimal bir parametre seçimin henüz uygulamada olmadığı ileri sürülmüş ve bu kapsamda filter ve wrapper metotlarını kullanan bir hibrit yöntem önerilmiştir. Önerilen modelin başarısı 3 farklı internet site saldırısı senaryosu eşliğinde kanıtlanmıştır. Bu alanda yapılan bir diğer çalışmada ise verinin adli bilişim açısından incelenmesini kapsayan ve üç aşamadan oluşan bir çalışma ortaya konmuştur [21]. İlk evrede Android akıllı telefonlara ilişkin veri analizi yapılmış ve aynı zamanda Paraben E3 ve Autopsy adli bilişim cihazlarının karşılaştırılması yapılmış ve Android cihazları üzerinde yapılan işlemlere ait izlerin bu cihazların dahili hafızasında tespit edilebileceği kanıtlanmıştır. İkinci aşamada ise Snapchat uygulamasına ait veriler, Android cihazlar üzerinde analiz edilmiş ve Snapchat üzerinde gerçekleştirilen bazı işlem verilerine Paraben E3 kullanılarak ulaşılabildiği görülmüştür. Son aşamada ise Microsoft Azure ve IBM Watson üzerinde bulunan makine öğrenmesi servisleri performansları açısından test edilmiştir.

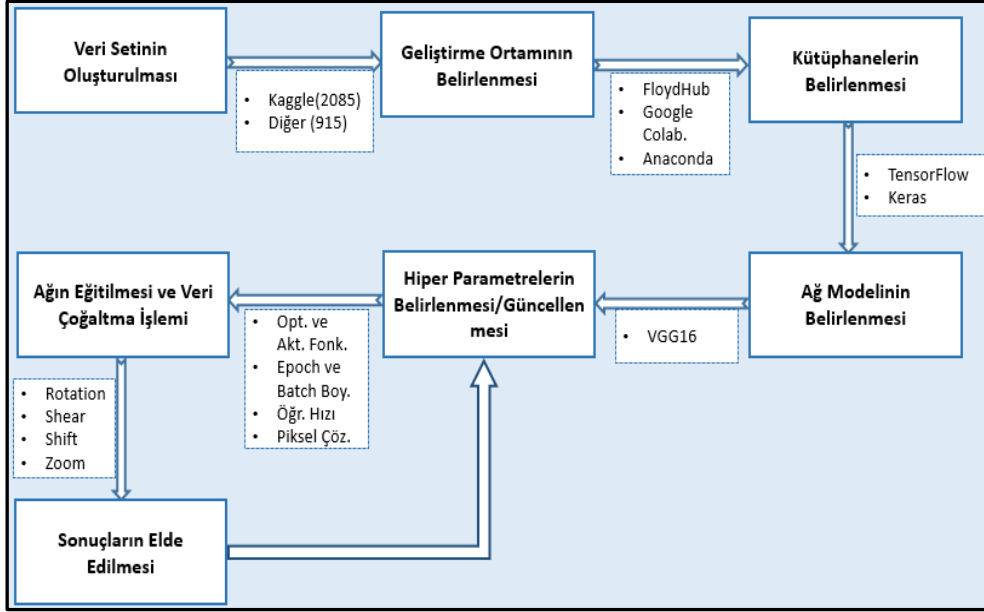
Süreç iyileştirme ve otomasyon kapsamında yapılan çalışmada ise Rughani [22] adli bilişim veri inceleme aşamalarında insan müdahalesini en aza indirmek amacıyla rutin işlemlerin yapay zekâ uygulamaları ile yapılması anlayışına dayanan bir model önermiştir. Önerilen modelin adli bilişim süreçlerinde ihtiyaç duyulan zamanı azalttığı, daha az işlemci gücüne ihtiyaç duyduğu, bunun yanında insan iş gücünü de azalttığı tespit edilmiştir. Bu kapsamda yapılan bir diğer çalışmada yapay zekâ ve sayısal mantığın delil analizinin otomasyonunun sağlanmasında kullanılabilirliği ortaya konulmaya çalışılmıştır [23]. Çalışmada, insan eli ile çözülmesi zor olan veri inceleme süreçlerinin, optimizasyon problemi gibi ifade edilebileceği ileri sürülmüş, kanıt olarak sayısal mantık programları ile gerçek soruşturma vakalarının formalize edilebildiği ve bir metodolojinin somut inceleme hipotezini nasıl formüle ettiği gösterilmiştir.

Saldırı tespitinin yapılabilmesi ve log analizi incelenmesi alanında yapılan çalışmada adli bilişim süreçlerinde delillerin ortaya çıkarılması maksadı ile makine öğrenmesi algoritmaları aracılığıyla sistem dosyalarına ait güvenlik kayıtlarını inceleyerek bu kayıtların başka uygulamalar tarafından manipüle edilip edilmediği tespit edilmeye çalışılmıştır [2]. Çalışmada word, excel gibi on farklı program izi kullanılarak yaklaşık 42 bin adet veri elde edilmiş, bu veriler ile farklı derin öğrenme algoritmaları eğitilmiş ve en iyi sonuç YSA ve rastgele orman algoritmaları ile elde edilmiştir. Log analizi kapsamında yapılan bir diğer çalışmada Pandey, Mujmer, Gyarsiya ve Kanungo [24] zararlı yazılımların tespit edilmesine ilişkin olarak yapılan çalışmaları ve adli bilişim alanında mevcut sorun sahalarını ortaya koymuşlardır. Çalışmada, makine öğrenmesi algoritmaları zararlı yazılımların tespit edilmesi açısından değerlendirilmeye alınmış, rastgele orman algoritmasının zararlı yazılımların herhangi bir sistem dosyası içerisinde tespit edilmesi kapsamında en etkili algoritma olduğu belirtilmiştir.

Bu alanda yapılan son çalışmada ise derin öğrenme algoritmalarının siber saldırıya karşı koymada yardımcı eleman olarak kullanılabilmesi ileri sürülmüş ve bu maksatla derin öğrenme, akıllı hesaplama tekniklerini kullanan ve Deep Learning Cyber Forensics (DLCF) olarak adlandırılan bir jenerik çatı sunulmuştur [25]. Çalışmada, derin öğrenme algoritmalarının birçok alanda kullanıldığı dolayısı ile bu teknolojinin siber adli bilişim alanında vakaların tespit edilmesi, veri boyutunun minimum seviyelere indirilmesi ve sonuçların doğru yorumlanması aşamalarında da uygulanabileceği belirtilmiştir.

III. MATERYAL VE YÖNTEM

Mevcut adli bilişim veri inceleme cihaz ve yazılımları özellikle görüntü verileri söz konusu olduğunda otomatik olarak inceleme ve yorumlama konusunda yetersiz kalmaktadırlar. Bu noktada adli bilişim uzmanlarına veri inceleme süreçlerinde destek olacak ve özellikle görüntü verilerinin hızlı ve doğru incelenmesini sağlayacak bir görüntü sınıflandırma modeli önerilmiştir. Bu bölümde çalışmada kullanılan veri seti, ağ modeli ve hiper parametreler hakkında bilgi verilmiş ve çalışma boyunca takip edilen süreç, genel hatları ile Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Önerilen modele ait süreç akış diyagramı

A. VERİ SETİNİN OLUŞTURULMASI

Derin öğrenme alanında yapılan çalışmalarda ağ modelini eğitmek maksadı ile ImageNet, Coco ve Mnist gibi birçok veri seti kullanılmaktadır. Bu kapsamda makalede, binlerce farklı kategoride geniş veri seti yelpazesine sahip Kaggle platformu temel veri seti kaynağı olarak kullanılmıştır. Veri seti oluştururken, Kaggle veri seti yanı sıra farklı arama motorlarından elde edilen görüntülerden de faydalanılmıştır. Makalede 1500 tabanca ve 1500 bıçak görüntüsü olmak üzere toplamda 3000 görüntü verisi kullanılmıştır. Elde edilen görüntülerin 2000 adedi eğitim maksadı ile kullanılırken 1000 adedi ise doğrulama amacı ile kullanılmıştır. Tabanca görüntülerinin tamamı Kaggle platformundan [26-28] elde edilirken, bıçak görüntülerinin sadece 585 adedi Kaggle platformundan [29-30] elde edilmiş, 915 adet görüntünün elde edilmesinde ise arama motorlarından faydalanılmıştır.

Veri çoğaltma işlemi, mevcut görüntülerin farklı işlemlerden (çevirmek, daraltmak, döndürmek vb.) geçirilerek yeniden ağı eğitilmesinde kullanılmasıdır. Bu kapsamda çalışmada yaygın olarak tercih edilen %20 oranında rotation, shear, shift, zoom ve horizontal flip gibi veri çoğaltma tekniklerinden faydalanılmıştır.

B. GELİŞTİRME ORTAMI VE KULLANILAN KÜTÜPHANELER

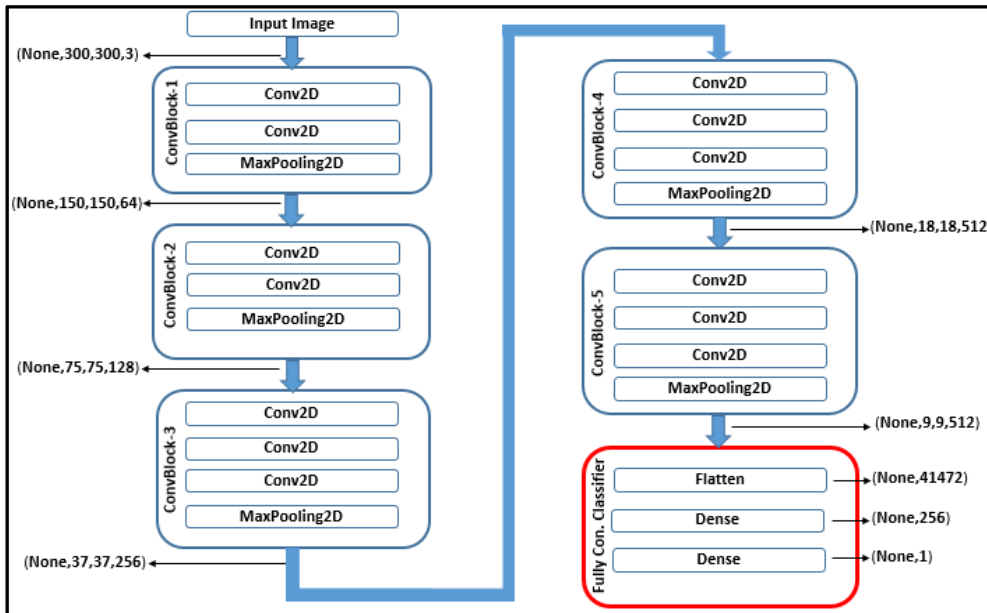
Farklı programlama dillerinde yazılan ücretli veya açık kaynak kod olarak kullanılabilir başlıca derin öğrenme geliştirme ortamları; Anaconda, Neural Designer, FloydHub, Deep Learning Studio, Google Colaboratory ve Deep Learning Kit olarak sıralanabilmektedir. Çalışma kapsamında yerel bilgisayarda Anaconda geliştirme ortamı denenirken, Google Colaboratory ve FloydHub'ın hem ücretli hem de ücretsiz bulut bilişim hizmetleri de test maksadı ile kullanılmıştır. Bununla beraber hem süre açısından avantaj sağlaması hem de kullanıcı odaklı olması nedeni ile çalışma boyunca ağırlıklı olarak FloydHub (GPU-62) geliştirme ortamı tercih edilmiştir.

Derin öğrenme uygulamalarında araştırmacılar tarafından yaygın olarak Keras, TensorFlow, Theano veya Pytorch gibi derin öğrenme kütüphaneler kullanılmaktadır. Bu kapsamda farklı platformlar ile sorunsuz çalışması, birbiri ile olan uyumu ve yaygın kullanımı sebebi ile Keras ve TensorFlow kütüphaneleri çalışmada tercih edilen kütüphaneler olmuştur. Keras, araştırmacılara ağ katman sayısı, hata ve optimizasyon fonksiyonu seçimi vb. konularda bilgi sunan fakat düşük seviye operasyonları desteklemeyen bir çatı kütüphane konumundadır. Bununla beraber Keras, kod değişikliğine ihtiyaç duymadan TensorFlow, Theano veya CNTK gibi düşük seviye kütüphanelerle uyum içerisinde

çalışabilmektedir. Google firması tarafından geliştiren TensorFlow ise kolayca farklı projelere adapte edilebilen, ölçülebilir ve hızlı işlem gücüne sahip açık kaynak kodlu bir kütüphanedir.

C. AĞ MODELİNİN EĞİTİLMESİ

Derin öğrenme çalışmalarında başarı oranını artırmak için önceden milyonlarca farklı veri ile eğitilmiş ağ yapılarını kullanmak yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Transfer öğrenmesi (transfer learning) olarak isimlendirilen bu yöntem kapsamında genellikle VGG16, LeNet veya ILSVRC gibi ağ modelleri kullanılmaktadır. Söz konusu ağ modelleri ESA ve tam bağlı (fully connected) Yapay Sinir Ağı (YSA) olmak üzere iki farklı bölümden meydana gelmektedir. ESA aşamasında veriye ait özellik çıkarımı gerçekleştirilirken YSA bölümünde ise verinin sınıflandırılması sağlanmaktadır. Dolayısı ile makalede görüntü sınıflandırma alanında yaygın olarak kullanılan ve yüksek başarı oranı sağlayan VGG16 ağ modeli kullanılmıştır. VGG16 ağ modelinin ESA katmanı yeniden eğitilmeden olduğu gibi aktarılırken, sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesi için üç katmanlı yeni bir ağ yapısı oluşturulmuştur. VGG16 ağ modelinde toplamda 14 milyondan fazla değişken yer almaktadır. VGG16 ağ yapısı ve eklenen katmanlara ilişkin model özeti Şekil 2’de sunulduğu gibidir.



Şekil 2. Önerilen ağ modeli

Ağ modeli oluştururken kullanılacak çok sayıda hiper parametre mevcuttur. Farklı hiper parametrelerin olması model oluştururken ana mimariyi değiştirmeden araştırmacılara model üzerinde değişiklik yapma imkânı tanımaktadır. Hiper parametrelerin kapsamı oldukça geniştir. Basit bir model oluştururken dahi ağ katman sayısı, katmanlarda kullanılacak fonksiyon türü veya eğitilecek ağırlık sayısına kadar birçok hususa karar vermek gerekmektedir. Hiper parametreler ağ modelinin başarısı için kritik öneme sahiptir. Söz konusu parametrelerde yapılacak en ufak değişiklikler modelin başarısını doğrudan etkileyebilmektedir. Modelin başarısı için en uygun hiper parametreye karar vermek zordur. En iyi parametre değerleri modele bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden, ancak deneme yanılma yolu ile bulunabilmektedir. Bu kapsamda çalışmada en iyi sonuçların alınabilmesi için farklı hiper parametre bileşenleri ve bu bileşenlere ait farklı değerler test edilmiş ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak hangi hiper parametrelerin kullanılacağına karar verilmiştir.

D. HİPER PARAMETRELERİN SEÇİMİ

Derin öğrenme algoritmalarında kullanılan aktivasyon fonksiyonunun temel işlevi, ağırlık değerlerinin hesaplayarak ilgili nöronun aktif edilip edilmemesine karar vermektir. Aktivasyon fonksiyonu, üstlendiği rol gereği yapay sinir ağları tarafından doğrusal olmayan gerçek dünya problemlerinin

çözülebilmesini olanaklı hale getirmiştir. Bu kapsamda gizli katman ve çıktı katmanında yaygın olarak kullanılan farklı aktivasyon fonksiyonları test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Bölüm IV'te sunulmuştur.

Optimizasyon fonksiyonu, ağda yer alan ağırlık değerlerinin geri yayılım (back propagation) yöntemi ile güncellenmesi başta olmak üzere ağı eğitilmesinden, hata değerinin ortaya çıkarılmasına kadar birçok hususu kapsamaktadır. Ana işlevi hata değerinin en aza indirgenmesi olan optimizasyon fonksiyonunun seçimi kadar önemli bir diğer husus ise hata fonksiyonunun seçimidir. Lokal minimum içeren hata fonksiyonları seçilmesi durumunda optimizasyon fonksiyonunun yanılma ihtimali her zaman vardır. Günümüzde çalışmalarda yaygın olarak Ada Delta, OLSİ, ADAM, SGD veya AdaGrad gibi optimizasyon fonksiyonları kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında test edilen optimizasyon fonksiyonları ile bu testlerde elde edilen sonuçlar Bölüm IV'te sunulmuştur.

Loss fonksiyonu tahmin edilen sonuç ile elde edilen sonuç arasındaki farkı ortaya koyması nedeni ile modelin ne derece doğru çalıştığını gösteren fonksiyondur. Cost fonksiyonu olarak isimlendirilen bu fonksiyon, başlangıçta belirlenen ve müteakiben güncellenen ağırlık değerlerinin belirlenmesinde önemli role sahiptir. Özellikle geri yayılım tekniğinin doğru uygulanabilmesi için bu fonksiyonun doğru seçimi oldukça önemlidir. Derin öğrenme alanında çalışma yapan araştırmacıların yaygın kullandığı loss fonksiyonları Mean Squared Error, Cross Entropy veya Categorical Hinge olarak sıralanmaktadır. Bu kapsamda çalışmada test edilen loss fonksiyonları ve elde edilen sonuçlar Bölüm IV'te sunulmuştur.

Öğrenme hızı, geri yayılımı müteakip ağda bulunan ağırlıkların hangi oranda güncelleneceğini belirleyen hiper parametredir. Değerinin büyük olması modelin en iyi çözüm noktasından uzaklaşmasına sebebiyet verirken, düşük olması ise ağı eğitilme sürecinin uzamasına ve modelin uygulanabilirlikten uzaklaşmasına neden olabilmektedir. Çalışma kapsamında farklı öğrenme hızları test edilmiş ve en yüksek başarı oranı 0.00002 değeri ile elde edilmiştir.

Veri setinde yer alan bütün görüntülerin ağ modelinin tamamından bir defa geçmesi işlemi epoch sayısı ile ifade edilir. Ağ katmanlarının yeterli seviyede eğitilmesi ancak epoch sayısının artırılması ile mümkündür. Epoch sayısının gereğinden yüksek değere sahip olması aşırı beslenmeye (overfittig) neden olurken, düşük değerde olması ise ağı yetersiz eğitilmesine sebebiyet verebilmektedir. Bu kapsamda çalışmada farklı epoch değerleri test edilmiş ve en iyi sonuç 30 değeri ile elde edilmiştir.

Ağ katmanları eğilirken her defasında ağa gönderilen veri paket sayısı batch boyutu olarak adlandırılır. Batch boyutuda diğer hiper parametrelerde olduğu gibi ağı başarısını etkileyen önemli etkenlerdendir. Bu kapsamda çalışma boyunca birçok batch boyutu test edilmiş ve en iyi sonuçların 20 değeri ile elde edildiği tespit edilmiştir.

Derin öğrenme uygulamalarında ağ modelinin etkin olarak eğitilmesi için, veri setlerinde bulunan görüntülerin standart piksel çözünürlüğüne getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda farklı piksel çözünürlük değerleri test edilmiş en iyi sonucun 300*300 piksel çözünürlüğü ile elde edildiği gözlemlenmiştir.

IV. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışma boyunca en yüksek doğruluk değerine ulaşılabilmesi için aynı model üzerinde farklı hiper parametreler ve bu parametrelere ait farklı değerler kullanılmıştır. Model test edilirken her seferinde sadece bir parametre üzerinde değişiklikler yapılmış ve bu esnada diğer parametrelere ait en iyi değerler ise sabit tutulmuştur. Sonuçlarda doğruluk oranı (accuracy) olarak ifade edilen değer, doğru sınıflandırılan görüntülerin toplam görüntü sayısına oranıdır.

$$\text{Doğruluk Oranı} = \frac{(TP + TN)}{(TP + FP + FN + TN)} \quad (1)$$

Aktivasyon fonksiyonları kapsamında çıktı katmanında en iyi değerin alındığı Sigmoid fonksiyonu sabit tutularak gizli katmanda Linear, Tanjant, Softmax ve ReLu fonksiyonları test edilmiştir. Test edilen aktivasyon fonksiyonları içerisinde Softmax fonksiyonu ile en düşük başarı oranı elde edilirken ReLu fonksiyonu ile ise en yüksek başarı oranı elde edilmiştir. Optimizasyon fonksiyonları kapsamında AdaDelta, SGD, AdaGrad, Adam ve RMSProp fonksiyonları test edilmiştir. Test edilen fonksiyonlar içerisinde en düşük başarı oranı AdaDelta fonksiyonu ile elde edilirken en yüksek başarı oranı ise RMSProp ile elde edilmiştir. Loss fonksiyonları kapsamında Categorical Hinge, Mean Squared Error, Mean Squared Logarithmic Error, Mean Absolute Error, Sparse Categorical Crossentropy, Kullback Leibler Divergence ve Binary Crossentropy fonksiyonları test edilmiştir. Test edilen fonksiyonlar arasında en düşük başarı oranı Mean Absolute Error ile elde edilirken en yüksek başarı oranı ise Binary Crossentropy ile elde edilmiştir. Bunun yanında test edilen Sparse Categorical Crossentropy ve Kullback Leibler Divergence fonksiyonlarına ilişkin anlamlı sonuçlar elde edilememiştir.

Literatür kapsamında incelenen çalışmalarda, adli bilişim veri inceleme süreçlerinde doğruluk ve hız unsurlarının geliştirilmesi yolu ile süreçlerin otomasyonun sağlanması ve bu maksatla metin, log, video ve görüntü gibi farklı formatta bulunan verileri sınıflandırarak analizini yapacak farklı modellerin geliştirildiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda özellikle [13],[17],[19] ile ortaya konulan çalışmalarda adli bilişim süreçlerinde elde edilen görüntü verilerinin doğru sınıflandırılması ile veri inceleme süreçlerinde insan müdahalesinin en aza indirgenerek, inceleme süreçlerinin hızlandırılması ve böylece adli bilişim uzmanlarının iş yükünün azaltılması hedeflenmiştir. Bu noktadan hareketle söz konusu çalışmalarda elde edilen başarı oranı ile kullanılan hiper parametreler makalede ileri sürülen model ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4 ve Tablo 5’de sunulmuştur.

Tablo 4. Çalışmalara ait ana değişkenler

Ref.	Veri Seti	Görüntü Sayısı	Veri Çoğaltma	Platform	Kütüphane	Model	Transfer Öğrenimi
13	ImageNet	3000	N/A	Caffe	Keras Theano	VGG-16	Mevcut
17	ImageNet + Web	6660	Mevcut	Özel	TensorFlow Cuda	Faster RCNN	Mevcut
19	ImageNet	25000	Mevcut	Anaconda	Keras TensorFlow	Özel	Mevcut Değil
Önerilen Model	Kaggle +Web	3000	Mevcut	FloydHub	Keras TensorFlow	VGG-16	Mevcut

*: Bilinmiyor

Tablo 5. Çalışmalara ait hiper parametre ve başarı değerleri

Ref.	Hiper Parametreler						Doğruluk Oranı
	Epoch	Batch	Pik.Çöz.n.	Opt. Fonk.	Akt. Fonk.	Loss Fonk.	
13	N/A*	N/A*	1000*1000	SGD	ReLU	N/A*	%91,43
17	N/A*	N/A*	600*600	N/A	N/A	N/A*	%95,00
19	100	128	224*224	ADAM	Sigmoid	MAPE	%93,58
Önerilen Model	30	20	300*300	RMSprop	ReLU	Binary Cross Entropy	%97,80

*: Bilinmiyor

Ağ katmanlarında hiper parametrelerinin deneme yanılma yolu ile güncellendiği ve buna bağlı olarak başarı oranının da değiştiği, farklı parametreler ile yapılan denemeler neticesinde ortaya konulmuştur. Çalışma boyunca ağda yer alan katman ve değişken sayısı, katmanlarda kullanılan fonksiyon türleri, ağ eğitilirken tercih edilen epoch ve batch sayısı gibi hususlar üzerinde yapılan hassas değişikliklerin (fine tuning) modelin sınıflandırma performansına doğrudan etki ettiği görülmüştür. Bu kapsamda hiper parametreler üzerinde gerçekleştirilen güncellemeler neticesinde diğer çalışmalara oranla elde edilen başarı değerinin arttığı tablolar ile ortaya konulmuştur.

Dünyada ve ülkemizde bilişim çağının getirdiği teknolojik gelişmeler neticesinde mahkeme ve yargı süreçlerinde dijital delillerin önemi ve kullanım oranı artmıştır. Buna paralel olarak suçlara ilişkin elde edilen dijital veri miktarında da hiçbir dönemde olmadığı kadar artma söz konusudur. Dolayısı ile artan veri miktarı, veri analiz süreçlerinin etkinliğini olumsuz etkilemektedir. Söz konusu olumsuzluğun giderilmesi ve müteakiben yargılama süreçlerinin hızlandırılması ancak dijital verilerin hızlı ve doğru analizi ile mümkündür. Bu kapsamda makalede ileri sürülen derin öğrenme modelinin, veri inceleme süreçlerinin etkinliğinin artırılması, söz konusu süreçlerin kısa sürede ve yüksek doğruluk oranında tamamlanması ve bunun neticesinde mahkeme süreçlerinde yaşanan aksaklıkların ortadan kaldırılması adına önemli olduğu değerlendirilmektedir.

Makalede gerçekleştirilen çalışmanın kapsamı sadece görüntü verileri ile sınırlı tutulmuştur. Literatür taramasında da yer verildiği üzere farklı çalışmalarda derin öğrenme algoritmalarının farklı modeller oluşturmak koşulu ile görüntü verileri yanı sıra text, ses, video veya farklı format verilerde de adli bilişim uzmanlarına yardımcı bir eleman olarak kullanılabilmesi değerlendirilmektedir. Ayrıca, adli bilişim uzmanlarına yardımcı bir eleman olmasının yanı sıra ileride gerçekleştirilecek çalışmalarda veri inceleme süreçlerinin tam otomasyonunun sağlanması kapsamında da farklı derin öğrenme modellerinin oluşturularak kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.

V. SONUÇ

Bu makalede, adli bilişimde veri inceleme süreçlerinin hızlandırılması ve insan müdahalesini en aza indirerek adli incelemelerde doğruluğunun artırılması maksadı ile görüntü verilerinin yüksek doğruluk oranı ile sınıflandırılmasını sağlayan VGG16 tabanlı bir ağ modeli önerilmiştir. Model ile suça ilişkin olduğu değerlendirilen görüntü verileri, FloydHub geliştirme ortamında Keras ve TensorFlow derin öğrenme kütüphaneleri yardımı ile test edilmiştir. Elde edilen sonuç ve kullanılan hiper parametreler bu alanda gerçekleştirilen benzer çalışmalarla kıyaslanmış ve önerilen modelin diğer çalışmalara oranla ortalama %5 oranında performans artışı sağladığı görülmüştür. Önerilen modelin, veri inceleme süreçlerinde insan hatasının en aza indirilmesi ve veri analiz doğruluk oranlarının artırılması kapsamında adli bilişim uzmanları tarafından yardımcı bir yöntem olarak kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.

VII. KAYNAKLAR

[1] V. Ganesh, "Artificial intelligence applied to computer," *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, vol. 5, no. 5, pp. 21-29, 2017.

[2] R.M.A. Mohammad, M. Alqahtani, "A comparison of machine learning techniques for file system forensics analysis," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 46, pp. 53-61, 2019.

[3] W.D. Ferreira, C.B.R. Ferreira, G.C. Junior and F. Soares, "A review of digital image forensics," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 85, no. 106685, 2020.

[4] Y. Başar, "Siber suç soruşturmasında adli bilişim incelemeleri," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, 2015.

- [5] N. Kansagara and S. Singh, "Thematically clustering in digital forensics text string searching: A survey," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 8, no. 3, pp. 1128-1130, 2017.
- [6] Y. Korkmaz ve B. Aytuğ, "Adli bilişim açısından ses incelemeleri," *Science and Engineering Journal of Fırat University*, c. 30, s. 1, ss. 329-343, 2018.
- [7] A.L.S. Orozco, C.Q. Huaman, D.P. Alvarez and L.J.G Villalba, "A machine learning forensics technique to detect post-processing in digital videos," *Future Generation Computer Systems*, vol. 111, pp. 199–212, 2020.
- [8] D. Chaves, E. Fidalgo, E. Alegre, R.A. Rodriguez, F.J. Martino and G. Azzopardi, "Assessment and estimation of face detection performance based on deep learning for forensic applications," *Sensors*, vol. 20, no. 16, pp. 4491, 2019.
- [9] G. Sreenu and M.A.S. Durai, "Intelligent video surveillance: A review through deep learning techniques for crowd analysis," *J Big Data*, vol. 6, no. 48, 2019.
- [10] K. Fernandes, J.S. Cardoso and B.S. Astrup, "A deep learning approach for the forensic evaluation of sexual assault," *Pattern Analysis and Applications*, vol. 21, pp. 629–640, 2018.
- [11] J.Y. Sun, S.W. Kim, S.W. Lee and S.J. Ko, "A novel contrast enhancement forensics based on convolutional neural networks," *Signal Processing: Image Communication*, vol. 63, pp. 149–160, 2018.
- [12] M. Bedeli, Z. Geradts and E. Eijk, "Clothing identification via deep learning: Forensic applications," *Forensic Sciences Research*, vol. 3, no. 3, pp. 219–229, 2018.
- [13] R. Olmos, S. Tabik and F. Herrera, "Automatic handgun detection alarm in videos using deep learning," *Neurocomputing*, vol. 275, pp. 66–72, 2018.
- [14] A. Fydanaki and Z. Geradts, "Evaluating OpenFace: An open-source automatic facial comparison algorithm for forensics," *Forensic Sciences Research*, vol. 3, no. 3, pp. 202–209, 2018.
- [15] O. Mayer and M.C. Stamm, "Forensic similarity for digital images," *IEEE Transactions On Information Forensics And Security*, vol. 15, pp. 1331-1346, 2020.
- [16] P. Glomb, M. Romaszewski, M. Cholewa and K. Domino, "Application of hyperspectral imaging and machine learning methods for the detection of gunshot residue patterns," *Forensic Science International*, vol. 290, pp. 227–237, 2018.
- [17] M. Eriş, "Derin öğrenme yöntemleri kullanarak adli bilişim incelemelerinde delil çıkarımının gerçekleştirilmesi," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2018.
- [18] R. Thakur and R. Rohilla, "Recent advances in digital image manipulation detection techniques: A brief review," *Forensic Science International*, vol. 312, no. 110311, 2020.
- [19] S. Karakuş, "Derin öğrenme yöntemleri kullanarak dijital deliller üzerinde adli bilişim incelemesi," Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2018.
- [20] M. Babiker, E. Kararslan and Y. Hoşcan, "A hybrid feature-selection approach for finding the digital evidence of web application attacks," *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 27, pp. 4102 – 4117, 2019.


- [21] M.K.Raji, "Digital forensic tools & cloud-based machine learning for analyzing crime data," M.S. thesis, Department of Information Technology, Georgia Southern University, Georgia, USA, 2018.
- [22] P.H. Rughani, "Artificial intelligence based digital forensics framework," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 8, no. 8, pp. 10-14, 2017.
- [23] S. Costantini, G. Gasperis and R. Olivieri, "Digital forensics and investigations meet artificial intelligence," *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, vol. 86, pp. 193–229, 2019.
- [24] A. Pandey, S. Mujmer, P. Gyarsiya and S. Kanungo, "A study on digital forensics using various algorithms for malware detection," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 9, no. 3, pp. 85-89, 2018.
- [25] N.M. Karie, V.R. KEBande and H.S. Venter, "Diverging deep learning cognitive computing techniques into cyber forensics," *Forensic Science International: Synergy*, vol. 1, pp. 61-67, 2019.
- [26] S.Sasank. (2019, February 01). *Guns dataset* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/issaisasank/guns-object-detection>.
- [27] A.Kumar. (2020, February 02). *Guns detection dataset (2nd ver.)* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/atulyakumar98/gundetection>.
- [28] Y.Khatri. (2020, October 02). *Guns dataset (1th ver.)* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/khatriyash/csgo-guns-dataset>.
- [29] S.Shekhar. (2020, March 02). *Knife dataset (1th ver.)* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/shank885/knife-dataset>.
- [30] V.Singh. (2018, October 08). *Knife detection (1th ver.)* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/vijaysingh888/knife-detection>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Nevşehir İli Hava Kalitesinin Markov Zinciri ile Tahmini

 Emine BAŞTÜRK^{a,*},  Alper ALVER^a

^a Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Aksaray Üniversitesi, 68100, Aksaray, Türkiye.

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: eminebasturk@hotmail.com.tr

DOI: 10.29130/dubited.885779

ÖZ

Bu makalede Nevşehir İlinde $\mu\text{g m}^{-3}$ seviyesinde bulunan PM_{10} , SO_2 , CO , NO_2 ve O_3 gibi temel hava kirletici parametreleri 01.08.2019-19.11.2020 tarihleri arasında izlenilmiş ve bu parametrelere bağlı olarak Hava Kalite İndeksi (HKİ) değerleri hesaplanmıştır. Nevşehir İli HKİ değerleri iyi ve hassas dereceler arasında değişkenlik göstermektedir. HKİ izleme verileri kullanılarak Küçük Ölçekli ve Ayrık Zamanlı Markov Zinciri Modelleri eğitilmiş ve 20.11.2020-20.12.2020 tarihlerini kapsayan yeni verilerle doğrulamaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada Nevşehir İli HKİ değerleri, Küçük Ölçekli ve Ayrık Zamanlı Markov zincir modelleri ile sırasıyla 0,887 ve 0,982 oranında başarıyla tahmin edilmiştir. Nevşehir İli hava kalitesine bağlı olarak daha az değişken duruma sahip olan Ayrık-Zamanlı Markov Zinciri Modeli hem eğitimde hem de kontrolünde kullanılan HKİ verilerini tahmin etmede daha başarılı bulunmuştur. Sonuç olarak Markov Zinciri modellerinin farklı hava koşullarını tahmin etmede başarılı bir yöntem olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, Hava kalite indeksi, Markov zinciri, Model, Nevşehir, Tahmin.

Prediction of Nevşehir Province Air Quality with Markov Chain

ABSTRACT

In this article, basic air pollutant parameters such as PM_{10} , SO_2 , CO , NO_2 , and O_3 at $\mu\text{g m}^{-3}$ level in Nevşehir Province were monitored between 01.08.2019-19.11.2020 and Air Quality Index (AQI) values were calculated depending on these parameters. Nevşehir Province AQI values vary between good and sensitive degrees. While monitoring data were used in the training of the models, the data calculated between 20.11.2020-20.12.2020 and not used in the training of the models were also used in the checking. In this study, Nevşehir Province AQI values were successfully predicted using small-scale and discrete-time Markov Chain Models at 0.887 and 0.982, respectively. The discrete-time Markov Chain Model, which has less variable status depending on the air quality of Nevşehir Province, has been found to be more successful in predicting the AQI data used both in training and checking. As a result, it has been revealed that Markov Chain models can be used as a successful method to predict different weather conditions.

Keywords: Air pollution, Air quality index, Markov Chain, Model, Nevşehir, Forecast.

I. GİRİŞ

Su, toprak ve hava hayatın temel taşlarıdır. Genel olarak, hızlı kentleşme ve sanayileşme nedeniyle hava kalitesi dünya çapında kötüleşmektedir [1]. Kentsel alanlarda hızla artan nüfusun iskan, tüketim, sağlık ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan eylemler, modern şehirlerde hava kirliliği oluşturan birçok soruna yol açmıştır [2]. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ 2006) tarafından yürütülen detaylı bir araştırma da dünya nüfusunun yaklaşık %90'ının sürekli olarak hava kirliliği ile temas halinde olduğunu ve bunun da yılda iki milyonu aşan erken ölümlerle sonuçlandığını ortaya çıkarılmıştır [3]. Bu nedenle, hava kirliliği sorunu halk sağlığını tehdit eden önemli bir sorun haline gelmiştir [4, 5].

Halk sağlığı ile ilgili kaygılar nedeniyle, birçok ülke yalnızca hava kirleticilerinin emisyon seviyelerini azaltmak için düzenlemeler ve stratejiler uygulanmakla kalmaz, aynı zamanda hava kalitesini ölçmek için hava kalitesi izleme ağları kurmaktadır [6]. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte izlenen veriler, kentsel hava kalitesine ilişkin farkındalığı artırmak için sürekli paylaşılmaktadır. Öte yandan izleme verileri, bir kontrol politikası veya stratejisinin etkinliğini değerlendirmek ve hava kalitesini tahmin etmek için sağlam bir temel olarak kabul edilir [7]. Günümüzde birçok araştırmacı, hava kalitesi verilerini ve belirli bir zaman dilimindeki hava kirleticilerinin dinamik özelliklerini belirlemek için zaman serisi analizi ve sinir ağları gibi çeşitli istatistiksel yaklaşımlar kullanmaktadır [8-10]. Hem eğilim hem de mevsimsellik, uzun vadeli verilerin zaman serileri tekniği ile analiz edilmesiyle elde edilebilir, ancak kısa vadeli veriler oldukça stokastik görünmektedir. Bu nedenle, kısa vadeli tahminlerde zaman serisi modellerinin kullanılması gerçekleştirilen tahminlerde genellikle durağanlık ve sapmalar gibi istenmeyen etkiler oluşturmaktadır. Ayrıca, stokastik özellikler araştırmaların güvenilirliğini ve geçerliliğinin sorgulanmasına sebep olmakta [11] ve aynı zamanda temel amaç olan hava kalitesi tahminlerinin tutarlı ve incelenebilir olmasını engellemektedir [7]. Aslında toplum, belirli bir kirleticinin doğru bir şekilde tahmin edilmesinden daha çok, hava kirliliği olayının meydana gelme olasılığı hakkında endişe duymaktadır [12].

Gerçek dünyadaki sorunları çözmek için iyi bilinen birçok tahmin yöntemi vardır; otoregresiv averaj modeli, mevsimsel otoregresif model, yapay sinir ağları ve empirik hibrit vb. Her tahmin modelinin gerçek ve karmaşık olan problemleri çözmek için diğerlerine nazaran farklı avantajları vardır. Problemin oluşmasına sebep olan etkenlerin karşılıklı ilişkilerini belirlemek için Markov zinciri modeli geliştirilen önemli araçlardan biridir [13]. Markov zinciri, stokastik sürecin özel bir durumudur [14]. Son zamanlarda, sistemin gözlem durumlarından geçiş matrisini tahmin etmek için kullanılmıştır [15]. Markov zincir modelinin geliştirilmesindeki ana bileşenler durum geçiş matrisi ve olasılıktır; her ikisi de dinamik değişimin tüm temel parametrelerini özetlemektedir. Model, maksimum olasılık yöntemine ve doğrusal programlama denkleminde dayanmaktadır. Literatürde HKİ'yi tahmin etmek için kullanılan Markov zinciri çalışmaları yeterli seviyede değildir. Hava kirliliği ile ilgili tahminlerde bulunabilecek birkaç çalışma bulunmaktadır [16-18]. Diğer tahmin yöntemlerinin aksine, önerilen Markov zinciri yönteminin hesaplanması kolaydır ve dinamik değişim mekanizmaları hakkında derinlemesine bilgi gerektirmez. Dolayısıyla, verilerden anlam çıkarmak nispeten kolaydır. Hava kirliliği ve iklim değişikliği, canlı sağlığını, tarımsal ürünleri, orman ve ekosistem türlerini etkileyen önemli konulardan biridir ve devam eden bir sorundur. Hava kalitesi tahmini, hava kirliliğinin planlanmasında ve kontrolünde hayati bir rol oynamaktadır. Yapılan tahminler, bireylerin sağlıksız hava kirliliğine maruz kalmadan önce ihtiyati tedbirler almalarına olanak tanıyan hava kalitesi bilgilerini halka sağlamaktadır. Yukarıda bahsedilen Markov zincir modeline ek olarak, hava kalitesi ile ilgili olarak aynı yöntemi kullanan birkaç çalışma vardır. Suhaimi, vd. [19] Markov zinciri Monte Carlo kullanarak hava kalitesi veri setlerindeki eksik verileri ele almıştır. Ayrıca, bir Markov zinciri yöntemi de astım hastası olan yaşlı insanlar için hava kirliliğinin ciddi etkilerini ölçmek için kullanılmıştır [20]. Hava izleme istasyonlarının kümelenmesi [21], ortamdaki nitrojen dioksit seviyelerinin tahmin edilmesi [22] ve iç mekan havasındaki kirletici konsantrasyonunun modellenmesi [23] gibi çeşitli problemlerde de başarıyla uygulanmıştır.

Bu çalışmada, kısa ve uzun vadeli hava kalite indeksini tahmin etmek ve belirli bir alandaki başlıca hava kirleticileri belirlemek için bir yöntem önermeyi amaçlamaktadır. Nevşehir İli hava kalitesinin

durumunu tanımlamak için küçük ölçekli ve ayrı zamanlı Markov zincirlerinden türetilen olasılık yaklaşımı kavramı kullanılmıştır. PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ ve O₃ içeren temel hava kirleticilerinin derişimleri Ulusal HKİ standardı açısından gözetilerek hava kalitesinin temiz ve kirli olma durumu için modellerde kullanılmak üzere farklı senaryolar oluşturulmuştur. Öncelikle oluşturulan senaryoların 01.08.2019-19.11.2020 tarihleri arasında gerçekleşme durumları belirlenerek modeller eğitilmiş ve sonrasında, 01.08.2019-20.12.2020 tarihleri arasında hangi senaryoların oluşacağı tahmin edilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. İSTASYON ve VERİ SETİ

Bu çalışma, HKİ tahminleri 01.08.2019 ve 19.11.2020 tarihleri arasında Nevşehir ili merkez konumunda CSB-GIA THM istasyonundan alınan verilerle gerçekleştirilmiştir. Örneklerin ele alındığı enlem ve boylam koordinatları 34,7014 ve 38,6232'dir. Model eğitiminin tarih aralığı 01.08.2019-19.11.2020 ve modelin doğrulanma tarih aralığı 01.08.2019-20.12.2020'dir. Toplam veri sayısı eğitim için 477, doğrulama için ise 507'dir. HKİ, belirli bir alandaki hava kalitesinin durumunun göstergesidir. PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ ve O₃ parametrelerinin ortalama hava kirletici konsantrasyonlarına göre hesaplanmaktadır. HKİ'ye göre hava kirliliği 6 kategoride incelenmiştir. Bu kategoriler Tablo 1'de gösterilmiştir.

B. HAVA KALİTE İNDEKSİ

Gelişmiş teknolojik cihazlar hava kalitesini izlemek için kullanılmakta ve bu verileri halka duyurmak için periyodik raporlar yayınlanmaktadır. Genel olarak, ham veriler veya zaman serisi grafikleri ve istatistiksel analizler, anlaşılabilir bilgileri halka etkili olarak aktaramamaktadır [24]. Bu nedenle, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı, ücretsiz olarak tüm hükümetler tarafından kullanılmak üzere 1976'da Kirletici Standart İndeksinin yerine Hava Kalitesi İndeksini uygulamaya koymuştur. HKİ, günlük hava kalitesi ve ilgili sağlık etkileri hakkında halka bilgi aktarmaktadır. HKİ, beş alt indeksi kapsayan maksimum alt indeks yaklaşımına dayanmaktadır: PM₁₀, SO₂, CO, NO₂, ve O₃ [4]. Hava kalite indeksi hesabı Denklem (1 ve (2'de gösterilmiştir.

$$HKİ_i = \frac{HKİ_y - HKİ_d}{C_y - C_d} (C_i - C_d) + HKİ_d \quad (1)$$

$$HKİ = \text{maks}(HKİ_1, HKİ_2, \dots, HKİ_n) \quad (2)$$

HKİ_i kirleticinin alt indeksidir, C_i i kirleticisinin ortalama derişimidir, C_d i kirleticisinin düşük kontrol limit derişimidir, C_y ise i kirleticisinin üst kontrol limit derişimidir, HKİ_y and HKİ_d ise C_d ve C_y derişim değerlerindeki hava kalite indeks değerleridir. Hava kalite indeks değeri 50'ye eşit ve/veya düşük olduğunda, hava kalitesinin iyi olduğunu ve kirletici derişiminin düşük olduğunu gösterir. Hava kalite indeksi 50'den büyükse kirletici maksimum hava kalite indeksine sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Ulusal HKİ standardı ve temel hava kirletici parametrelerinin konsantrasyonu

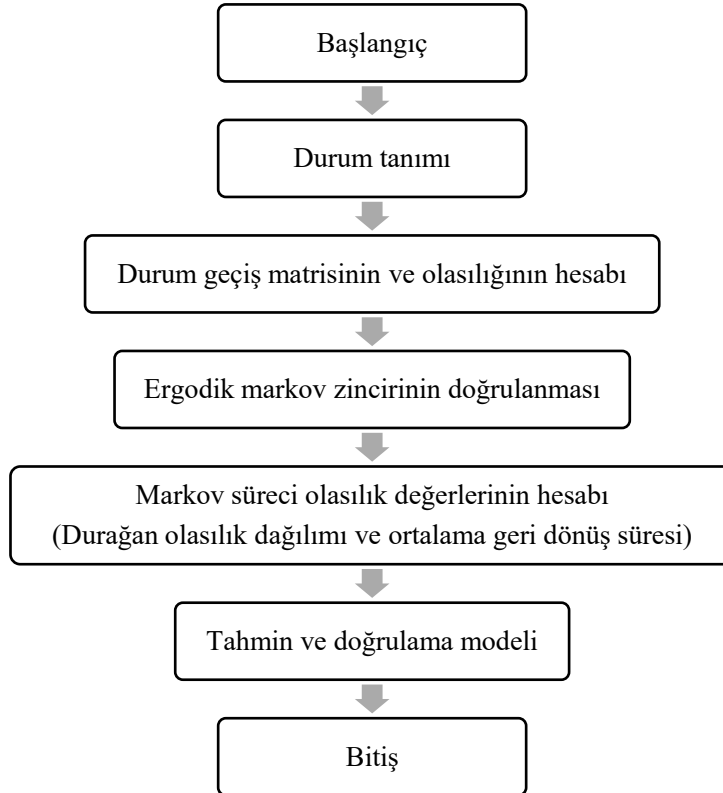
Küçük Ölçekli Markov Zinciri Modeli		Ayrık-zamanlı Markov Zinciri Modeli		HKİ Limiti	PM ₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	SO ₂ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	CO ($\mu\text{g m}^{-3}$)	NO ₂ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	O ₃ ($\mu\text{g m}^{-3}$)
İndeks Tanımı	İndeks Değeri	İndeks Tanımı	İndeks Değeri						
İyi	1	Temiz	0	0-50	0-50	0-100	0-5500	0-100	0-120
Orta	2	Kirli	1	51-100	51-100	101-250	5501-10000	101-200	121-160
Hassas	3	Kirli	1	101-150	101-260	251-500	10001-16000	201-500	161-180
Sağlıksız	4	Kirli	1	151-200	261-400	501-850	16001-24000	501-1000	181-240
Kötü	5	Kirli	1	201-300	401-520	851-1100	24001-32000	1001-2000	241-700
Tehlikeli	6	Kirli	1	>301	>521	>1101	>32001	>2001	>701

C. MARKOV ZİNCİR ANALİZİ

Bu çalışmada uzun ve kısa süreli hava tahminlerinin gerçekleştirilebilmesi için Markov zincir analizi kullanılmıştır. Önerilen yöntem, istatistiksel bağımlılığın en basit yolunu tanıtan stokastik bir süreçtir. Ek olarak, bu sürecin gelecekteki davranışı geçmiş davranışla ilgili değildir. Bu, n zamanından önceki geçmişine bakılmaksızın, başka bir j durumuna geçiş yapma olasılığının sadece i durumuna bağlı olduğunu gösterir. Bu durumda sadece kısa bir süre için mi yoksa uzun bir süre için mi olduğunun önemli olmadığına dikkat edilmelidir.

C. 1. Küçük Ölçekli Markov Zinciri Modeli

Küçük ölçekli Markov zinciri yönteminin yapısı Şekil 1'de görselleştirilmiştir.



Şekil 1. Küçük Ölçekli Markov Zinciri modelinin yapısı

Hava kalitesinin tahmin edilmesi için önerilen Markov zinciri yönteminin algoritmaları aşağıda gösterildiği gibi beş adımdan oluşmaktadır.

C.1.1. Markov Zincir İşlemi İçin Durumu Tanımlama

Bu adımda, modelin geliştirilmesinde kullanılan verilere dayanarak Markov zinciri süreci için durumlar veya eşikler belirlenir.

C.1.2. Durum Geçiş Matrisi N'yi Ve Durum Geçiş Olasılığı P'yi Oluşturma

Markov zinciri tarafından tanımlanan durum geçiş matrisi N, bir durumdan diğerine geçişi veya atlama sıklığını gösterir (Denklem 3).

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & n_{1j} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ n_{i1} & \cdot & \cdot & \cdot & n_{ij} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada; n_{ij} , j durumundan i durumuna geçiş sayısıdır. P, Markov zincir modelinin her durumu için tüm geçiş olasılıklarını tanımlayan bir geçiş matrisi veya stokastik matrisidir ve Denklem (4 ve 5'deki gibi gösterilir.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \cdot & \cdot & \cdot & p_{1j} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{i1} & \cdot & \cdot & \cdot & p_{ij} \end{bmatrix}, i, j \in I \quad (4)$$

$$P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} = P_{ij} \quad (5)$$

P terimi, tek adımlı olasılık içindir. t zamanından bağımsız geçiş olasılıkları için homojen veya durağan Markov zincirini gösterir.

$$P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} = P\{X_1 = j | X_0 = i\} = p_{ij} \quad (6)$$

Denklem (6'daki P matrisi, negatif olmayan öğelerin satır toplamı birliğini göstermektedir.

$$0 \leq p_{ij} \leq 1 \text{ ve } \sum_{j=1}^t p_{ij} = 1, \sqrt{i} \in I \quad (7)$$

Olasılık, k adımlarında i durumundan j durumuna k adımlı geçiş olasılığıdır. Geçiş matrisi P, Denklem (8 ve 9'daki özelliklere sahiptir.

$$p_{ij}(k) = P\{X_{n+k} = j | X_n = i\}, \sqrt{k} > 0, n \geq 0, i, j \in I \quad (8)$$

$$P(n) = p^{n-1} \times P = P^n \quad (9)$$

C.1.3. Ergodik Markov Zincirinin Doğrulanması

P'nin durumunu sınıflandırarak bu zincirde sınırlayıcı dağılımın varlığını belirlemek için ergodik bir Markov zincirinin onayı yapılmalıdır. Üç bölüme ayrılmaktadır; indirgenemez Markov zinciri, periyodik Markov zinciri ve tekrarlayan ve geçici durumlar [25, 26].

İndirgenemez Markov Zinciri

$n > 0$ olduğunda, $p_{ij}(n) = 0$ ise, i durumuna j durumundan erişilebilir. Her iki durum da erişilebilir ve iletişim olarak söylenebilir, $i \leftrightarrow j$. İletişim ilişkisinin özellikleri [27]:

- Bütün i değerleri 0'dan büyük ve eşit olduğunda, i durumu j ile bağlantılıdır.
- i durumu j ile bağlantılıysa, j durumu da i ile bağlantılıdır.
- i durumu j ile bağlantılıysa j de k ile bağlantılıysa, i de k ile bağlantılıdır.

İki durum aynı sınıfta iletişim kurduğunda, Markov zinciri sadece bir sınıf varsa indirgenemez olarak değerlendirilebilir.

Periyodik Markov Zinciri

n değeri d ye bölünmüyorsa ve d en büyük tam sayı ise $p_{ii}^{(n)}=0$ eşitse, i durumu periyottur. Her durumda periyodu olan böyle durumlarda markov zinciri periyodiktir.

Tekrarlayan ve Geçici Durumlar

Markov zincirinde, herhangi bir i durumu için f_i , i durumunda başlayan bir olasılık olabilir ve süreç i durumunda tekrar eder. $f_i=1$ ise i durumu tekrarlı ve $f_i<1$ ise i durumu geçici sayılabilir [18]. Sonlu bir Markov zinciri için, durum i Denklem (10'da gösterilmiştir.

$$\sum_{n=1}^{\infty} P_{ij}^{(n)} = \infty \quad (10)$$

i durumu tekrarlıysa durumun tekrar i 'ye dönmesine kadar geçen süre kısıtlıdır. Tüm tekrarlayan durumların pozitif tekrarlayan olduğunu göstermektedir. Pozitif tekrarlayan ve periyodik durumlar, ergodik olarak değerlendirilebilir [25].

C.1.4. Markov süreci olasılık değerleri

Bu adımda Markov proses olasılık değerleri için durağan olasılık dağılımı ve ortalama geri dönüş süresi elde edilebilir. Durağan olasılık dağılımı, zincirin uzun bir süre için yeterli olduğu ve başlangıç koşullarından bağımsız olan kararlı durum olasılıklarıyla uzun vadeli tahminlerde hava kirliliğinin davranışını tanımlayacaktır. Ergodik bir Markov zinciri için dağılım sınırlayıcıdır ve Denklem (11'de gösterilmiştir.

$$\Pi_j = \lim_{n \rightarrow \infty} P(X_n = j | X_0 = i) \quad (11)$$

Bu nedenle, j işlemi durumunda bulma olasılığı, işlemdeki uzun bir süre için başlangıç durumuna bakılmaksızın yapılır [25]. j durumunun gerçekleşme olasılığı yüksek ise Π_j değeri yüksek olacaktır [26]. Uzun vadeli davranış tahmini, bilgi eksikliği ve birikmiş hatalar gibi çeşitli problemler var ise dezavantaja sahiptir. Ayrıca, m_{ij} parametresinin, belirli durumların kendisine geri dönmesi için ortalama geri dönüş süresinin hesaplanması gerekir (Denklem (12).

$$m_{ij} = \frac{1}{\Pi_j} \quad (12)$$

C.1.5. Tahmin Ve Model Doğrulama

Tahmin değeri, ilk olasılık ve durum geçiş olasılığından Denklem 13'e göre hesaplanır.

$$P(S_j) = \sum_{i=1}^n P(S_i)P_{ij} \quad (13)$$

$P(S_i)$, başlangıç olasılığını, P_{ij} ise durum geçiş olasılığını ifade etmektedir.

C. 2. Ayırık Zamanlı Markov Zinciri Modeli

Zamandan bağımsız bir stokastik süreç olan Markov zinciri [28], kategorik verileri analiz etmek için birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [11] Markov zincirleri, çevresel izleme verilerinin gerçek davranışını analiz etmek, rüzgar gücü dağılımını tahmin etmek [29], çevresel izleme verilerinin zaman serisi verilerini tahmin etmek [30], hava kirleticilerinin konsantrasyonunu tahmin etmek [31] ve hava kirliliği kontrol politikalarını değerlendirmek [32] için kapsamlı bir şekilde uygulanmıştır.

Bir Markov zinciri tahmini, bir değişkenin belirli bir periyodunun gelecekteki durumu hakkında sonuç çıkarmak için başlangıç durum olasılık vektörüne ve geçiş olasılığı matrisine dayanır [11]. Buna ilaveten Markov zinciri süreci, yalnızca mevcut duruma bağlı olarak ve geçmiş durumlarla ilgisiz olarak gelecekteki duruma geçişin koşullu olasılığını da dikkate alır [33]. Markov zincir dizisi verilerini, S_1, S_2, \dots, S_m ile temsil edilen çok sayıda farklı duruma dönüştürür. Durum geçişi yalnızca t_1, t_2, \dots, t_m zamanlarında gerçekleşir. Markov zincirinin S_i durumuna k adım geçişleri aracılığıyla S_j durumuna geçiş olasılığı p_{ij} ile Denklem(14'deki gibi ifade edilir:

$$p_{ij} = \frac{m_{ij}}{M_i} \quad (14)$$

M_i , S_i durumunun toplam sayısıdır, m_{ij} ise S_i durumunun k adımlı S_j durumuna geçiş süreleridir ve m 'de durum sayısıdır. Bu nedenle, tek adımlı durum geçiş olasılığı matrisi Denklem (15'teki gibidir:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdot & \cdot & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \cdot & \cdot & p_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdot & \cdot & p_{mm} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Markov zinciri süreci, durum ve geçiş matrisi ile başlar. $t = 0$ anındaki başlangıç hareketi verildiğinde, durum geçiş olasılık matrisi $\Pi^0 \in S'$ dir. k sayıdaki gelişimden sonra, gelecekteki Π^k durumunun durum geçiş olasılığı, geçiş matrisi P ve Denklem (16)-(18 arasında verilen adımlar kullanılarak hesaplanabilir:

$$\Pi^1 = \Pi^0 \times P \quad (16)$$

$$\Pi^2 = \Pi^1 \times P = \Pi^0 \times P^2 \quad (17)$$

$$\Pi^k = \Pi^0 \times P^k \quad (18)$$

Denklem (18'de belirtilen formül, durum geçiş olasılık matrisini hesaplamak için kullanılmaktadır [34]. Güvenilir bir geçiş olasılığı matrisi oluşturulduktan sonra maksimum alt indekse bağlı olarak HKİ

kolayca tahmin edilebilmektedir. Hava kalitesi indeksini tahmin etmek için ayrık-zamanlı Markov zinciri modelinin uygulanmasında Denklem (19) kullanılmaktadır.

$$\overline{HKİ} = \sum_{j=1}^n \Pi_j \times maks. [HKİ_{PM_{10}}, HKİ_{SO_2}, HKİ_{CO}, HKİ_{NO_2}, HKİ_{O_3}] \quad (19)$$

Denklem (19)'da, Π_j her bir durumun sabit durum olasılığıdır, bu da sistemin bu durumda olma olasılığı anlamına gelmektedir; $maks. [HKİ_i]$, beş temel hava kirleticisi arasındaki maksimum HKİ değerini temsil eder.

D. MARKOV ZİNCİRİ MODELLERİNİN UYGULANMASI

Nevşehir İli hava kalitesi indeksini tahmin etmek için kullandığımız Markov zinciri modellerinin uygulanması aşağıdaki 6 adımda detaylı olarak anlatılmıştır.

D. 1. Veri Setinin Hazırlanması

Geçerli bir tahmin modeli oluşturmak için uygun bir veri seti gereklidir. Bu yüzden en ayrıntılı adımlardan biridir. Çalışma veri setini iki kategoriye ayrılmıştır. 1) Modellerin eğitimi için 01.08.2019-19.11.2020 tarih aralığındaki Nevşehir İli HKİ değerleri kullanılmıştır; 2) Modellerin performansını doğrulamak için 20.11.2020-20.12.2020 tarihleri arasında kalan Nevşehir İli HKİ değerleri kullanılmıştır.

D. 2. Hava Kalitesi Durumunun Ve Değişkenlerinin Tanımlanması

Bu adımın amacı, hava kalitesi izleme verilerinin stokastik davranışına bağlı olarak bir sistemin durumunu karakterize etmektir. Küçük ölçekli Markov zinciri modelinin tasarımında HKİ değerine bağlı olarak Tablo 1'de gösterilen 6 adet indeks tanımı ve değerleri kullanılmıştır. Ayrık zamanlı markov zinciri modelinin tasarımında ise 2 adet kategori oluşturulmuştur; hava kalitesi iyi durumdaysa değeri 0, kötü durumda ise 1 alınmıştır. Ayrıca bu değerlere bağlı 5 birincil kirletici için toplam 2^5 (32) adet senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryolara ait görsel Şekil 1'de verilmiştir.

D. 3. Hava Kirleticilerinin Konsantrasyon Eşiğinin Belirlenmesi

Hava kirleticilerinin konsantrasyon eşikleri, HKİ değerinin tahmin edilmesinde hangi hava kirleticilerinin ana katkı maddesi olarak kabul edileceğini belirleyen kriterdir. Tablo 1'de verilen eşik değerleri ve buna bağlı olarak kategori isimleri Ulusal Hava Kalitesi İndeksi Eşik Değerleri'ne göre belirlenmiştir [35].

D. 4. Durum Geçiş Matrisinin Oluşturulması

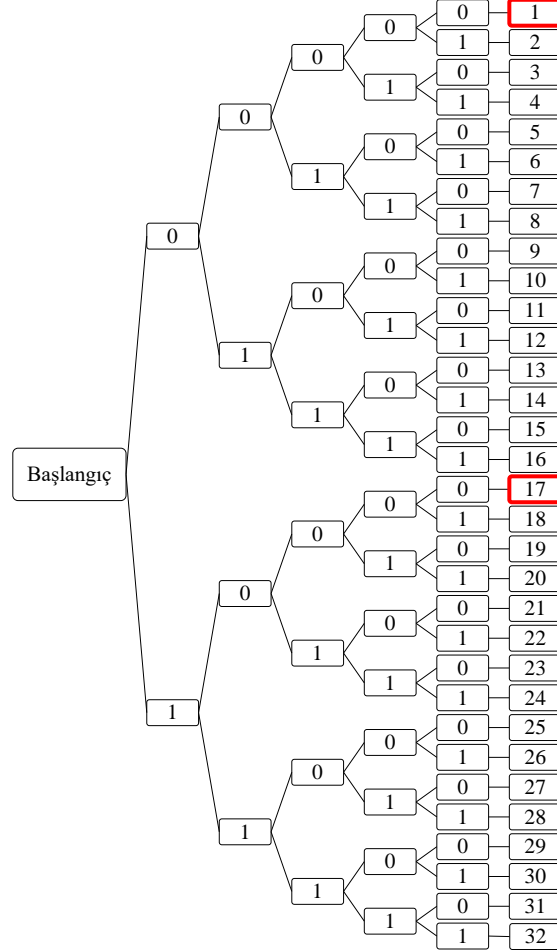
Hava kalitesi durumları ve konsantrasyon eşikleri tanımlandıktan sonra, hava kalitesi durumlarının geçiş olasılıklarını temsil eden geçiş matrisini oluşturmak için Markov zinciri modelleri uygulanmıştır. Geçiş olasılıkları, belirli sayıda geçiş içerdiğinde daha kararlı hale gelmektedir.

D. 5. Markov Zinciri Modellerinin Geliştirilmesi

Hem küçük ölçekli hem de ayrık-zamanlı Markov zinciri modelleri 01.08.2019-19.11.2020 tarihleri arasında Nevşehir İli HKİ değerleri baz alınarak geliştirilmiştir.

D. 6. Markov Zinciri Modellerinin Doğrulanması

Modeller geliştirildikten sonra HKİ tahmin modellerinin performansını kontrol etmek için 20.11.2020-20.12.2020 tarihleri arasında sahada ölçülen HKİ değerleri ile modellerin tahminleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, stokastik karakteristiğe dayalı olarak model doğrulama için haftalık ve aylık düzeyde izlenen HKİ verileri referans alınmıştır ve performans değerlendirmesi için t-testi yapılmıştır.



Şekil 2. Ayrık-zamanlı Markov zinciri model tasarımında kullanılan senaryolar

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

A. NEVŞEHİR İLİ HAVA KALİTESİ DURUMU

Hava kalitesi de hava durumu gibi gün içerisinde çok değişkenlik gösterebilir. Resmi kurumlar, mevcut hava kalitesi hakkında farkındalığını artırma ve kontrol politika/stratejilerinin etkinliğini değerlendirme amacıyla sürekli olarak temel hava kirlenici parametrelerini izleyerek veri toplarlar [36]. Bazı hava kirlenicileri ölüm ve hastalık oranlarındaki artışlarla ilişkilendirilebilir. Başlıca hava kirlenicileri partikül madde (PM₁₀), sülfür dioksit (SO₂), karbon monoksit (CO), nitrojen oksitler (NO_x) ve yer seviyesindeki ozon (O₃)'dur [37]. Nevşehir İli'nde izlenen hava kalite parametrelerine dair istatistiksel bilgiler Tablo 2'de sunulmuştur.

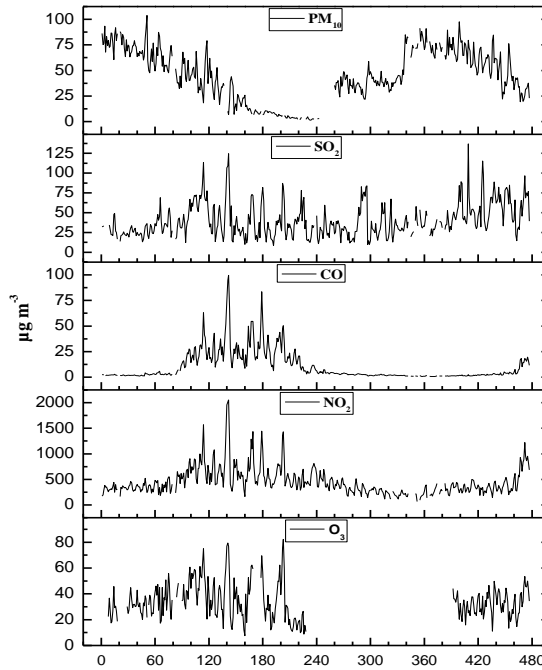
Tablo 2. Nevşehir İli hava kirleticilerinin istatistiksel değerleri

	PM ₁₀ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	SO ₂ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	CO ($\mu\text{g m}^{-3}$)	NO ₂ ($\mu\text{g m}^{-3}$)	O ₃ ($\mu\text{g m}^{-3}$)
Veri Sayısı	455	460	456	282	433
En küçük	8,440	0,660	65,890	7,670	1,250
Ortalama	40,008	10,167	450,708	34,330	45,177
En büyük	136,790	99,670	2053,25	82,310	103,760
Standart Sapma	21,113	14,329	269,761	13,950	25,321

PM₁₀, atmosferde asılı duran inorganik ve organik maddelerin sıvı ve katı partiküllerinin karmaşık bir karışımını içerir. PM'in genel kimyasal içeriği organik ve elementel karbondan, nitrat, sülfat gibi inorganik türlerden, poliaromatik hidrokarbonlar gibi organik türlerden, toprak elementlerinden ve metallere oluşmaktadır. Buna ilaveten biyolojik türlerin de katkısı vardır. Atmosferik partikül madde çok çeşitli kaynaklardan yayılır [38]. Nevşehir İlinde PM₁₀'nun, toprak ve cadde tozu, biyolojik parçacıklar, volkanik emisyonlar ve orman yangınları gibi doğal kaynaklardan ve araç emisyonları, fosil yakıtların yakılması, inşaat ve endüstriyel faaliyetler, katı atık yakma ve biyokütle yakma gibi antropojenik kaynaklardan atmosfere salındığı düşünülmektedir [38].

Nevşehir İlinde kükürt dioksit (SO₂), doğal (örn., toprak oksidasyonu ve hidrojen sülfür oksidasyonu) ve antropojenik faaliyetler (örn., metal eritme, biyokütle yanması ve fosil yakıtın yakılması) sonucu oluştuğu ve atmosfere yayıldığı düşünülmektedir [39]. Gözle görülür bir hava kirletici olan atmosferik SO₂, aerosol damlacıkları tarafından emildiğinde asit yağmurlarını oluşturabilir [4]. Ayrıca SO₂, canlıların kardiyovasküler sistemine zarar verebilen bir solunum sistemi tahriş edicidir.

Motorlu araçlar, kentsel alanlarda NO_x ve CO'nun başlıca emisyon kaynaklarıdır. Atmosferdeki CO, 1 aydan fazla sürede yarılanmaktadır ve yüksek konsantrasyonda bulunabilmektedir. Bu nedenle CO, yerel hava kalitesini yorumlamak için çok önemli bir hava kirliliği parametresidir [40]. DSÖ, asit yağmurunun ve O₃ oluşumunun birincil öncüsü olan NO_x'i hava kirliliğinin belirlenmesinde de izlenmesi gereken önemli bir parametre olarak görmektedir. Meteorolojik koşullar hem CO hem de NO_x konsantrasyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Nevşehir İli hava kalitesinin belirlenmesi için takip edilen parametrelerin HKİ₁ değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



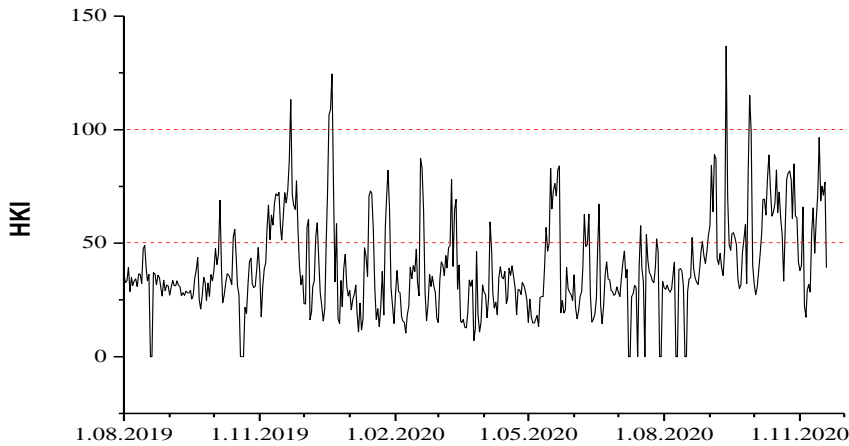
Şekil 3. Nevşehir İli hava kirletici konsantrasyonlarının günlük değişimi

Şekil 3'te görüldüğü üzere, yaz aylarında HKİ₁ sıralaması $PM_{10} > O_3 > NO_2 > SO_2 \approx CO$ iken, kış aylarında $PM_{10} > NO_2 \approx SO_2 > O_3 > CO$ olarak yapılabilmektedir. Tüm mevsimlerde HKİ üzerine en etkin parametre PM_{10} 'dur. Bunun temel sebebi Nevşehir İlinde mevsime bağlı olmaksızın sürekli olarak trafik, inşaat ve endüstriyel faaliyetler gibi PM_{10} kaynaklarının bulunması ve bu kaynaklardan atmosfere salınım olmasıdır. Yaz aylarında, yüksek zemin sıcaklığı CO difüzyonunu ve NO_x 'i O_3 'e dönüştüren fotokimyasal reaksiyonu kolaylaştırdığından dolayı O_3 konsantrasyonları artmıştır. Ayrıca, kış aylarında zemin sıcaklığının azalması nedeniyle nitrojen dioksit (NO₂) mevsimsel dağılımına uyan CO dağılımı bozulmuştur.

Başlıca HKİ₁ olan PM_{10} 'un ana bileşenleri arasında nitratlar, sülfatlar, sodyum klorür, amonyak, mineral tozu, siyah karbon ve su sayılabilir. Çapı 10 µm veya daha az olan ince partiküller akciğerlere ulaşır derinlerine yerleşebilir. Bu nedenle PM_{10} 'un insan sağlığına en zararlı etkiye sahip parametre olduğu kabul edilmektedir. Dünya üzerinde yaklaşık üç milyon ölümün ve 85 milyon engelli kalmanın sebebi partikül maddelerden kaynaklanan hava kirliliği olduğu düşünülmektedir [41].

İkincil kirlenici olan O_3 , güneş ışığının yardımıyla uçucu organik bileşikler ve NO_x gibi öncüler tarafından oluşturulur. Yeryüzü seviyesindeki O_3 sadece insan sağlığı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olmakla kalmaz aynı zamanda tarım arazilerine ve ekosistemlere de zarar verir. Literatürdeki çalışmalarda, yer seviyesine yakın bölgedeki O_3 konsantrasyonunun çeşitli solunum problemleri ve akciğer hastalıkları ile pozitif ilişkili olduğunu ve O_3 konsantrasyonundaki her 10 µg m⁻³ artışın kalp hastalığına bağlı günlük ölüm oranında %0,3-0,4 artışa yol açabildiği tespit edilmiştir [42]. Diğer birincil kirlenicilerden farklı olarak, O_3 doğrusal olmayan kimyasal reaksiyonla üretilir ve konsantrasyonlar periyodiklik olmaksızın dalgalanır.

Hava kalitesini izlemek için artık gelişmiş teknolojik cihazlar kullanılıyor ve bu verileri halka duyurmak için periyodik raporlar yayımlanıyor. Genel olarak, ham veriler, zaman serisi grafikleri ve istatistiksel analizler yerine daha kolay anlaşılabilir olan HKİ verileri tercih ediliyor. Bu çalışmada beş temel hava kirlenicinin konsantrasyonuna bağlı olarak Denklem (2)'ye göre hesaplanan Nevşehir İli Hava Kalitesi İndeksi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Nevşehir İli HKİ değerlerinin günlük değişimi

Şekil 4'e göre, kimi zaman yaz aylarında kimi zaman da kış aylarında HKİ düşmüştür. HKİ değeri ortalama olarak 39,57 olmakla birlikte hava kalitesinin genelde iyi olduğu söylenebilmektedir.

B. MARKOV ZİNCİR ANALİZİ İLE HAVA KALİTESİ TAHMİNİ

B. 1. Küçük Ölçekli Markov Zinciri Modeli İle HKİ Tahmini

Tablo 3'te zaman serileri için her bir HKİ durumunun frekanslarını listelenmiştir. En yüksek frekans hava kalitesinin iyi olduğu seviyede iken, hava kalitesinin sağlıklı olduğu duruma dair Nevşehir'de bir yıldan fazla bir süredir veri bulunmamaktadır.

Tablo 3. Küçük Ölçekli Markov Zinciri Modeli senaryolarına göre günlük HKİ değişim sıklığı

Mevcut Durum	Gelecekteki Durum					
	İyi (1)	Orta (2)	Hassas (3)	Sağlıksız (4)	Kötü (5)	Tehlikeli (6)
İyi (1)	328	31	1	0	0	0
Orta (2)	32	75	3	0	0	0
Hassas (3)	0	4	2	0	0	0
Sağlıksız (4)	0	0	0	0	0	0
Kötü (5)	0	0	0	0	0	0
Tehlikeli (6)	0	0	0	0	0	0

Çalışma döneminde HKİ'ye ilişkin gözlemler, 3 farklı geçiş durumu içerdiğini göstermektedir. Geçiş olasılığı, gelecekteki durum olasılığının ortaya çıkması ve sonrasında karar verme süreci hakkında fikir vermektedir. 477 günlük HKİ, iyi bir durum için sıklığın 360 gün, orta ve hassas durum için ise 110 gün ve 6 gün olduğunu göstermektedir. Denklem (5) kullanılarak hesaplanabilen HKİ'nin geçiş olasılığı, hava kalitesinin bir durumdan başka bir duruma geçişine ilişkin bilgiler sağlamak ve Denklem (20)'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$P_{HKİ} = \begin{bmatrix} 0,9111 & 0,0861 & 0,0028 \\ 0,2909 & 0,6818 & 0,0273 \\ 0,0000 & 0,6667 & 0,3333 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Örneğin, hava durumu iyi iken tekrar iyi olma ihtimali 328/360 (0,9111)'dir. Başlık C. 1.'de bahsedilen 2.adıma dayalı olarak elde edilen bulgular, geliştirilen küçük ölçekli Markov zincir modelinin indirgenemez, periyodik olmayan ve tekrarlayan olduğunu göstermektedir. Böylece modelin ergodik bir Markov zinciri modeli olduğunu teyit edilmiştir. Uzun dönem hava kalitesi tahmini için durumların olasılığı, durağan olasılık dağılım değeri olarak isimlendirilmiştir. 3 farklı durum için Denklem (11) kullanılarak gelecekteki HKİ'nin kararlı durum olasılığı türetilmiştir.

$$\pi_j = [0,7563 \quad 0,2311 \quad 0,0126] \quad (21)$$

π_j iyi denge durumunun 0,7563, orta derecenin 0.2311 ve hassasın 0.0126 olduğunu belirtir. Sağlıksız durumun olmaması ve hassas durumdaki en düşük orana bağlı olarak gelecekte sis oluşma riski düşüktür. Ortalama geri döngü süresi bir durumun ortalama ne kadar süre aynı durumda kaldığını göstermektedir ve Denklem (12)'ye göre hesaplanmıştır. Denklem (22)'deki matriste gösterildiği gibi her HKİ durumu için ortalama geri döngü süresini belirlemek için sabit olasılık dağılımı kullanılmıştır.

$$m_j = [1,3222 \quad 4,3271 \quad 79,3651] \quad (22)$$

Sonuçlar, iyi duruma olan ortalama geri döngü süresinin 1,3222 gün, orta dereceli duruma geri döngü süresinin 4,3271 gün ve hassas dereceli duruma geri döngü süresinin ortalama 79 gün olduğunu göstermektedir. Gelecek günün HKİ olasılığı, başlangıç durum vektörü ile durum geçiş olasılığının çarpılmasıyla elde edilir. 477 günün sonunda sonundaki başlangıç durum vektörü iyi durumdur, bu nedenle (1.0000, 0.0000, 0.0000) olarak alınmıştır ve Denklem (23)'de hesap gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \eta_{(20.11.2020)} &= \eta_{(19.11.2020)} \times P_{HKI} \\ \eta_{(20.11.2020)} &= [1,0000 \quad 0,0000 \quad 0,0000] \\ \begin{bmatrix} 0,9111 & 0,0861 & 0,0028 \\ 0,2909 & 0,6818 & 0,0273 \\ 0,0000 & 0,6667 & 0,3333 \end{bmatrix} &= [0,9111 \quad 0,0861 \quad 0,0028] \end{aligned} \quad (23)$$

Küçük ölçekli markov zinciri modeli ile 478. günün hava kalitesinin 0,9111 olasılıkla iyi dereceli, 0,0861 olasılıkla orta dereceli ve 0,0028 olasılıkla hassas dereceli olacağı tahmin edilmiştir.

B. 2. Ayrık Zamanlı Markov Zinciri Modeli İle HKİ Tahmini

Her kirlenici ve durum geçiş matrisinin bir önceki günde tahmin edilen HKİ değeri kullanılarak bir sonraki gündeki HKİ hesaplanabilmektedir. Denklem (24)-(27)'de sunulan veriler ayrık zamanlı markov zinciri modelinin 478. günün HKİ tahminini göstermek için kullanılmıştır. 477. Günün hava kalitesi, tüm hava kirlenicilerinin Tablo 1'e göre iyi durumda bulunduğu zaman yani Durum-Temiz'e göre iyi olarak sınıflandırılmıştır.

$$P_{HKI} = \begin{bmatrix} 0,9111 & 0,0889 \\ 0,2759 & 0,7241 \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\pi_j = [0,7563 \quad 0,2437] \quad (25)$$

$$m_j = [1,3222 \quad 4,1034] \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \overline{HKI}_{20.11.2020} &= 0,7563 \times \text{maks.} [29,710 \quad 5,132 \quad 4,174 \quad 17,335 \quad 19,063] \quad 0,2437 \\ &\quad \times \text{maks.} [(0,948 \times 67,513 \\ &\quad + 0,052 \times 117,547) \quad 5,132 \quad 4,174 \quad 17,335 \quad 19,063] = 39,5533 \end{aligned} \quad (27)$$

Denklem (27)'de, ilk satırdaki maksimum HKİ_i değeri, Durum-Temiz oluştuğunda HKİ değerini temsil eder (yani, temiz hava durumundaki tüm kirleniciler). İkinci satırda, parantez içerisindeki rakamlar, kirli hava olduğunda HKİ_i'yi temsil eder. Beklenen HKİ değeri, her bir hava kirlenicisinin konsantrasyon eşliğini belirlemek için Tablo 4'de gösterildiği gibi hesaplandı ve Şekil 2 ve Tablo 5, hava kalitesini Durum-Temiz olarak tanımlamak için kullanıldı.

Tablo 4. Ayrık Zamanlı Markov Zinciri Modeli senaryolarına göre Nevşehir İli hava kirliliği parametrelerinin istatistikleri

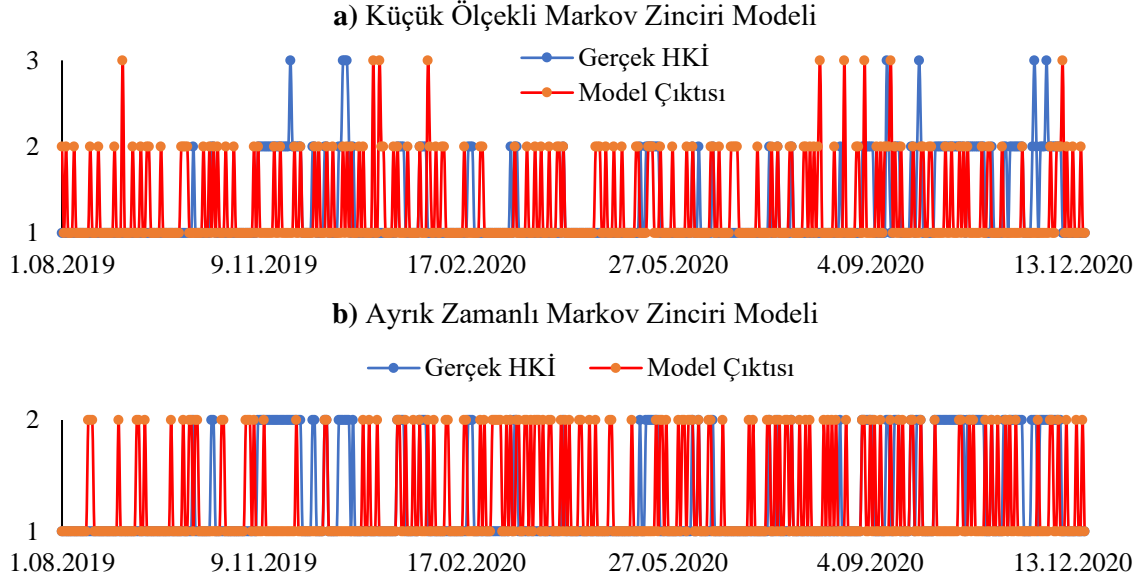
Kirlenici Kategori	PM ₁₀		SO ₂	CO	NO ₂	O ₃
	Temiz	Kirli	Temiz	Temiz	Temiz	Temiz
HKİ Kat.	0	3	0	0	0	0
En küçük	8,440	106,6	0,333	0,611	3,873	0,527
Ortalama	29,71	117,6	5,132	4,174	17,34	19,06
En büyük	50,79	136,8	50,33	19,04	41,56	43,73
Kat. Veri	339	6	460	456	282	433
Veri, %	1,000	0,052	1,000	1,000	1,000	1,000

Tablo 5. Ayrık Zamanlı Markov Zinciri Modeli senaryolarına göre günlük HKİ değişim sıklığı

Mevcut Durum	Gelecekteki Durum	
	Temiz (00000)	Kirli (10000)
Temiz (00000)	328	32
Kirli (00010)	32	84

C. MODELLERİN DOĞRULANMASI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Nevşehir İli hava istasyonundan alınan 477 günlük hava kalitesi parametrelerini içeren veri seti ile eğitilen düşük ölçekli ve ayrık zamanlı Markov zinciri modellerinin doğrulama çalışması eğitim verileri haricinde 30 günlük hava kalite indeksi veri seti de eklenerek gerçekleştirilmiştir. Toplamda 507 veri içeren doğrulama çalışmasında elde edilen bulgular Şekil 5 ve Tablo 6’da sunulmuştur.



Şekil 5. Ayrık Zamanlı (a) ve Küçük Ölçekli (b) Markov Zinciri Modellerinin kıyaslanması

Şekil 5.a’da görüldüğü gibi küçük ölçekli Markov zinciri modeli Tablo 1’de gösterilen 6 durumdan yalnızca ilk 3 durumu (iyi, orta ve hassas) içermekte iken ayrık-zamanlı Markov zinciri modeli ise Şekil 2’de gösterilen 32 senaryodan yalnızca Senaryo 1 ve Senaryo 17 olmak üzere toplam 2 adet durumu (temiz [00000], kirliliği [10000]) içermektedir. Bu çalışmada daha az değişken duruma sahip olan ayrık-zamanlı Markov zinciri modeli hem eğitiminde hem de doğrulanmasında kullanılan HKİ verilerini tahmin etmede daha başarılı bulunmuştur. Başarım göstergeleri Tablo 6’da sunulan model çıktıları ile gerçek HKİ verileri arasındaki durumların gerçekleşme sıklığı kıyaslamasından yani korelasyon katsayılarından da açıkça görülmektedir.

Tablo 6. Ayrık Zamanlı ve Küçük Ölçekli Markov Zinciri Modellerinin kıyaslanması

Durum	Frekans			Frekans		
	Gerçek	Küçük ölçekli Markov Zinciri	R ²	Gerçek	Ayrık Zamanlı Markov Zinciri	R ²
1	0,756	0,744	0,983	0,756	0,750	0,991
2	0,231	0,239	0,968	0,244	0,250	0,973
3	0,013	0,018	0,710	-	-	-

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, 01.08.2019-19.11.2020 tarihleri arasında Nevşehir İli hava istasyonundan PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ ve O₃ gibi temel hava kirletici parametreleri verileri alınarak günlük HKİ değerleri hesaplanmıştır. 15 aylık veriye göre Nevşehir İli hava kalitesi iyi ve hassas HKİ derecelerinde değişkenlik göstermektedir. Daha sonra Nevşehir İli günlük HKİ değerlerinin tahmin edilmesi için

küçük ölçekli ve ayrık zamanlı Markov Zinciri Modelleri geliştirilip kıyaslanmıştır. Küçük ölçekli Markov Zinciri Modeli, HKİ kategorileri kadar yani 6 adet durum içermesine rağmen Nevşehir İlinde sadece 3 durum gözlemlenmiştir. Ayrıca, Ayrık Zamanlı Markov Zinciri Modeli de toplam 32 adet durum değişkenine sahip olmasına rağmen bunlardan sadece 2'si Nevşehir İlinde gerçekleşmiştir. Ayrık zamanlı Markov Zinciri Modelinin Nevşehir İlindeki hava kalitesine bağlı olarak küçük ölçekli Markov Zinciri Modeline nazaran daha az durum değişkeni içermesinden dolayı 01.08.2019-20.12.2020 tarihleri arasındaki HKİ değerlerini tahmin etmede daha başarılı olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, Markov Zinciri modelleri ile hava kalitesi tahmini yapılmasının mümkün olduğu da kanıtlanmıştır.

TEŞEKKÜR: Yapılan bu çalışmada yazımında manen destek veren değerli iş arkadaşlarımıza ve hocalarımıza teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] L. Yang, M. Li, W. Li, Y. Jiang, and Z. Qiang, "Bench-and pilot-scale studies on the removal of pesticides from water by VUV/UV process," *Chemical Engineering Journal*, vol. 342, pp. 155-162, 2018.
- [2] Y. J. Wu and J.-C. Chen, "A structured method for smart city project selection," *International Journal of Information Management*, pp. 101981, 2019.
- [3] World Health Organization, "WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment, Geneva, Switzerland, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, 2006.
- [4] Y.-Y. Lee, Y.-K. Hsieh, G.-P. Chang-Chien, and W. Wang, "Characterization of the air quality index in southwestern Taiwan," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 19, no. 4, pp. 749-785, 2019.
- [5] K. N. Andersen, J. A. Nielsen, and S. Kim, "Use, cost, and digital divide in online public health care: lessons from Denmark," *Transforming Government: People, Process and Policy*, pp. 197-211, 2019.
- [6] J. P. S Sidhu, W. Ahmed, W. Gernjak, R. Aryal, D. McCarthy, A. Palmer, P. Kolotelo, and S. Toze, "Sewage pollution in urban stormwater runoff as evident from the widespread presence of multiple microbial and chemical source tracking markers," *Science of the Total Environment*, vol. 463, pp. 488-496, 2013.
- [7] U.S. Environmental Protection Agency, "A guide to air quality and your health," New York, USA, EPA-456/F-14-002, 2009.
- [8] C. Zhu, R. Fan, J. Sun, M. Luo, and Y. Zhang, "Exploring the fluctuant transmission characteristics of Air Quality Index based on time series network model," *Ecological Indicators*, vol. 108, pp. 105681, 2020.
- [9] X. Yang, Z. Zhang, Z. Zhang, L. Sun, C. Xu, and L. Yu, "A long-term prediction model of Beijing haze episodes using time series analysis," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, 2016.
- [10] P. Hajek and V. Olej, "Predicting common air quality index-the case of czech microregions," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 15, no. 2, pp. 544-555, 2015.
- [11] Y. Qi and S. Ishak, "A Hidden Markov Model for short term prediction of traffic conditions on freeways," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 43, pp. 95-111, 2014.

- [12] J. R. Crusoe and K. Ahlin, "Users' activities for using open goandrnment data—a process framework," *Transforming Goandrnment: People, Process and Policy*, pp. 213-236, 2019.
- [13] S. Elgharbi, M. Esghir, O. Ibrihich, A. Abarda, S. El Hajji, and S. Elbernoussi, "Grey-Markov Model for the prediction of the electricity production and consumption," in *International Conference on Big Data and Networks Technologies*, Leuven, Belgium: Springer, 2019, pp. 206-219.
- [14] R. P. Sen, "Markov versus non-markov processes," in *Operations Research: Applications And Algorithms*, Eastern Economy Ed., New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2012, vol. 3.
- [15] C. Chatfield, "Statistical inference regarding Markov chain models," *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, vol. 22, no. 1, pp. 7-20, 1973.
- [16] K. Y. Chan and L. Jian, "Identification of significant factors for air pollution leandls using a neural network based knowledge discoandry system," *Neurocomputing*, vol. 99, pp. 564-569, 2013.
- [17] N. Güler and Ö. G. İşçi, "The regional prediction model of PM₁₀ concentrations for Turkey," *Atmospheric Research*, vol. 180, pp. 64-77, 2016.
- [18] B. T. Ong, K. Sugiura, and K. Zettsu, "Dynamically pre-trained deep recurrent neural networks using environmental monitoring data for predicting PM 2.5," *Neural Computing and Applications*, vol. 27, no. 6, pp. 1553-1566, 2016.
- [19] N. Suhaimi, N. A. Ghazali, M. Y. Nasir, M. I. Z. Mokhtar, and N. A. Ramli, "Markov Chain Monte Carlo method for handling missing data in air quality datasets," *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, vol. 21, no. 3, pp. 552-559, 2017.
- [20] L. Luo, F. Zhang, W. Zhang, L. Sun, C. Li, D. Huang, and B. Wang, "Markov chain-based acute effect estimation of air pollution on elder asthma hospitalization," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 2017, 2017.
- [21] Á. Gómez-Losada, "Clustering air monitoring stations according to background and ambient pollution using hidden Markov models and multidimensional scaling," *Data Science*, pp. 123-132, 2017.
- [22] A. Nebenzal and B. Fishbain, "Long-term forecasting of nitrogen dioxide ambient leandls in metropolitan areas using the discrete-time Markov model," *Environmental Modelling & Software*, vol. 107, pp. 175-185, 2018.
- [23] M. Nicas, "Markov modeling of contaminant concentrations in indoor air," *AIHAJ-American Industrial Hygiene Association*, vol. 61, no. 4, pp. 484-491, 2000.
- [24] A. Plaia and M. Ruggieri, "Air quality indices: a review," *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 10, no. 2, pp. 165-179, 2011.
- [25] M. H. Chi, "The long-run behavior of Markov chains," *Linear Algebra And Its Applications*, no. 244, pp. 111-121, 1996.
- [26] C. M. Grinstead and J. L. Snell, *Grinstead and Snell's Introduction to Probability: The CHANCE Project*, USA: American Mathematical Society, 2006.
- [27] H. J. Fernando, M. C. Mammarella, G. Grandoni, P. Fedele, R. Di Marco, R. Dimitrova, and P. Hyde, "Forecasting PM₁₀ in metropolitan areas: Efficacy of neural networks," *Environmental Pollution*, vol. 163, pp. 62-67, 2012.
- [28] S. M. Ross, *Introduction To Probability Models*, 11th ed., USA: Elsevier Academic Press, 2014.

- [29] N. J. Vickers, "Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?," *Current Biology*, vol. 27, no. 14, pp. R713-R715, 2017.
- [30] A. D. Sahin and Z. Sen, "First-order Markov chain approach to wind speed modelling," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 89, no. 3-4, pp. 263-269, 2001.
- [31] E. R. Rodrigues, M. H. Tarumoto, and G. Tzintzun, "Application of a non-homogeneous Markov chain with seasonal transition probabilities to ozone data," *Journal of Applied Statistics*, vol. 46, no. 3, pp. 395-415, 2019.
- [32] L. Hoyos, P. Lara, E. Ortiz, R. L. Bracho, and J. González, "Evaluation of air pollution control policies in Mexico City using finite Markov chain observation model," *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*, vol. 16, no. 2, pp. 255-266, 2009.
- [33] S. A. Kalogirou, "Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 5, no. 4, pp. 373-401, 2001.
- [34] R. Liu and Y. Ge, "Smart home system design based on Internet of Things," in *12th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE)*, 2017, pp. 444-448.
- [35] T. C. Çevre and Şehircilik Bakanlığı. (2021, 23 Nisan). *Hava kalitesi izleme sistemi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://sim.csb.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20%C4%B0ZLEME%20S%C4%B0STEM%C4%B0>
- [36] Ü. A. Şahin *vd.*, "Temporal variations of atmospheric black carbon and its relation to other pollutants and meteorological factors at an urban traffic site in Istanbul," *Atmospheric Pollution Research*, vol. 11, no. 7, pp. 1051-1062, 2020.
- [37] M. Krzyzanowski and A. Cohen, "Update of WHO air quality guidelines," *Air Quality, Atmosphere & Health*, vol. 1, no. 1, pp. 7-13, 2008.
- [38] A. Dolar ve H. T. K. Saraç, "Türkiye'nin doğu illerindeki hava kalitesinin PM₁₀ yönüyle incelenmesi," *Iğdır Üniandrsitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 5, no. 4, ss. 25-32, 2015.
- [39] W. Wang, K. Cui, R. Zhao, L.-T. Hsieh, and W.-J. Lee, "Characterization of the air quality index for Wuhu and Bengbu cities, China," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 18, no. 5, pp. 1198-1220, 2018.
- [40] J.-C. Chen and Y. J. Wu, "Discrete-time Markov chain for prediction of air quality index," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1-10, 2020.
- [41] World Health Organization, *Air Quality Guidelines: Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, And Sulfur Dioxide*, Copenhagen, Denmark: World Health Organization Regional Office for Europe, 2006.
- [42] I. Suryati, H. Khair, and D. Gusrianti, "Analysis of air quality index distribution of PM₁₀ and O₃ concentrations in ambient air of Medan City, Indonesia," *Journal of Physical Science*, vol. 29, pp. 37-48, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bir Tasarım Ögesi Olarak Gün Işığı: Jean Nouvel

 Zeynep BAHAR^a,  Şengül YALÇINKAYA^{b,*}

^aİç Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

^bİç Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sengulyalcinkaya@ktu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.894120

ÖZ

Doğal ışık geçmişten günümüze kadar birçok mimar tarafından bir tasarım olgusu olarak ele alınarak tasarımlarında farklı ve özgün olarak kullanılmıştır. Günümüzde de gelişen teknoloji ve malzemelerle beraber ortaya konulan sistem ve uygulamalar doğal ışığın tasarım ögesi olarak kullanılmasına alternatif yollar sunmaktadır. Yakın dönemde tasarımlarında kullandığı sistem ve strüktürlerle ünlü mimar Jean Nouvel, gün ışığını etkin kullanımına özgün örnekler vermiştir. Yapıların mekânlarda oluşturduğu etki ve tasarım anlayışında doğal ışığın yeri; mekâna alınış ve kullanım biçimi yönüyle önemli veri kaynağı olacağı düşünüldüğünden, Jean Nouvel'in tasarımları çalışmada konu edinilmiştir. Tasarımcının; tasarım ögesi olarak doğal ışık üzerine genel eğilimlerinin izlenebileceği bir diyagram oluşturulmuştur. Bunun için Jean Nouvel'in, gün ışığını etkin kullandığı yapıları analiz edilmiştir. Sonuç olarak mekânda kullanılan doğal ışık mekâna karakteristik bir özellik katarak; mekânda ışık gölge oyunları ile hareketlilik, yüzeylerde desen oluşumu gibi unsurlar, mekânları anlamlandırıp yapı ile bütünleşmesine yardımcı olmaktadır. Işık sayesinde mekânlarda oluşan bu hareketlilik ve deneyimsel kurgular, kullanıcıların yapıyı ışık ile ilişkilendirmesini sağlamaktadır. Aynı şekilde ışığın yer değiştirici rolü ile mekâna sunduğu bu çeşitlilikler, onu mekânın yapı taşı haline getirmiştir

Anahtar Kelimeler: Gün ışığı, İç mekân tasarımı, Doğal ışık, Tasarım, Jean Nouvel.

Daylight as a Design Element: Jean Nouvel

ABSTRACT

Many architects have treated natural light as a design element and used it differently and uniquely throughout history. Advances in technology and materials have led to the emergence of new systems and applications, providing us with alternative ways to use natural light as a design element. Jean Nouvel, an architect who is famous for the systems and structures he used in his recent designs, has provided original examples of his effective use of daylight. This paper focused on Jean Nouvel's designs because they are an important source of data in terms of the effect of an architectural structure on spaces, the significance of natural light in design, and the way light is let in and used there. The study included a diagram keeping track of the general trends of how Jean Nouvel used natural light as a design element. For this, the study addressed his buildings where he uses daylight effectively. With such elements as dynamic play of light/shadow and patterns on surfaces, the natural light gives a sense of character and meaning to space and helps it integrate with the building. The dynamism and experiential fictions evoked by natural light allow users to associate the building with light. In the same way, the transposing role of light and the diversity it brings to spaces make it one of their building blocks.

Keywords: Daylight, Interior Design, Natural Light, Design, Jean Nouvel

I. GİRİŞ

Antik çağlardan itibaren insanlar ışığı, yaşama mekânlarına alarak görsel konforlarını tamamlamak amacıyla kullanmışlardır. İnsan ve barınma ihtiyacı olduğu sürece doğal ışık da, mekânlarda var olmuştur. Mimarlıkla birlikte ışık mekânlarda, o günün anlayış ve teknolojileri ile birlikte kullanılmaya çalışılmıştır. Doğal ışığı mekânlarda etkin kullanan mimarlar; eserlerindeki ışık kullanımlarını kendi tasarım anlayışlarıyla örtüştürerek aktarmışlardır. Doğal ışığın işlevsel yönünün yanı sıra anlamsal ve psikolojik bir boyutu da vardır. Mimari mekân ışığı alırken, birçok yapının strüktürel kurgusu da ışığın üstlendiği anlamsal role uygun bir şekilde biçimlenmektedir [1]. Doğal ışığın; günümüz modern mimarlığındaki kullanımı daha çok görsel konfor karşılama ihtiyacına cevap verecek şekilde olabilmektedir. Fakat bulunduğumuz teknoloji çağının mimari alanda sunduğu birçok malzeme, sistem ve teknolojiler mekânlara doğal ışığın alınabilmesini kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda küreselleşme ve yapılaşmanın arttığı günümüzde, yapıların daha ekolojik ve sürdürülebilir ilkelerine dayalı tasarlanması öncelik haline gelmeye başlamıştır. Bu bağlamda bakıldığında yapıların sürdürülebilir olması için kullanılacak basit ve etkili yöntemlerden birinin; doğal ışık kullanımı olduğu düşünülebilir. İç mekân tasarımlarına doğal ışığın dâhil edilmesinin, yapıların enerji kazanımını artırmaya da katkı sağlamaktadır. Gün ışığı bir tasarım ögesi olarak düşünüldüğünde; ışığın, iç mekânda kullanım yeri, kullanım biçimi, tasarım anlayışında yeri, mekânda yaratılan etki, kullanılan sistem türü, mekânı oluşturan sınırlayıcı elemanların şekli, istenilen anlamsal etki vb. unsurlarla birlikte düşünülmelidir. Tüm bu bağlamlarda doğal ışığın mimari mekânda tasarım ögesi olarak kullanımı, mekânda farklı anlamların ve özgül sonuçların ortaya çıkmasını sağlamaktadır.

Doğal ışığın mekânlarda kullanımı üzerine yapılan çalışmalara bakıldığında; ışığın anlamsal, psikolojik, davranışsal ve algısal etkilerini [1-2-3-4-5-6], mimarlar tarafından doğal ışığın kullanımını [1-7-8-9] ve sürdürülebilirlik üzerinden gün ışığı sistemlerini [10-11-12-13] inceleyen çalışmaların olduğu görülmüştür. Günümüz mimarlarından Jean Nouvel yapılarını doğal ışık yönüyle ele alan herhangi bir çalışmaya rastlanmamış, sadece yapılarındaki malzeme kullanımının [14] ele alındığı çalışma bulunmaktadır.

Çalışmada Jean Nouvel'in tasarım ögesi olarak doğal ışık üzerine genel eğilimlerin izlenebileceği bir diyagram oluşturulmak amaçlanmıştır. Çalışmanın doğal ışığın geçmişten günümüze kullanımı, kullanım şekli, düşünsel yapısı, güncel uygulama ve sistemleriyle ilgili elde edilen verileri, sonraki tasarımlar için kaynak oluşturabileceği gibi aynı zamanda, iç mekân tasarımında doğal ışığın daha etkin kullanılmasına, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından da katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

A. TASARIMDA DOĞAL IŞIK KULLANIMI

Işık, mekânlara kimlik kazandıran renk, doku, malzeme öğelerinin hem görünür olmalarında hem de mekânların estetik gücünü artırmasında rol oynamaktadır. Kişinin mekânı algılanmasında psikolojik ruh hali ve hareketleri ışık sayesinde çeşitlenebilmekte ve mekânın genel hatlarını algılatıp, mekândan hissedilmesi istenen anlamsal etkiyi etkin ve anlamlı hale getirmektedir [8]. Görme bir mekânın algılanması ve kavranmasındaki en önemli etkenlerden birisidir. Bunu sağlamanın temel koşulu ise doğal ışıktır. Kahn doğal ışığın söz konusu önemini şu şekilde belirtmiştir: “Bir mekân doğal ışığa sahip olmadıkça gerçekten mekân değildir.” [13]¹. Altan (1983) ise ışık – mekân hakkında: “Mekânlar ışık marifetiyle değiştirilebilir, hatta yaratılabilirler veya uzaklaştırılabilirler, objeler öne çıkarabilirler, dokular değiştirilebilir, mekâna yeni bir hava, yeni bir anlam verilebilir.” [15]. Rasmussen (1994) ise ışığın zamana bağlı hareketiyle oluşan dinamiği ele alarak ışığın mekânda kontrol edilemez olduğunu söylemiştir. Bunların dışında ışık, mekâna alınış yönü-biçimi ve yapının formu ile de yakından

¹J. Lobell, *Between Silence and Light, Spirit in the Architecture of Louis I Kahn*, Boston, USA: Shambhala Publications, 1979. Aktaran: P. Demirel Etlı, “Sürdürülebilir mimarlık kapsamında mimarlık ofislerinde ışığın tasarımdaki rolü ve önemi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2013.

ilişkilidir. Çünkü bir yapının tepe açıklığının boyutu değiştirildiğinde veya cephesinin herhangi bir yerinde başka açıklıklar açıldığında mekânın tüm denge ve uyumu bozulmaktadır [16]. Doğal ışığın tasarımı ve mekânın deneyimlenmesi yönünden kullanımı, ışığı mekâna alma biçiminin yanı sıra yapının cephe strüktür tasarımının da doğrudan etkisi olmaktadır. Doğal ışık; mimari mekân içindeki sınırlayıcılar olan yüzey ve zeminlerin sahip olduğu biçim, renk ve malzeme türünden yansımaları sonucu iç mekânda bir alan oluştururken bu alanın oluşmasına imkân veren temel unsur bina değil, binanın sahip olduğu strüktürel yapısıdır [17].

Doğal ışığın mekân kullanımındaki etkileri fizyolojik – psikolojik veya işlevsel – anlamsal olarak ikiye ayrılmaktadır. İşlevsel olarak doğal ışık, mekânın kullanıcıları için görsel açıdan konforda olması, mekânda yapılan eylemin verimliliğini artırması, kullanıcıların fiziksel ve psikolojik gereksinmelerinin yerine getirilmesini sağlamalıdır [9]. Tasarımda mekâna alınacak doğal ışığın miktarının bağlı olduğu birçok fiziksel değişken bulunmaktadır. Doğal aydınlatma tasarım sürecindeki temel fiziksel değişkenler yapının konumu, yönlendiği ile cephelerde açılan açıklıklar, bu açıklıkların boyutları, konumları, yönelişleri ve pencereler şeklinde sıralanabilmektedir. Bunların haricinde yapının çevresindeki yapılar, doğal veriler (topografya, bitki örtüsü, iklim vb.) ve iç mekândaki yüzeylerin sahip olduğu özelliklerde etken olan diğer unsurlardandır [9]². Işığın fizyolojik kullanımındaki bina ve çevre dinamiklerinin haricinde mekân ve kullanıcı gereksinimleri de ışığın kullanım derecesini etkilemektedir. Gün ışığının aydınlatma işlevinin yanı sıra ısıtma özelliği de bulunmaktadır. Bu nedenle soğuk iklimin hâkim olduğu, güneş ışığının çok etkili olmadığı yerlerde, doğal ışık mekânda konfor koşullarını artırmak nedeni ile istenen bir tasarım öğesi olmaktadır. Sıcak iklimlerde ve güneşin çok etkili olduğu yerlerde ise güneşin mekânda oluşturabileceği parlama, kamaşma ve fazla ısı artışı gibi olumsuzluklara neden olarak kullanıcıların görsel konforunu azaltmamak adına özel önlemler alınmaya çalışılmaktadır [8].

Tasarımda ışığın görsel konfor koşullarını karşılayan işlevsel anlamının yanında kişilerin mekân deneyimlemesi boyunca hissettiği ve/veya hissetmesi istenen anlamsal boyutu bulunmaktadır. Mimari bir mekânda bulunan kullanıcı; mekânı deneyimlerken, mekânın biçimi, mekândaki ışığın miktarı, yönü, şiddeti, mekânda oluşturduğu etki ile birlikte birtakım duygulara kapılır ve bu andan itibaren mekân, kullanıcı için anlamlı hale gelmeye başlar. Bu bağlamda görülür bir şekilde ölçütü bulunmayan fakat kullanıcıların duygu ve hisleri ile anlamlandırılan boyut, doğal ışığın mekândaki anlamsal boyutunu açıklamaktadır [17]. Anlamsal anlamda mekâna kazandırdığı en önemli özellik değişken ve monoton olmamasıdır. Yapının strüktürü, mevsimsel ve gün içindeki hareketli değişim ve gün ışığının yoğunluğu ile ortaya çıkan renklerin çeşitliliği, mekânda yaşanan deneyimleri zenginleştirmektedir. Doğal ışığın mekânda oluşturduğu anlamsal boyutu tanımlamak için bazı ışık türleri tanımlanmıştır. Fransız mimar ve aydınlatma teorisyeni Henri Ciriani doğal ışığın anlamsal boyutta türlerini anlayabilmek için bir sıralama yapmıştır. Ciriani, doğal ışık türlerini hareketli (hissedilen) ışık, aydınlık (dengeli) ışık, ışıldayan ışık ve resimsel ışık olarak dört temel alanda sınıflandırmıştır [17]³.

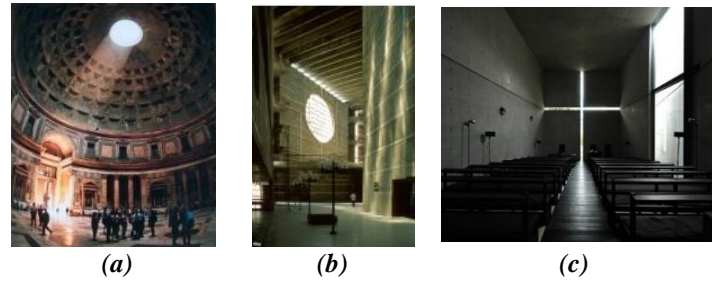
Mimari mekân, sınırları ile birlikte kullanıcılar tarafından algılanabilmekte ve içindeki yaşam ile bütünleşerek de bir anlam ifade etmektedir [18]. Mekânsal unsurlar, mekânı algılamak için sınırlılıklara, yönlendirmelere ve belirleyici özelliklere sahiptir [19]. Işık; mekânı algılama ve anlamlandırmada önemli bir rol oynamaktadır. Mekânlardaki renk, strüktür, malzemenin algılanması; ışığın mekân içindeki oluşumları ile gerçekleşmektedir. Mekânın görsel olarak algılanması ışık, mekânsal organizasyon, renk algılanması [20] ve malzeme özellikleri ile ortaya çıkmaktadır. Işığın mekânda oluşturduğu ışık-gölge yansımaları bile mekân algılanmasını güçlendirmekte ya da yanlış kullanım sonucu zayıflatabilmektedir. Gölge, ışığın mekâna geliş yönüne, yüzeyin dokusuna göre

²L. Sze-Hui Au, *Innovative Daylighting Systems*, Cardiff, UK: Cardiff University, 1999. Aktaran: P. Özmen, “20. yüzyıl başlarından 1980’lere kadar uzanan süreçte modern mimarlıkta doğal ışık kullanımının irdelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.

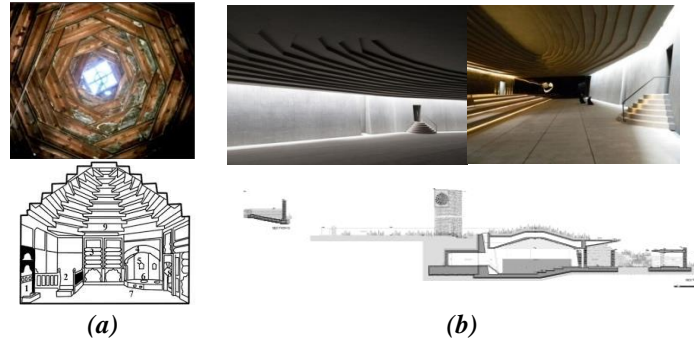
³H. Ciriani, “Four Lights,” *L’Architecture D’Aujourd’hui*, vol. 274, pp. 75-82, 1991. Aktaran: F. Özorhon, “Mimari mekân kimliğini belirleyen yönüyle doğal ışık,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002

oluşmakta ve mekânda oluşturduğu karşılık hali ile mekâna zenginlik katmakta [8], mekânı hareketlendirmekte ve yüzeylerde yeni desen ve biçimler tanımlamaktadır.

Mimari mekândaki doğal ışık, kullanıcıların mekânı algılayış ve kavrayış biçimini, mekâna yükledikleri anlamları etkilemektedir. Mekânı deneyimlerken algılama şeklimiz, mekân hakkında nasıl hissettiğimiz ve aynı zamanda doğal ışığın mekâna alınış şekli sonucu mekânda oluşan ışık – gölge oyunlarının mekân yüzeylerinde oluşturduğu desenler ile ilgilidir. Mekânlarda doğal ışık ile oluşturulan işlevsel ve anlamsal etkiler kullanıcı belleklerinde mekânı hatırlatan yerler olarak kalmaktadır. Doğal ışığın etkin kullanıldığı ikonikleşmiş yapılar ve tasarımlarda doğal ışığı güçlü kullanmış mimarlar ve yapıları bulunmaktadır (Şekil 1). Diğer taraftan Türkiye’de geleneksel mimariden günümüz mimarisine gün ışığının etkin kullanımı ile ilgili farklı örneklerle rastlanılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1. Doğal Işığın Tarihteki Yapılarda Kullanımı (a) Pantheon Tapınağı [21] (b) Bangladeş Parlamento Binası [22] (c) Işık Kilisesi [23]



Şekil 2. Gün Işığının Türkiye’deki Geleneksel Konutta ve Günümüz Mimarisinde Kullanımı (a) Kırılmaç (Karlanguş-Tüteklikli) Örtü, Erzurum yöresi [24] (b) Sancaklar Camii [25]

Sürdürülebilir mimari için belirlenen ilkelerden biri olan gün ışığının etkin kullanımı hem yapılar hem de çevre için fayda sağlamaktadır. Sürdürülebilirlikte önemli bir rolü olan gün ışığının kullanımı sayesinde enerjiden tasarruf sağlanmakta ve küresel ısınma azaltılmaktadır [26]⁴. Gün ışığının kullanımının hem fizyolojik hem de insanlar üzerindeki psikolojik etkisinden de dolayı kullanımının artırılması gerektiği düşünülmektedir. Gün ışığı yapılarda sadece doğal aydınlatma sağlamamaktadır. Bunun yanı sıra yapılarda doğal ışığın kullanılması ile yapay aydınlatmanın kullanım miktarı azaltılarak kullanılan enerjinin azaltılması, doğal ışığın kullanıldığı zaman aralıklarında mekânda ısısal gereksiniminin de karşılanabilmesi sağlanmaktadır [26].

B.DOĞAL İŞIĞININ KULLANIMI İLE İLGİLİ ÖNE ÇIKAN SİSTEMLER VE TEKNOLOJİLER

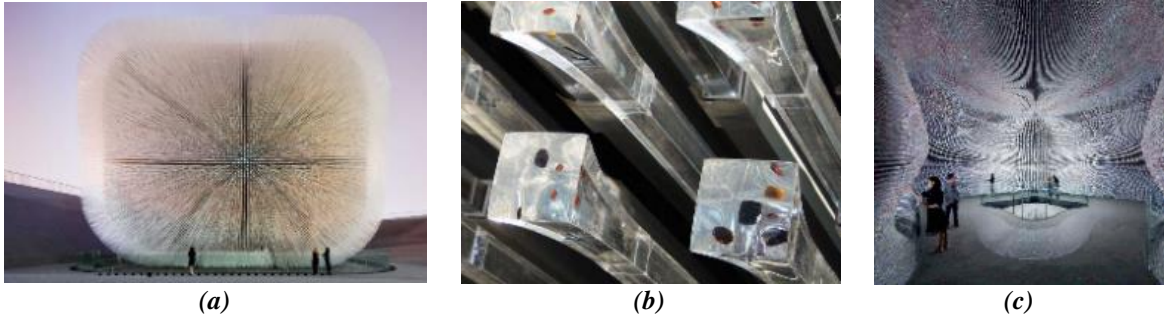
Günümüzde teknoloji çağının mimari alanda sunduğu birçok malzeme, sistem ve teknolojiler mekânlara doğal ışığın alınabilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu sistemler geçmişte yapı strüktüründeki

⁴M. Guzowski, *Daylighting For Sustainable Design*, New York, USA: McGraw-Hill Education, 2000. Aktaran: E. Tatar, “Sürdürülebilir mimarlık kapsamında çalışma mekânlarında gün ışığı kullanımı için bir öneri,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 17, s. 1, ss. 147-162, 2013.

oluşumları biçimlendirerek, gün ışığının mekâna alınabilmesini sağlamıştır. Gün ışığını mekâna alabilmek için konutlarda özel çatı oluşumları ve tepe açıklıkları kullanılmıştır. Gün ışığı sistemlerinin gelişmesinde iklimsel değişim, fazla ışık kirliliğinin önüne geçilmek istenmesi gibi nedenlerin etkili olduğu düşünülmektedir. Teknolojinin gelişiminin bize sunduğu imkânlardan birisi de gün ışığının kullanımına yönelik geliştirilen sistem ve teknolojiler olmuştur. Bu sistem ve teknolojiler gün ışığını mekâna alırken aynı zamanda sıcak havalarda fazla gün ışığının girmesini engelleyen, fazla ışığı yansıtan ya da gün ışığını iç mekândaki diğer alanlara taşıyan kanallar şeklinde çeşitlenebilmektedir.

Brissoleiller, gün ışığını kontrol ederek iç mekâna alan sistemlerden birisidir. Brisesoleiller “Le Corbusier” tarafından geliştirilen bir sistem olmuştur. Le Corbusier; güneşli iklimlerde tasarlanan konutların cephelerindeki basit beton duvar unsurları kullanarak popüler hale gelmiştir. Camlı cephe giydirme sistemlerinde yazın iç mekânın fazla ısınmasını önlemek ve soğuk günlerde sera etkisinden yararlanmak için gölgeleme aparatlarının gerekliliği sonucu ortaya çıkmıştır. Brisesoleillerde, teknolojik ilerlemeler ile değişen bir mimari tarz geliştirilmiştir. Brisesoleillerin en bilinen örnekleri Santiago Calatrava tarafından tasarlanan Milwaukee Sanat Müzesi’nin kinetik kanatları ve Nouvel’in Dünya Arap Enstitü Müzesi’nin yapıya ışığın akışını kontrol eden hareketli diyafram soleillerdir[27].

Fiber optikler günümüzde kullanımı pek yaygın olmayan yeni bir teknoloji sistemidir. Bu sistemde şeffaf fiber optikler içerisine yerleştirilen bitki tohumları, gün içerisinde güneş ışığını içine çekerek, ışığı iç mekâna aktarmakta ve aynı zamanda ışığı depolamaktadır. Depolanan gün ışığı akşamları mekân aydınlatması sağlamaktadır. Fiber optik kullanımının örneği olarak Heatherwick Studio tarafından Şangay’da yapılan Birleşik Krallık Pavyonu örnek verilmektedir. Pavyondaki fiber optikler sayesinde iç mekân sadece gün ışığı ile aydınlatılmaktadır [28].



Şekil 3.(a) Fiber Optik teknolojili UK Pavyonu (b) Fiber Optik içerisindeki tohumlar (c) Fiber Optik UK pavyonu iç mekân doğal aydınlatma [28]

Gün ışığının mekâna alınmasını sağlayan camlar, günümüzdeki teknolojileriyle birlikte çeşitlenmekte ve ışığın mekâna direk alınması sonucu oluşabilecek kamaşma, parlama gibi sorunlara çözüm olabilmektedir. Bu gelişmiş cam malzemelerden olan holografik optik elemanlar, bir film tabakası üzerine bazı desenlerin çizilmesi ve iki cam arasına yerleştirilmesi sonucunda, güneş ışığının direk ışınlarını yansıtmakta ve gök ışınları mekâna alınarak mekân içerisinde daha homojen bir doğal ışık dağılımı sağlamaktadır. Aynı zamanda bu cam kullanımı sayesinde doğal ışık, daha derin noktalara iletilebilmektedir. Pencere dışına yerleştirilen holografik optik sistemlere ise Zenithal ışık kılavuz sistemleri denilmektedir. Kullanım amacına göre cepheye ya da cephe üst kısmına 45°'lik açı ile konumlandırılmaktadır [29].

Holografik optik elemanların işlevine benzer bir işleve sahip olan bir diğer çağdaş sistem ise ışık raflarıdır. Işık rafları da gün ışığını taşıyarak başka noktalara iletmektedir. Yapıların çatılarına yerleştirilen ışık tüpleri, aldığı ışığı yansıtıcı borularla birlikte diğer mekânlara aktarmaktadır [30].

Günümüzde enerjinin etkin kullanımı, sürdürülebilirlik, doğayı koruma kavramları ile daha da ön plana çıkan doğal ışık kullanımı teknolojinin sunduğu olanaklar ile de gelişmekte ve daha fazla yapıya uygulanabilmektedir. Yapıların cephelerinde bulunan camların yeni teknolojik holografik optik elemanlardan ya da yansıtıcı özellikteki camlar ile yapılması durumunda, gün ışığı mekânlarda hem

daha fazla alana ulaşabilecek hem de fazla gün ışığının oluşturacağı olumsuzlukların önüne geçilebilecektir. Fiber optik gibi henüz çok yaygın olmayan teknoloji yapılarında ise gün ışığının mekâna iletilebilmesinin yanı sıra ışığın depolanarak akşamları kullanılması da enerji bakımından olumlu bir dönüş sağlayabilecektir. Bu sistemler, doğal ışığın yapılarıdaki etkinliğini artırmanın yollarını sunmaktadır.

II. ARASTIRMA TASARIMI

Çalışmada gelişen teknolojik ve yapım teknikleri sonucunda,doğal ışığın tasarımdaki kullanım yaklaşımlarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bunun için Jean Nouvel yapıları üzerinden konu ele alınmıştır. Nouvel belli bir üslup ile kendini sınırlandırmayan ve deneyselciğin mimarlık anlayışına sahiptir. Tasarımlarında gün ışığını etkin ve özgün kullanmaktadır. Çalışmada Jean Nouvel'in seçilen yapıları, doğal ışığın iç mekân tasarımına etkisi, kullanılan sistemler, tasarım anlayışında doğal ışığın yeri, doğal ışığın kullanım biçimi açısından analiz edilmiştir. Daha sonra analiz sonuçları kategorize edilerek, genel eğilimin izlenebileceği bir diyagram oluşturulmuştur. Tasarımda doğal ışığın kullanımını oluşturan faktörler çok boyutlu ortaya konulmuştur.

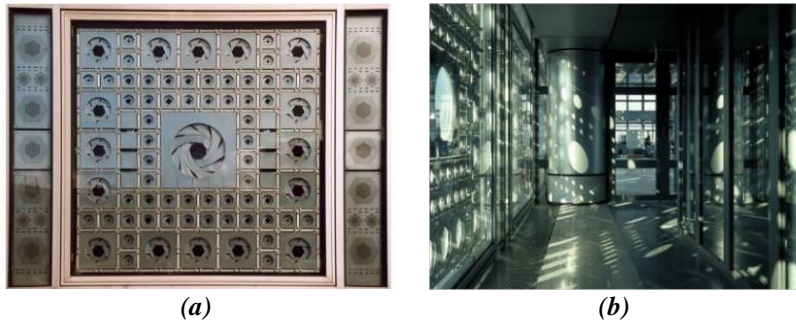
III. ANALİZ VE BULGULAR

A. JEAN NOUVEL YAPILARINDA DOĞAL IŞIĞIN İÇ MEKÂN TASARIMINA ETKİSİ

Çalışmada Jean Nouvel'in Fransa'da bulunan Arap Dünya Endüstri Müzesi, İspanya'daki Torre Agbar ofis yapısı, Katar'daki Doha Tower ofis yapısı ve Birleşik Arap Emirlikleri'ndeki Abu Dhabi Louvre Müzesinden doğal ışığın kullanımını üzerine analizler elde edilmiştir.

A.1. Arap Dünya Endüstri Müzesi

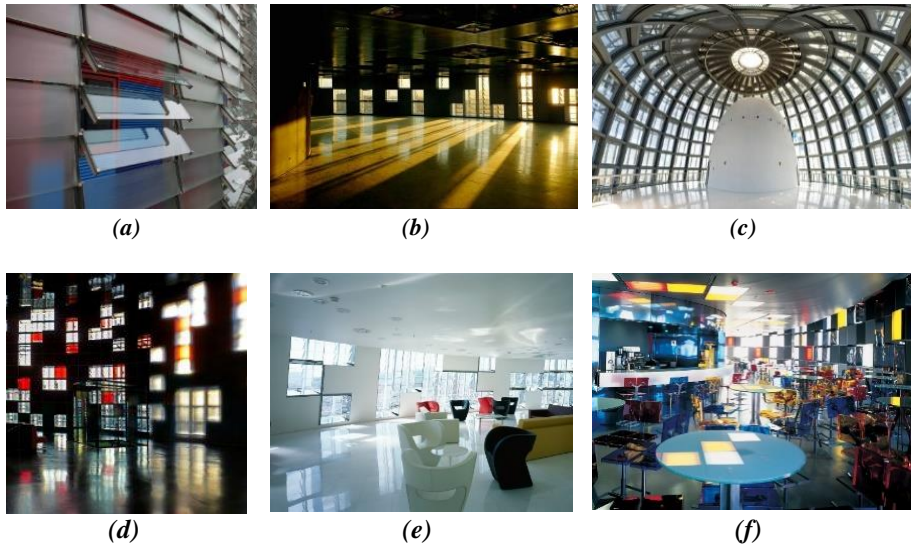
Arap Dünya Endüstri Müzesi Nouvel tarafından 1981-1987 yılları arasında Paris'te bir kültür yapısı işleviyle hizmet vermektedir. Nouvel, doğal ışığı yapıda etkin bir şekilde kullanmıştır. Yapının ana özelliği ve yenilikçi unsuru güney cephede bulunan güneş ısısına ve parlamaya karşı koruyan brisesoleiller olmuştur [31]. Yapının tüm cephesi etkin bir şekilde doğal ışık alırken özellikle güney cephesinin bu özelliği yapıya karakteristik bir özellik kazanmıştır. Yapının güney cephesinde bulunan ışığa duyarlı motor kontrollü diyaframlar (Şekil 4a) sayesinde mekânda sürekli hareketlilik olmaktadır. Işığa duyarlı diyaframlar,güneş ışığının şiddetine göre kapanıp açılmakta ve bu hareketlilik iç mekândaki yüzeylerde ışık-gölge etkisiyle desen oluşmasını sağlamaktadır (Şekil 4b). Doğal ışığın mekânda oluşturduğu bu dinamik etki iç mekânda, mekânı değiştirici ve deneyimi geliştirici bir rol oynamaktadır [3].



Şekil 4. Arap Dünya Enstitüsü Müzesi ve Gün Işığı (a) Işığa duyarlı motor kontrollü diyafram cephesi (b) İç mekânda doğal ışık desen oluşumu [32]

A. 2. Torre Agbar (Torre Kulesi)

Torre yapısı Nouvel tarafından 1999-2005 yılları arasında İspanya Barselona'da yapılmış ve ofis yapısı olarak kullanılmaktadır. Torre Agbar yapısında doğal ışık, sürdürülebilirlik ilkesi kapsamında yapı tasarımında rol almıştır. Doğal ışığın iç mekâna alınmasını sağlayan pencereler, bu yapı için havalandırma sağlamanın yanı sıra enerji depolanmasını da sağlamış, ayrıca yapıda iç mekâna doğal ışığı en etkili şekilde alabilmek için özel brielama ve fotoelektrik cam paneller kullanılmıştır [33-34]. Bu fotovoltaik cam paneller tarafından üretilen enerji depolanmakta ve geceleri aydınlatma için kullanılmaktadır [34]. Mimar sürdürülebilirlik kapsamında, mekânda doğal aydınlatma kullanımının etkin olması ve aynı zamanda doğal ışığın mekândaki tasarımsal gücünü kullanmak için çift cidarlı tasarladığı yapının ilk katmanında toprak tonları, mavi, yeşil ve gri renklerde cilalı [33] renkli alüminyum levhalar eklemiştir. Güneşin mevsimsel ve gün içindeki hareketleri renkli alüminyum levhalara yansımaları ile iç mekânda karesel şekil yansımaları (Şekil 5b,5d,5f) oluşturulmuştur. Aynı zamanda açılı cam panjurlar (Şekil 5a) gün ışığının açılı hareketlerle mekâna alınmasını sağlamıştır. Torre Agbar yapısında doğal ışık iç mekân tasarımında daha çok görsel konfor sağlanması [35] (Şekil 5c, 5e) ve sürdürülebilirlik amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 5. Torre Agbar Yapısı (a) Açılı cam panjurlar [33] (b) İç mekân [33] (c) Kubbe [36] (d) Giriş kısmı [37] (e) Dinlenme alanı [37] (f) Kafeterya alanı [38]

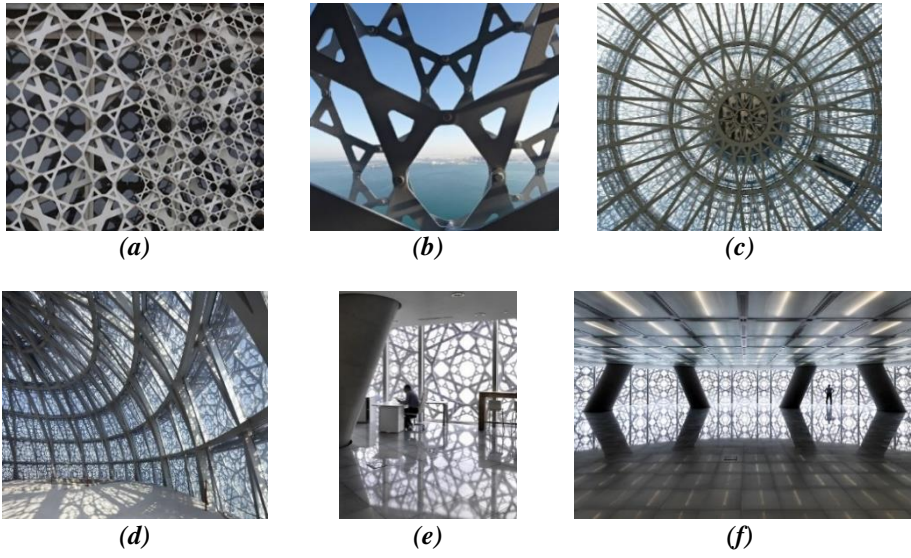
A.3. Doha Tower (Doha Kulesi)

Doha Tower Nouvel tarafından 1999-2005 yılları arasında Katar Doha'da bulunan ve içerisinde ofisler, restoran ve son iki katında konut bulunan kompleks bir yapıdır. Doha Tower yapısı genel konstrüksiyon tasarımı bakımından Torre Agbar yapısına benzemektedir. Her iki yapıda da çift cidarlı cephe strüktür tasarımı yapılmıştır. Doha Tower'da hem gün ışığından faydalanmak hem de Katar'ın sıcak hava ikliminden etkilenmemek için *müşrefiyelerden*⁵ esinlenerek tasarlanan dört kelebek birimini farklı açı ve boyutlarda (Şekil 6a,6b) güneşin geliş açısına göre üst üste bindirilmesi ile oluşturulmuştur [39]. Aynı zamanda iklimin sıcak olması nedeni ile delikli bir strüktür tasarlanmıştır. Bu strüktür sayesinde hem gün ışığı mekâna etkili alınmış hem de mekânda maksimum gölgeleme sağlanmıştır [40]. İç camlarda da fazla güneş ışınlarını yansıtmak için yansıtıcı camlar [40] kullanılması sayesinde de doğal ışığı iç mekâna kontrollü bir şekilde almayı başarmıştır. Katar gibi sıcak bir iklimde dahi günümüz teknolojik çözümler sayesinde doğal ışık iç mekân tasarımına katılabilmektedir. Yapının strüktürel yapısı sayesinde ışığın mekâna aktarılırken oluşturduğu ışık – gölge sayesinde mekân yüzeylerinde desen oluşumu da sağlanmıştır (Şekil 6d,6e). Ayrıca doğal ışık 360° yapının tüm yönlerinden mekâna alınmaktadır (Şekil 6c,6f). Doha Tower örneği sayesinde de doğal ışığın iklimsel durumlarda da mekâna etkili bir şekilde alınabilme yolları gösterilmiş olmuştur.

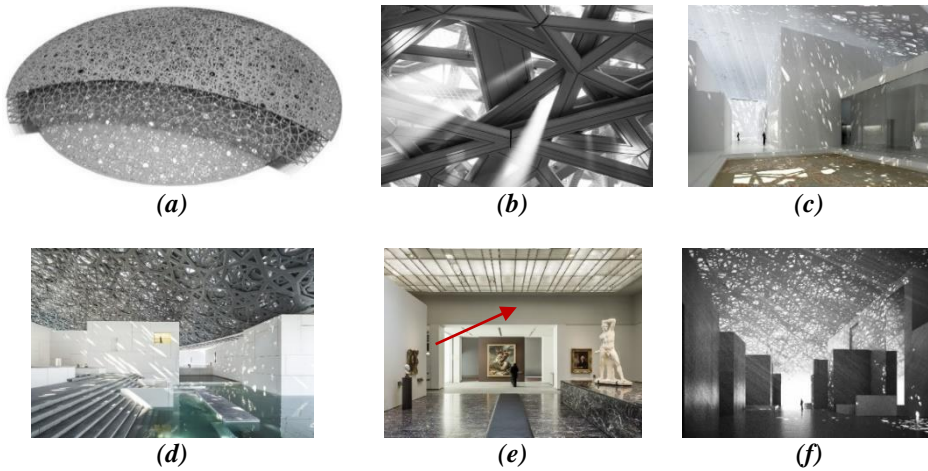
⁵ Müşrefiye, genellikle Arap evlerinde bulunan ve ahşap kafeslerle oluşturulan bir tür cumbalı pencere elemanıdır.

A.4. Louvre Abu Dhabi Müzesi

Louvre Abu Dhabi Müzesi 2013-2017 yılları arasında Birleşik Arap Emirlikleri Abu Dhabi'deki Saadiyat Adası'nda bulunan ve karadan herhangi bir şekilde ulaşımı olmayan bir ada müzesidir. Müzenin en önemli mimari özelliği parametrik tasarım yoluyla yapılan ağ şeklindeki kubbe tasarımı olmuştur. Bu karmaşık kubbe tasarımı üst üste binen sekiz katmanda çeşitli boyut ve açılarda tekrarlanması ile oluşturulmuştur [43] (Şekil 7a). Doğal ışığın sekiz katmanlı kubbeden süzülerek (Şekil 7b) mekâna aktarılması ile mekânda bir ışık yağmuru efekti oluşturulmuştur [44] (Şekil 7c,7f). Bu yağmur efekti kullanıcılara iç mekânda sinematik ve hareketli bir mekân deneyimi yaşatarak doğal ışık mekânda etkinleştirilmiştir [44]. Aynı zamanda mekâna süzülen güneş ışınları iç mekânda bulunan havuzlardan kırılıp yansımaktadır. Yansıyan ışınlar ise suyun hareketiyle birlikte mekân yüzeylerine hareketlilik katmaktadır (Şekil 7d). Müzenin iç mekânlarındaki müze galerilerinde, yan pencerelerden alınan veya 'zenithal' aydınlatma yoluyla filtrelenmiş doğal ışık bulunmaktadır. Güneş ışığını yakalamak ve galeri alanlarına yönlendirmek için mekânların tavanlarında cam ayna ve cam tavanlar kullanılmaktadır [45] (Şekil 7e). Louvre Abu Dhabi Müzesi'nde ışık anlamsal yönüyle kullanılarak kinetik etki yaratılmıştır.



Şekil 6. Doha Tower Yapısı (a) Cephe düzeni [41] (b) Cephe sistem bağlantıları [41] (c) 360° doğal ışığın mekâna alınımı [41] (d) 360° doğal ışığın mekânda desen oluşumu [41] (e) Ofis birimine doğal ışığın yansımaları [42] (f) İç mekâna doğal ışığın alınımı [42]



Şekil 7. Louvre Abu Dhabi Müzesi (a) Parametrik kubbe tasarımı (b) Doğal ışığın kubbeden geçişi (c) Doğal ışığın iç mekânda oluşturduğu desenler (d) Doğal ışığın havuzlara yansımaları (e) Kapalı mekânlarda ışık tüpleri ve cam tavan kullanımı (f) İç mekânda ışık yağmur efekti [44]

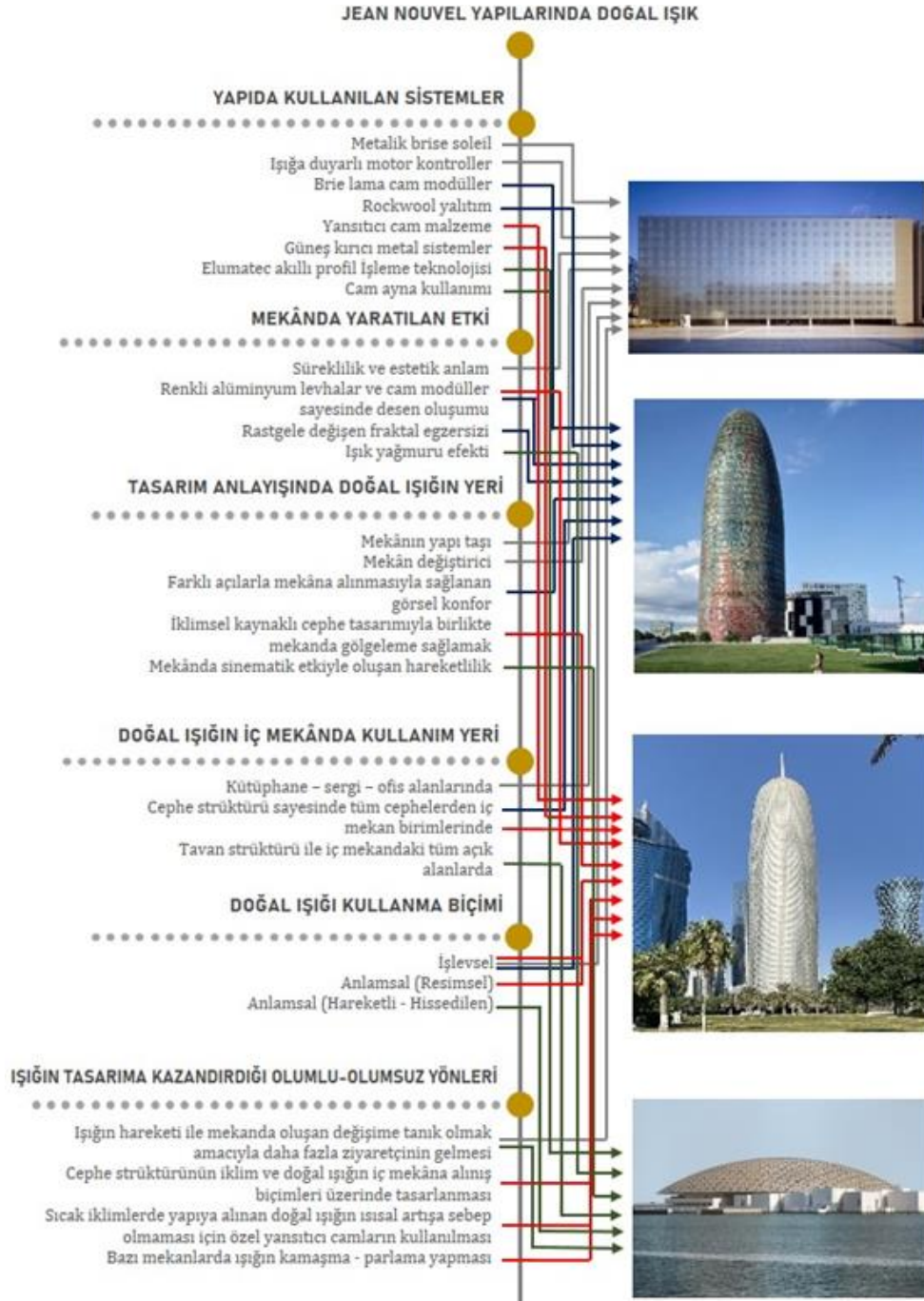
Jean Nouvel'in dört yapısına ait veriler birlikte değerlendirildiğinde (Tablo 1);

- Jean Nouvel genellikle yapılarında ışık yardımıyla yağmur efektleriya da tasarımın yapıldığı yerin kültürü ile bağlantılı desenleri, cephe tasarımda kullanarak oluşturduğu delikli strüktürler yardımıyla ışığın mekâna alınımını kontrol edebilmekte ve mekânda oluşan desen, ışık – gölge oyunları ile mekânlara hareketlilik ve estetiklik katmanın basit yollarından olduğunu belirtmektedir.
- Jean Nouvel'in doğal ışığı iç mekâna genellikle tüm cephelerden ve tepeden almayı tercih etmektedir. Fakat kimi yapılarında mekânda oluşturmak istediği etkiden dolayı sadece tepe ya da sadece tek cepheden mekâna almayı da tercih etmektedir.
- Nouvel sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğinin günümüz dünyasında çok önemli olduğundan ve kendi tasarımlarında da kullandığı malzeme ve sistemlerin uzun yıllar kullanılabilir olmasına dikkat ediyor. Ayrıca Nouvel bütün ışık mimarlıklarının en baştan beri kendisini etkilediğini belirterek, Arap mimarisinde ışığın maşrabiyelerden delip geçişinin etkisinin kendi tasarımlarında da ilham olduğunu belirtmiştir. Tasarımlarında ışığı kırılma, titreşim, şeffaflık ve doku üzerindeki oynamalarla kullanmıştır [50]. Örneğin Abu Dhabi Müzesi'nde yapının delikli kubbe tasarımı sayesinde güneşin gün boyunca hareketiyle iç mekâna alınan ışığın, mekânda sinematik bir etkiyle hareketlilik katması amaçlanarak tasarımda doğal ışık etkinleştirilmiştir.
- Nouvel genellikle tasarımlarını yaparken yapılarında, cephe tasarımına ve bu cephe tasarımının iç mekâna ışığın alınımına etkisi olduğu için malzemelerin hem sürdürülebilir olması hem de uzun ömürlü olmasına dikkat etmektedir. Genel olarak metal brisesoleiller, ışığa duyarlı motor kontrollü sistemler, şeffaf ve yarı saydam brie lama cam modüller, yansıtıcılık için alüminyum plakalar, güneş kırıcı metal plakalardır. Ayrıca Elumatec profil işleme teknolojisini katmanlı cephe tasarımlarında kullanmaktadır.
- Jean Nouvel tasarımlarında doğal ışığı genellikle işlevsel amaçla kullanmaktadır. Gün ışığından maksimum düzeyde yararlanmak için dairesel kuleler, kubbeler tasarlayarak her yönden mekâna ışık alınımını sağlamıştır. Fakat Louvre Abu Dhabi müzesi gibi bazı yapılarında da ışığı anlamsal olarak kullanmıştır. Bu tarz yapılarda amacı kullanıcılar hissettirmek istediklerini ışıkla bağdaştırmıştır.
- Doğal ışık kullanımının tasarıma kazandırdığı olumlu ve olumsuz yönleri bakımından bakıldığında ise yapılmış olan yapıların çoğunluğunda doğal ışık kullanımı, tasarıma olumlu katkılar sağlamıştır. Örneğin Dünya Arap Enstitüsü Müzesindeki ışığa duyarlı motor kontrollü diyaframlar sayesinde iç mekândaki yüzeylerde, sürekli hareketlilik sağlandığından kullanıcıların çoğunluğu bu değişimlere şahit olmak için müzeye gelip değişimi beklemektedir. Aynı şekilde Louvre Abu Dhabi müzesinde de insanların üstüne mekânda ışık yağmur gibi yağıyormuş hissi hissettirdiği için insanlar bunu deneyimlemeye, gündüz ve gece mekândaki ışığın dolaşımını izlemeye gelmektedir. Ek olarak sıcak bir iklimde bulunan yapıda ışık, mekânda herhangi bir ısı yükselmesi ya da olumsuzluk yapmamaktadır. Mimar bu amaçla mekâna havuzlar tasarlayarak bunun önüne geçmiştir. Doha Tower yapısında maşrabeyalardan ilham alınarak tasarlanan cephe tasarımı sayesinde mekânda oluşturduğu desenlerin haricinde iyi derecede gölgeleme de sağlamaktadır [48]. Doha Tower'ın yapı strüktüründen dolayı ışık mekâna strüktürün aralarından sızarak gelmekte; mekâna direk nüfuz etmemektedir. Aynı zamanda yapı Katar gibi sıcak bir ülkede bulunduğu için mimar bunu göz önüne alarak camları da yansıtıcı camlar şeklinde tasarlayarak doğal ışığın fazla girmesinin önüne geçmeye çalışmıştır.

Tablo 1. Jean Nouvel Yapılarında Tasarım Ögesi Olarak Gün Işığı

Jean Nouvel Yapılarında Doğal Işık	Arap Dünya Endüstri Müzesi	Torre Agbar	Doha Tower	Abu Dhabi Louvre Müzesi
Kullanılan Sistem	ADE'nin güney cephesinde ısısal koruma sağlayan metalik brissoleiller bulunmaktadır. Aynı zamanda sistem ışığa duyarlı motor kontrollü diyaframlar içermektedir [31].	Cephedeki ikinci katmanda brie lama cam modüller kullanılmıştır. Ayrıca enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik için 4500 pencere gün ışığından en iyi şekilde yararlanabilmek için tasarlanmıştır [47].	Yapı strüktürünün ilk katmanında güneş ısısından korumak ama ışığı da mekâna almak adına yansıtıcı özellikteki cam malzeme ve ikinci katmanında da güneş kırıcı kelebek birimler kullanılmıştır [14].	Elumatec akıllı profil işleme teknolojisi [49] ile çelik ve alüminyum kullanılarak oluşturulan ağ desenli kubbeden ışığın süzülerek mekana girmesi sağlanmıştır. İç mekânlara doğal ışığın taşınması için zenithal [45] ve cam aynalar kullanılmıştır.
Mekânda Yaratılan Etki	Güney cephedeki sistem sayesinde mekâna sürekli hareketlilik ve estetik anlam katılmıştır.	Yapının iç katmanındaki açıklıklar, ikinci katmandaki renkli alüminyum levhalar ve cam modüller sayesinde zamansal ışık değişimleriyle iç mekân yüzeylerinde desen oluşumu sağlanmıştır.	Doğal ışığın cephedeki strüktür ilebirlikte iç mekândaki yüzeylerde ışık-gölge ile desen oluşturmaktadır.	Her bir ışık ışınının tavan strüktüründeki katmanlardan nüfuz ederek mekânda ışık yağmuru efekti oluşturmaktadır [44].
Tasarım Anlayışında Doğal Işığın Yeri	Yapıda ışık bir yapı taşı ve mekânı değiştirici olarak kullanılmaktadır.	Doğal ışık, açılı ve hareketli cam panjurlar ve kübik açıklıklardan iç mekâna kontrollü bir şekilde alınarak görsel konforun üst seviyede olması sağlanmaktadır.	İklimin sıcak olmasından dolayı gün ışığını mekâna etkili almak için yapı delikli strüktür şeklinde tasarlanmış ve mekânlarda da gölgeleme sağlanmıştır [40].	Doğal ışığın gün içindeki hareketi ile mekânlarda sinematik etki ve hareketlik oluşturmaktadır [44].
Doğal Işığın İç Mekânda Kullanım Yeri	Işık, güney cephede bulunan sergi – kütüphane ve ofis birimlerine alınmaktadır [32].	Doğal ışık mekâna tüm cephelerden ve tavandan alınmaktadır.	Yapı şekli ve strüktürü sayesinde doğal ışık tüm yüzeylerinden mekâna alınabilmektedir.	Tavan strüktüründen iç mekânlara alınması sağlanmıştır.
Doğal Işığı Kullanma Biçimi	İşlevsel	İşlevsel	İşlevsel ve anlamsal (resimsel)	Anlamsal (hareketli- hissedilen)
Doğal Işığın Kazandırdığı Olumsuz Yönler	Kullanıcılar cephe diyaframlarının mekânda oluşturduğu hareketliliği gözlemlemek için mekânda daha fazla zaman geçirmektedir [46].	-	Doğal ışığın cephe tasarımı sayesinde mekânda oluşturduğu desenlerin haricinde iyi derecede gölgeleme de sağlamaktadır [48].	Ziyaretçiler doğal ışığın kubbeden süzülmesi ile oluşturduğu yağmur efektini deneyimlemek için de müzeye gelmektedir [44].

Bu noktadan yola çıkarak veriler kategorize edildiğinde Jean Nouvel'in doğal ışığı tasarımda kullanma yaklaşımı, Şekil 8' deki diyagram ile görselleştirilmiştir. Nouvel tasarımlarında doğal ışığı cephe strüktürü ile birlikte çalıştırarak biçimlendirdiği ve ışığın etkisini kontrol ederek mekânlarda doğal ışığın etkisini güçlendirdiği ve çeşitlendirdiği görülmektedir. (Şekil 8).



Şekil 8. Jean Nouvel Yapılarında Doğal Işık Kullanım Yollarının Genel Diyagramı

IV. SONUÇ

Doğal ışık, mimari mekânın biçimlenmesinde renk, doku, malzeme gibi tasarım öğelerinin görünür olmasına, mekân deneyiminin zenginleşmesine katkı sağladığı bilinmektedir. Günümüzde gelişen teknolojiler, beraberinde birçok yeni yapı sistemleri ve malzemeler sunmaktadır. Bu yeni sistem ve

malzemeler, doğal ışığı iç mekân tasarımlarına katmanın yollarını, ışık ile mekânda oluşturulacak etkinin mekânı tanılamadaki gücünü ortaya koymaktadır. Doğal ışığın mekâna alınış biçimi, yönü, mevsimsel ve zamana göre hareketi ve şiddeti mekâna farklı anlamlar kazandırmaktadır.

Jean Nouvel de yapmış olduğu çoğu tasarımlarında gün ışığını mekânda etkin bir şekilde kullanmış ve kullanıcılara eşsiz deneyimler yaşatabilmiştir. Yapılarında kullandığı metalik brisesoleiller, yansıtıcı camlar, ışığa duyarlı motor kontrollü sistemler, güneş kırıcı teknolojiler ve brise lama camlar sayesinde mekâna aldığı ışığı kontrol edebilmiş aynı zamanda yapıların enerji verimli yapılar olmasını da sağlayabilmiştir. Doğal ışık tasarımlarındaki ritmi, mekân karakterini de etkileyerek mekanlarda süreklilik, çeşitli efekt oluşturma hissi, yüzeylerde değişken desen oluşumu ile mekanlara kimlik kazandırarak mekanların doğal ışıkla ilişkilendirilmesine katkı sağlamıştır. Yapı strüktürünün etkisiyle doğal ışığın mekâna yansması mimarın mekâna katmak istediği etki ile yakından ilişkili olmaktadır. Nouvel tasarladığı müze yapısında ziyaretçilerin mekânda yağmur efektini deneyimlemesini istediği için yapının tavan strüktürüne parametrik tasarım sayesinde ağ kubbe tasarlamıştır. Bu ağ kubbe tavan, ışığın mekâna direk gelmesini önleyerek, kubbedeki farklı katmanlardan süzülmesi ile istediği efekti mekânda oluşturabilmesini sağlamıştır. Yani tasarımcının mekânda oluşturmak istediği etki, nasıl bir tasarım kararı alması gerektiği yönünde tasarımcıya kılavuzluk etmektedir. Doğal ışık çoğu zaman görsel konfor ihtiyaçlarını karşılamak için cephelerdeki açıklıklardan iç mekâna alınmıştır. Ama doğal ışığın sadece görsel konfor sağlamanın yanında anlamsal ihtiyaçları karşılaması için de kullanıldığı görülmüştür. Işık kendi başına mekânın ana tasarım ögesi olarak kullanıldığında mekânın yapıtaş-yer değiştirici rolünü üstlenmiştir. Doğal ışığın mekâna kattığı tüm bu olumlu yönlere karşın olumsuz yönleri ile de karşılaşılabilir. Işığı mekâna alırken kullanma yönü, biçimi, gün ışığının şiddeti dikkati alınması gereken önemli unsurlardandır. Çünkü ışık mekânda görsel konfor sağlayabildiği gibi fazla ve kontrolsüz şekilde alınması ile de kamaşma ve parlama sorunları doğurabilmektedir. Jean Nouvel yapılarında genellikle gün ışığını tüm cephelerden mekâna almayı tercih etmiştir. Ama bunu yaparken tasarladığı cephe strüktürünü ve kullandığı cam malzemeleri mekânda kamaşma ya da parlama yapmamasını göz önüne alarak belirlemiştir. Buna ek olarak Nouvel gün ışığını mekânda etkin kullanması sonucu ısısal sorunlar yaşamamak için bazı yapılarında mekân içerisine küçük havuzlar ekleyerek, suyun hareketleri ile hem ısı sorununa çözüm bulmuş hem de ışığın suda yaptığı kırılmalar sonucu mekânda ışık oyunları oluşmasını sağlamıştır. Kısacası doğal ışık tasarımlara katılmak istediğinde işlev, yapı ve mekânlar üzerinden önemli okumalar yapılması gerekmektedir. Işığın nasıl alınacağı, mekânda oluşturulmak istenen etkiye nasıl cevap vereceği, tasarıma katacağı olumlu veya olumsuz yönleri, tasarım aşamasında iken dikkatlice analiz edilmeli ve bu analiz sonuçlarına göre yapım sistem ve malzemeleri seçilmelidir.

Günümüzde de enerji korunumu ve ekolojik çevre kavramlarının öne çıkması ile birlikte mekanlarda doğal ışık kullanımına yönelik sistem ve teknolojiler de gelişmektedir. Aynı şekilde doğal ışığın tasarıma katılmasının da önemli bir gereklilik olduğu düşünülmektedir. Doğal ışık mekânların statik durumdan dinamik duruma geçişini sağlayabilen en basit ve etkili yollardan birisi olarak görülmesi, mekân tasarımının gün ışığının katılmasındaki önemini de göstermektedir.

V. KAYNAKLAR

[1] G. Yıldız, “Doğal ışığın mimari mekânı biçimlendirmesi ve anlam boyutu üzerine (Louis I Kahn ve Tadao Ando),” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1995.

[2] A.B. Tefvikler, “Daylighting and its effects on interior atmospheres,” M.S.thesis, Department of Interior Architecture and Environmental Design and Institute of Fine Arts, Bilkent University, Ankara, Turkey, 1996.

- [3] B. Atabay, “Doğal ve yapay ışığın mekânı anlamlandırma gücü ve bir arada bulunma dinamikleri,” Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Ana Bilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [4] M. Elibaidi, “Effect of daylight on students’ behavior in libraries,” M.S. thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Çankaya University, Ankara, Turkey, 2017.
- [5] G. Sedef, “Doğal ışığı duygu durum üzerindeki etkileri Sancaklar Camii incelemesi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [6] D. Bayhan, “Gün ışığı almayan kapalı mekânlarda gün ışığı etkisi yaratan uygulamaların kullanıcı algısına etkisi üzerine bir çalışma,” Yüksek Lisans tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [7] G. Üçüncü, “Gün ışığı kullanımı açısından Le Corbusier, Alvar Aalto ve Tadao Ando arasındaki benzerlikler ve farklılıklar,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 1995.
- [8] D. Tezel, “Mekân tasarımında doğal ışığın etkileri,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [9] P. Özmen, “20. yüzyıl başlarından 1980’lere kadar uzanan süreçte modern mimarlıkta doğal ışık kullanımının irdelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.
- [10] O. Omar, “Advanced daylight technologies for sustainable architectural design,” M.S. thesis, The Department of Architecture Faculty of Engineering, Alexandria University, Alexandria, Egypt, 2008.
- [11] M. Moayed, “İç mekânda gün ışığı kullanımının sürdürülebilir tasarım kriterleri,” Yüksek Lisans tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2011.
- [12] A. Taghizadeh Sapchi, “Sürdürülebilir müzelerde mekânsal tasarım kriterleri ve gün ışığı kullanımı,” Yüksek Lisans tezi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2016.
- [13] P. Demirel Etlı, “Sürdürülebilir mimarlık kapsamında mimarlık ofislerinde ışığın tasarımdaki rolü ve önemi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2013.
- [14] K. Akkaş, “Jean Nouvel yapılarında malzeme kullanımı üzerine bir araştırma,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye, 2019.
- [15] İ. Altan, “Mimaride ışık gölge ilişkilerinin psikolojik etkileri üzerine bir araştırma,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1983.
- [16] S.E. Rasmussen, *Experiencing Architecture*, Cambridge, USA: The MIT Press, 1964.
- [17] F. Özorhon, “Mimari mekân kimliğini belirleyen yönüyle doğal ışık,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [18] J. Joedicke, *Space and Form in Architecture*, Stuttgart, Germany: Karl Kramer Verlag, 1985.
- [19] Ş. Ö. Gür, *Mekân Örgütlenmesi*, Trabzon, Türkiye: Gür Yayıncılık, 1996.

- [20] E. Aksugür, “Renk çeşitlerinin özellikleri ayrı iki ışık kaynağı altında, mekânın algılanan büyüklüğüne etkisi,” Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1977.
- [21] Anonim. (2021, 18 Ocak). *Pantheon Tapınağı* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.shutterstock.com/search/roman+pantheon>.
- [22] Anon, *Louis I. Kahn ve Tarih*, İstanbul, Türkiye: Boyut Yayın Grubu, 2002.
- [23] Anonim. (2021, 24 Ocak). *Işık Kilisesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.archdaily.com/101260/ad-classics-church-of-the-light-tadao-ando>.
- [24] Y. Gök ve A. Kayserili, “Geleneksel Erzurum evlerinin kültürel coğrafya perspektifinden incelenmesi,” *Doğu Coğrafya Dergisi*, c. 18, s.30, ss. 175-216, 2013.
- [25] Anonim. (2021, 5 Mart). *Sancaklar Camii* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.archdaily.com/516205/sancaklar-mosque-emre-arolat-architect>.
- [26] E. Tatar, “Sürdürülebilir mimarlık kapsamında çalışma mekânlarında gün ışığı kullanımı için bir öneri,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 17, s. 1, ss. 147-162, 2013.
- [27] M. Roginska-Niesluchowska, “The relationship between architectural detail and light in contemporary architecture,” presented at The 1st Virtual International Conference on Advanced Research in Scientific Fields, Slovakia, Dec. 3-7, 2012.
- [28] Heatherwick. (2021, 3 Mart). *UK Pavilion* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.heatherwick.com/projects/spaces/uk-pavilion/>.
- [29] B. Manav, T. Kutlu, ve M.Ş. Küçükdoğu, “Mimaride kullanılan cam türlerinin aydınlatma açısından incelenmesi,” 5. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu’nda sunuldu, İzmir, Türkiye, 2009.
- [30] A.K. Yener, “Binalarda gün ışığından yararlanma yöntemleri: Çağdaş teknikler,” VIII. Ulusal Tesistat Kongresi’nde sunuldu, İzmir, Türkiye, 2007, ss. 231-241.
- [31] Anonim. (2020, 3 Aralık). *Arap Dünya Endüstri Müzesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.archdaily.com/162101/ad-classics-institut-du-monde-arabe-jean-nouvel>.
- [32] Anonim. (2020, 24 Aralık). *Arap Dünya Endüstri Müzesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://visuallexicon.wordpress.com/2017/10/04/arab-world-institute-jean-nouvel/>.
- [33] Anonim. (2020, 3 Aralık). *Agbar Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://en.wikiarquitectura.com/building/agbar-tower/#>.
- [34] Anonim. (2021, 2 Ocak). *Agbar Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://barcelonalowdown.com/torre-agbar-barcelonas-21st-century-icon/>.
- [35] Anonim. (2021, 2 Ocak). *Agbar Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.thoughtco.com/buildings-and-projects-by-jean-nouvel-4065275>.
- [36] Anonim. (2021, 18 Ocak). *Agbar Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.pedelta.com/structural-review-of-the-dome-of-agbar-tower-p-45-en>.
- [37] Anonim. (2020, 14 Kasım). *Torre Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.jeannouvel.com/en/projects/tour-agbar/>.

- [38] Anonim. (2021, 18 Ocak). *Agbar Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tecnospa.com/ko-kr/projects/agbar-tower>.
- [39] Anonim. (2020, 30 Kasım). *Doha Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://thetowerinfo.com/buildings-list/doha-tower/>.
- [40] Anonim. (2020, 3 Aralık). *Doha Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://en.wikiarquitectura.com/building/doha-tower-burj-doha/>.
- [41] Anonim. (2020, 8 Kasım). *Doha Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.jeannouvel.com/en/projects/doha-9-high-rise-office-tower/>.
- [42] Anonim. (2020, 3 Aralık). *Doha Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: https://archnet.org/sites/15150/media_contents/108722.
- [43] Anonim. (2021, 2 Ocak). *Louvre Abu Dhabi Müzesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://thespaces.com/louvre-abu-dhabis-giant-dome-creates-a-rain-of-light/>.
- [44] Anonim. (2020, 18 Kasım). *Louvre Abu Dhabi Müzesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.archdaily.com/883157/louvre-abu-dhabi-atelier-jean-nouvel>.
- [45] Anonim. (2021, 2 Ocak). *Louvre Abu Dhabi Müzesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.arc magazine.com/louvre-abu-dhabi-uae/>.
- [46] Anonim. (2020, 18 Kasım). *Arap Dünya Endüstri Müzesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.damlatoker.com/mercekte-arap-dunya-enstitusu-jean-nouvel/>.
- [47] G. Nastase, M. Hornet, A. Şerban, and R. Gavriluc, "Office buildings with double-skin façade in Europe," *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, vol. 5, no. 54, pp. 231-236, 2012.
- [48] Anonim. (2021, 10 Ocak). *Doha Kulesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.scalemag.online/dohas-most-famous-highrise-building/>.
- [49] Anonim. (2020, 21 Kasım). *Louvre Abu Dhabi Müzesi* [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.elumatec.com/upload/customer-magazine/file/elumatec_AG_360Grad_2018-01_TR-U23y.pdf.
- [50] Anonim. (2021, 10 Ocak). *Jean Nouvel* [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.yapi.com.tr/haberler/jean-nouvel-kopyala--yapistir-mimarliga-karsiyim_49979.html.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Metrik Öğrenmesi Kullanarak Çeşitli Kanser Dokularına Ait Mikro Dizi Gen Verilerinin Sınıflandırılması

 Fırat İSMAİLOĞLU^{a,*}

^a *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: fismailoglu@cumhuriyet.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.886353

ÖZ

Kanserli dokuların heterojen doğası gereği birçok kanserin alt türü vardır, ve bu alt türler tespit edilmedikçe kanser tedavisi hedefi bulamaz. Mikrodizi gen teknolojisi ve veri teknolojisinin gelişmesiyle beraber, son yıllarda kanserli dokulara ait mikro dizi gen ifadesi verilerini kullanarak makine öğrenmesi yardımıyla kanserlerin alt türünü tespit etmek yaygınlaşmıştır. Fakat burada asıl problem, veri setinde her bir gene bir özneliğin karşılık gelmesi, bu yüzden yüksek boyut probleminin ortaya çıkmasıdır. Bu çalışmada üç farklı metrik öğrenmesi metodu (LMNN, ITML ve NCA) ayrı ayrı kullanılarak çeşitli kanser türlerine ait mikro dizi gen veri setleri boyutu azaltılmış uzaylara transfer edilmiştir. Bu sayede, PCA gibi klasik boyut azaltma yöntemlerinden farklı olarak boyutu azaltılmış uzayda, aynı sınıfa (kansere alt türüne) ait örnekleri birbirine yaklaştırırken, farklı sınıflara ait örnekleri birbirinden uzaklaştırılmıştır. t-SNE metodu yardımıyla azaltılmış boyutlu uzaylar görüntülenerek sınıfların birbirinden ayrıştığı teyit edilmiştir. İlave olarak, bu yeni uzaylarda sınıflama algoritmalarının daha performanslı çalıştığını göstermek amacıyla, *k*-NN, en yakın merkez ve LVQ gibi örnek temelli (instance-based) sınıflama algoritmaları çalıştırılmış ve bu algoritmaların kanser türlerini tespit etmede orijinal uzaydaki performanslarına göre yaklaşık %30'a kadar performanslarının arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Kanser Sınıflandırma, Metrik Öğrenmesi, Mikro Dizi Gen Verisi, Örnek Temelli Sınıflama*

Classifying Microarray Gene Data of Various Cancerous Tissues Using Metric Learning

ABSTRACT

Due to the heterogeneous structure of cancerous tissues, they have several subclasses. Unless the subclasses are detected, the cancer treatment cannot be carried out accurately. With the advent of microarray gene technology and data science technology, employing machine learning methods that use the microarray gene expression data of the cancerous tissues for classifying the cancer subclasses has gained an increasing popularity. However, as there exists one feature for each gene, the issue of the curse of dimensionality arises. In the present study, the microarray gene expression data of various cancer types were transferred to some dimensionality reduced spaces by the means of three metric learning methods: LMNN, ITML and NCA. As a result, the instances of the same classes come closer in the reduced space; while those from different classes locate far from each other, which is different from the conventional dimensionality reduction methods, such as PCA, do. To verify this, dimensionality reduced spaces created by the t-SNE method were monitored. Additionally, to show that the classification algorithms perform better in such new spaces, instance-based classifiers, e.g. *k*-NN, the nearest mean classifier and the LVQ, were built and then it was observed that the performances of the classifiers increased up to 30% in comparison with their performances in the original space.

Keywords: *Cancer Classification, Metric Learning, Microarray Gene Expressions, Instance-based Classification*

I. GİRİŞ

Dünyada en fazla ölüme yol açan hastalıklar içerisinde ilk sıralarda yer alan kanserin tedavisinde, kanser tanısı almış kişiye en uygun tedavi programının uygulanabilmesi için tespit edilen kanserin alt türünü de doğru olarak tespit edebilmek gerekir [1]. Çünkü kanserli dokular genelde oldukça heterojen yapılara sahiptirler; bu yüzden her bir doku türünün tedaviye vereceği cevap birbirinden farklı olmaktadır. Öte yandan, klasik patolojik testlere ek olarak kanserli hücelere karşılık gelen gen ifadelerine ait verilerin yapay zeka/makine öğrenmesi metotları ile sınıflandırılmasının önemi veri depolama, veri işleme ve biyoteknoloji alanındaki gelişmelere paralel olarak giderek artmaktadır [1,2]. Hatta bu yöntem, subjektif görüşlerden uzak, otomatik ve standart olması bakımından konvansiyonel kanser sınıflandırması yöntemlerine göre daha sık kullanılmaktadır [2].

Tek bir mikro dizi deneyinde binlerce hatta on binlerce gen aynı anda analiz edildiğinden, mikro dizi gen verileri çok yüksek boyutludur. Makine öğrenmesi bakımından bu, şu problemleri ortaya çıkarır: yüksek boyutlu uzaylarda örnekler birbirinden uzaklaşır, uzaklık-yakınlık kavramları bulanıklaşır; böylece sınıflandırma algoritmalarının başarıları ciddi anlamda azalmaya başlar [3]. Literatürde mikro dizi gen verilerinin boyutunu veri madenciliği/makine öğrenmesi alanındaki alışlagelmiş özellik seçimi yöntemleri ile azaltma çalışmaları mevcuttur [3,4,5]. Fakat bu çalışmalar genelde ya filtreleme temelli olup, her defasında yalnızca bir adet geni (özellik) diğer özelliklerden bağımsız olarak ele alır; ya da sarmalama (wrapping) temelli olup özellik kümelerini bir arada ele alarak bu kümeler üzerine kurulan sınıflayıcıların performansından etkilenir. Burada, özellik yani gen seçiminin kullanılan sınıflama algoritmasına bağlı olmasına neden olur [4].

Bir makine öğrenmesi dalı olan “*metrik öğrenmesi*” eldeki veriye özel olarak birbirine anlamsal olarak benzer olan veri örneklerini bir araya getirirken, farklı örnekleri birbirinden uzakta tutmaya çalışan uzaklık metriği öğrenmeye çalışır [6]. Öğrenilen bu metrik, hem boyut azaltma (dimensionality reduction) anlamında, hem de direkt bir sınıflama ya da gruplama algoritması içerisinde kullanarak faydalanılabilir; böylece bu algoritmaların performansı gözle görülür şekilde artmaya başlar.

Bu çalışmada farklı kanser türlerine ait mikro dizi gen verilerinin boyutunun klasik filtreleme ve sarmalama özellik seçimi yöntemlerinden farklı olarak metrik öğrenmesi metotları yardımıyla azaltılması, indirgenmiş boyutlu uzaylarda makine öğrenmesi sınıflama algoritmaları kullanarak ilgililenen kanserlerin alt türlerini tahmin edilmesi çalışılmıştır. Burada metrik öğrenmesi ile elde edilen temel kazanç, boyutu indirgenmiş uzayda aynı sınıfa (aynı kanser alt türüne) ait örneklerin birbirine yakın olması; öte yandan farklı sınıflara ait örneklerin birbirine uzak olmasıdır. Bu, klasik özellik seçimi yöntemlerinin sağlayamayacağı bir avantajdır. Ayrıca sarmalama yönteminin aksine, boyut azaltımı için metrik öğrenmesinin kullanılması, boyut azaltımının herhangi bir sınıflayıcıya bağlı olmasını da engeller. Böylece boyutun azaldığı ve sınıfların birbirinden ayrıldığı uzayda, makine öğrenmesi uygulayıcısı tercih ettiği herhangi bir sınıflama algoritmasını kullanabilir. Yinede bu çalışmada sınıfların birbirinden ayrı olmasına ihtiyaç duyan k -en yakın komşu, LVQ gibi örnek temelli (instance-based) sınıflama algoritmaları, metrik öğrenmesiyle boyutu azaltılmış uzayda kullanılmış, bu algoritmaların sahip olduğu başarıların ciddi oranda (%30’a kadar) arttığı gözlenmiştir.

Makalenin geri kalanında, önce kanser mikro dizi gen verilerinin sınıflandırılması ve bu verilerin boyutlarının azaltılması ile ilgili benzer çalışmaları içeren literatür taraması bölümü verilmiştir. Bölüm 3’te metrik öğrenmesi ile ilgili genel bilgilerden ve bu çalışmada kullanılan metrik öğrenmesi metotlarından bahsedilmiştir. Bölüm 4’te ise üzerinde çalışılan mikro dizi kanser gen veri setlerinin bilgileri ve ilgililenen metrik öğrenmesi metotlarının bu veri setleri üzerindeki uygulamalarının sonuçları verilmiştir. Bölüm 5 ile çalışma özetelenerek ortaya konulan sonuçlar sunulmuştur.

II. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Ekim 1990’da başlayıp, Nisan 2003’te sonlanan İnsan Genom Projesi (Human Genome Project) insan ırkına ait bütün genetik izleri ortaya çıkarmaya çalışmış, bu anlamda yaklaşık 21,000 genden oluşan

insan genomunu elde etmiştir. Böylece insan genomuna ait tüm DNA dizileri açığa çıkmıştır. Buna paralel olarak, gelişen mikro dizi teknolojisiyle mikroskopik (çapı 250 mikrondan az) DNA spotları cam ya da silikon bir çip üzerine sistematik bir şekilde dizilerek DNA mikro dizi oluşturulabilmiş, bu sayede hem binlerce genin ifadesi ölçülebilmüş, hemde bu genlerin birbirleriyle etkileşimini anlayabilmek mümkün hale gelmiştir [7]. Bu şekilde ortaya çıkan mikro dizi gen verileri makine öğrenmesi dahil birçok farklı disiplin tarafından çalışılmaya başlanmıştır [7,8].

Çeşitli kanser dokularına ait mikro dizi gen verilerini makine öğrenmesi/veri madenciliği alanlarına ait gruplama (clustering) algoritmalarıyla anlamakla ve sınıflama (classification) algoritmalarıyla kanser alt türlerini tahmin etmekle ilgili çalışmalar İnsan Genom Projesi ile birlikte başlamış ve günümüze kadar kesintisiz olarak gelmiştir [8,4]. Dahası, son yıllardaki veri depolama ve veri işleme teknolojilerindeki ilerleme ve bollaşma sayesinde bu çalışmalar her zamankinden daha popüler hale gelmiştir.

Ulusal ve uluslararası birçok çalışmada, farklı kanser türleri, makine öğrenmesinin sınıflama algoritmalarının bu kanserli dokulara ait mikro dizi gen verileri ile eğitilmesiyle sınıflandırılmıştır. Örneğin Kılıçarslan ve ark. [8] Destek Vektör Makineleri ve k -en yakın komşu algoritmalarını prostat kanserine ait mikro dizi gen verileri ile eğiterek prostat kanserini sınıflamaya çalışmış; Haznedar ve ark., [9] ise Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS) ve Genetik Algoritma (GA) algoritmalarını birleştirerek oluşturdukları hibrit algoritma ile karaciğer kanserinin alt türlerini sınıflandırmaya çalışmıştır. Uluslararası çapta ise öne çıkan çalışmalardan biri Dwivedi [2] 'nin yapay sinir ağlarını lösemili dokulardan alınmış mikro dizi gen verileri üzerinde eğiterek löseminin iki türü olan akut lenfoblastik lösemi ile akut miyeloid lösemiye efektif olarak ayırıştırmasıdır. Yine çok yakın bir zamanda Morais-Rodrigues ve ark. [10], meme kanseri hastalarından toplanmış mikro dizi gen verileri ile lojistik regresyon sınıflayıcısını eğitmiş, bu sayede %80'den fazla başarı ile meme kanserinin alt türlerini tahmin edebilmiştir.

Giriş bölümünde de değinildiği gibi, mikro dizi gen verileri kanserle ilişkili ya da ilişkisiz binlerce gene ait bilgiyi tutarlar. Bu, makine öğrenmesi bakımından binlerce özellik (öznitelik-feature) anlamına gelir; bu da kanserli doku örneklerine karşılık gelen özellik vektörlerinin boyutlarının binlerle ifade edilmesine neden olur. Aşırı uyum (overfitting) ile birlikte makine öğrenmesinin en önemli sorunlarından biri olan yüksek boyut problemi ortaya çıkar. Bu nedenle, mikro dizi gen verilerini kullanarak kanser sınıflandırması çalışmaları kadar, literatürde bu verilerin boyutunu azaltma (dimensionality reduction) ile ilgili çalışmalar da aktif bir çalışma alanıdır. Örneğin Yıldız ve ark. [11], Fisher korelasyon analizi, t-Skor ve Welch'in t-istatistiği özellik filtreleme yöntemlerini ayrı ayrı kullanarak, her bir yöntem ile 100 adet gen seçmiş, daha sonra bu genleri birleştirerek oluşturduğu özellik vektörleri ile bir SVM sınıflayıcısını eğiterek meme kanserini sınıflandırmaya çalışmıştır. Bununla birlikte sarmalama (wrapping) yöntemi ile de kanser ile ilgili genlerin alt kümelerinin seçimi yaygındır [12]. Sarmalama yöntemi özellikleri (genleri) birer birer değil alt kümeler halinde birlikte ele aldığından özellikler (genler) arasındaki etkileşimi de dikkate almış olur. Bu haliyle filtreleme yöntemlerine göre daha gelişmiş sayılabilirken; özelliklerin bütün alt kümelerini incelemesi bakımından hesaplama anlamında pahalı, hemde ele aldığı alt küme üzerinde bir sınıflandırıcı eğiterek bu alt kümenin işe yararlılığını test ettiğinden, ortaya çıkan sonuç kullanılan sınıflandırma algoritmasına bağımlı olur. Yinede hem filtreleme hemde sarmalama yöntemleri kanserle ilişkili genlerin seçimi için aktif olarak kullanılmaya devam etmektedir. İlgili okuyuculara kanser sınıflandırma amacı için gen seçimi çalışmalarını derleyen [3] ve [4] kaynakları tavsiye edilir.

III. METRİK ÖĞRENMESİ

Metrik öğrenmesi, ya da uzaklık metrik öğrenmesi, makine öğrenmesi alanında verilen bir göreve özel olarak veriden bir uzaklık metriği öğrenmeyi amaçlar [5, 15]. Öğrenilen bu metrik, anlamsal olarak yakın örnekler arası uzaklığı az, anlamsal olarak uzak olan örnekler arası uzaklığı fazla ölçer. Burada bahsedilen anlamsal olarak yakınlık kavramı verilen göreve göre değişkenlik gösterir. Örneğin bir

sınıflandırma probleminde aynı sınıfa ait örnekler anlamsal olarak yakın olarak düşünülür; şu halde bir sınıflandırma problemi için öğrenilen bir metrik aynı sınıflara ait örnekler arası uzaklığı az, farklı sınıflara ait örnekler arası uzaklıkları fazla olarak ölçmesi beklenir.

Yukarıda verilen örnek, metrik öğrenmesinin denetimli (supervised) öğrenmedeki kullanımına bir örnektir. Metrik öğrenmesi aynı zamanda denetimsiz (unsupervised) öğrenmede de kendine sıkça kullanım alanları bulur [13]. Örneğin bir gruplama (clustering) probleminde, belirli örnek çiftlerinin aynı grup içerisinde olması ya da olmaması bilgisi ön bilgi olarak verilebilir. Bu durumda, gruplama algoritmasında kullanılacak metriğin, beraber olması şartı koşulan örnekleri aynı gruba düşürebilmesi için bu çiftler arasındaki uzaklığı minimum seviyede ölçerken, farklı gruplara düşmesi istenilen örnek çiftleri arası uzaklığı maksimum seviyede hesaplar. Böylece, metrik öğrenmesi yalnızca sınıf (etiket) bilgisini değil aynı zamanda hangi örnek çiftlerinin bir arada bulunması ya da bulunmaması şeklinde verilen zayıf bir denetim bilgisini dahi öğrenebilir. Bu, metrik öğrenmesinin temel avantajıdır [13,14].

Hem denetimli hemde denetimsiz makine öğrenmesi problemlerinde kullanılabildiğinden, metrik öğrenmesinin kullanım alanı oldukça geniştir. Bu alanlar içerisindeki en önemli kullanım alanlarından biri bilgisayarlı görme (computer vision)'dir [6]. Özellikle görsel sınıflandırma (image classification), yüz tanıma (face recognition), kişilerin poz tahmini (human pose estimation) gibi problemlerde metrik öğrenmesi başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [15]. Ayrıca yapısal ve yapısal olmayan metinlerin analizinde ve sınıflandırılmasında metrik öğrenmesi gruplama ve sınıflandırma görevleri için başarılı sonuçlar vermektedir [15]. Bu iki kullanım alanına ek olarak, son yıllarda mikro dizi teknolojisinin gösterdiği gelişme ile birlikte bir dokuya ait binlerce hatta onbinlerce genin DNA ifadesinin ölçümlerinin kolaylaşmıştır. Aynı zamanda bulut bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemeye paralel olarak DNA ölçümlerinin saklanması ve işlenmesi çok daha mümkün hale gelmiştir ve böylece metrik öğrenmesi doku örneklerinin içerdiği hastalıklara göre sınıflandırılmasında önemli rol oynamaya başlamıştır [6]. Bu çalışma da bu yönde olup, farklı kanser türlerinin alt türlerini metrik öğrenmesinin mikro dizi gen ifadelerine uygulanmasıyla sınıflandırmaya çalışmaktadır.

Metrik öğrenmesinin iki temel amacı vardır: *i*) örnek temelli (instance based) ya da hafıza temelli (memory based) olarak adlandırılan, test örneklerini eğitim setindeki örneklerle kıyaslayarak modelleme yapan makine öğrenmesi algoritmalarına (örneğin *k*-en yakın komşu, anomali algoritmaları) eklenerek bu algoritmaların çok daha başarılı olmalarını sağlamak, *ii*) doğrusal diskriminant analizi (linear discriminant analysis) gibi denetimli bir şekilde boyut azaltımı (dimensionality reduction) yapmak [14]. Bu çalışmada metrik öğrenmesi mikro dizi gen verileri üzerinde her iki amaç için kullanılmıştır.

Kulis [6] metrik öğrenmesini informal olarak şu şekilde formülize etmiştir. Metrik öğrenmesi, \mathbf{x}_i ve \mathbf{x}_j örnekleri için verilen bir uzaklık $u(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ fonksiyonunu (örneğin öklid uzaklığını) ve bu örnekler için verilen benzerlik ve benzemezlik bilgilerini kullanarak yeni bir uzaklık fonksiyonu tanımlar. Öyleki bu yeni uzaklık fonksiyonun, orjinale göre benzer çiftleri daha yakın, ayrı çiftleri ise daha uzak ölçmesi gerekmektedir. Daha formal olarak, \mathbf{x}_i ve \mathbf{x}_j elementleri reel sayılar olan d boyutlu birer vektör olmak üzere (yani $\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j \in \mathbb{R}^d$ iken) metrik öğrenmesi bir $M \in \mathbb{R}^{d \times d}$ pozitif yarı tanımlı (öz değerleri negatif olmayan) matrisini öğrenmeyi amaçlar öyleki, burada M aşağıdaki şekilde tanımlanan Mahalanobis uzaklığının parametresidir:

$$u_M(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \sqrt{(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)^T M (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j)} \quad (1)$$

Eğer M matrisi birim matris olarak alınırsa, (1)'de tanımlanan Mahalanobis uzaklığı sıkça kullanılan öklid uzaklığına dönüşür. Ayrıca $r \leq d$ pozitif tam sayısı M matrisinin rankı olmak üzere, M matrisini $M = P^T P$ ($P \in \mathbb{R}^{r \times d}$) şeklinde ayrıştırarak (1)'de tanımlanan Mahalanobis uzaklığını, aşağıdaki şekilde de tanımlanabilir:

$$u_P(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \sqrt{(P\mathbf{x}_i - P\mathbf{x}_j)^T (P\mathbf{x}_i - P\mathbf{x}_j)} \quad (2)$$

(2)'de dikkat edilmesi gereken nokta orjinal \mathbb{R}^d uzayında yer alan tüm $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^d$ örneklerinin $P\mathbf{x} \in \mathbb{R}^r$ boyutu azaltılmış uzayına transfer edilmesi, ve bu uzayda klasik öklid uzaklığının hesaplanmaya çalışılmasıdır. Böylece metrik öğrenmesi problemi, orjinal uzayda yer alan örnekleri daha küçük boyutlu uzaylara transfer etme problemine dönüşmüş olur. Bu şekilde hem boyut azaltımı sağlanmış, hemde transfer edilen uzayda birbirine yakın (uzak) olması gerek örnekler daha yakın (uzak) olmuş olur. Ayrıca şu not edilmelidir ki bir $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^d$ örneğini, $P\mathbf{x} \in \mathbb{R}^r$ 'e dönüştürmek lineer bir dönüşümdür. Daha genel olması bakımından, bu çalışmada lineer dönüşümleri dikkate alınmaktadır. Bundan başka, örnekleri önce lineer olmayan (nonlinear) bir dönüşümle dönüştürüp ardından bir lineer öğrenme uygulayan metrik öğrenme çalışmaları da mevcuttur [15].

Aşağıda metrik öğrenme alanında en sık kullanılan üç (lineer) metot kısaca açıklanmıştır. Bu üç metodun motivasyonları farklı olsa da, üçünün ortak noktası (1)'deki M matrisini hesaplamalarıdır. Ayrıca bu üç metot ilgilenilen mikro dizi gen veri setleri üzerine uygulanmış ve deneyler bölümünde sonuçları paylaşılmıştır.

A. BAZI ÖNEMLİ METRİK ÖĞRENMESİ METOTLARI

A. 1. Large-Margin Nearest Neighbors (LMNN)

Geniş Marjlinli En Yakın Komşu (Large-Margin Nearest Neighbors (LMNN) [16]) metodu, metrik öğrenmesinde en sık kullanılan metotlardan biridir, ve birçok varyantı bulunur [6]. Özünde LMNN'nin amacı çok açıktır: aynı sınıfa (etikete) ait örnekleri birbirine yakın hale getirmek; farklı sınıflara ait örnekleri birbirinden uzaklaştırmak. LMNN, bu amaçla aşağıdaki amaç fonksiyonunu tanımlar ve bu fonksiyonu minimize edecek M matrisini hesaplamaya çalışır:

$$\min_{M \geq 0} \sum_{(i,j) \in B} u_M(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) + \lambda \sum_{(i,j,k) \in R} [1 + u_M(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) - u_M(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_k)]_+ \quad (3)$$

Burada B kümesi aynı sınıfta yer alan örnek çiftlerinin kümesini, R kümesinin elemanı olan (i, j, k) üçlüsü \mathbf{x}_i ve \mathbf{x}_j örneklerinin aynı sınıfta olduğunu, \mathbf{x}_k örneğinin \mathbf{x}_i ve \mathbf{x}_j 'nin sınıfından farklı bir sınıfta olduğunu; ve λ kullanıcı tarafından girilen regülarizasyon parametresini göstermektedir.

Ayrıca burada $[]_+$ ile gösterilen terim menteşe kaybı (hinge loss) olarak adlandırılan bir kayıp türüdür; $[z]_+ = \max\{0, z\}$ olarak tanımlanır. Bu amaç fonksiyonu konvektir; ve artık değişkenler (slack variables) yardımıyla bir yarı tanımlı programlama (semidefinite programming) problemine dönüştürülerek lokal minimum noktalarından etkilenmeyecek şekilde çözülür [16].

A. 2. Neighborhood Component Analysis (NCA)

Komşuluk Bileşen Analizinde (Neighborhood Component Analysis (NCA)) [17] amaç, eğitim setindeki her örneğin kendi sınıfındaki diğer örneklerle komşu olabilme olasılığını artırmaktır. Bu anlamda, aynı sınıfta olduğu varsayılan \mathbf{x}_i ve \mathbf{x}_j örneklerinin birbirlerine komşu olma olasılığı:

$$p_{i,j} = \frac{\exp(-u_M(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j))}{\sum_{k \neq i} \exp(-u_M(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_k))} \quad (4)$$

C_i, i ile aynı sınıfta olan örneklerin kümesini göstermek üzere, NCA'nın maximize etmeye çalıştığı amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$\max_{M \geq 0} \sum_i \sum_{j \in C_i, j \neq i} p_{i,j} \quad (5)$$

Dikkat edilirse (5) herhangi bir regülarizasyon terimi içermez, ve (3) 'ün aksine konveks değildir. Bu yüzden (5) fonksiyonu, M matrisi $M = P^T P$ şeklinde ayrıştırılıp P ye bağlı olarak dereceli azalma (gradient descent) yardımıyla çözülür [17].

A. 3. Information Theoretic Metric Learning (ITML)

Enformasyon teoretik metrik öğrenmesi (Information Theoretic Metric Learning (ITML)) [18] aşağıda gösterilen amaç fonksiyonunu minimize etmeyi amaçlar:

$$\begin{aligned} \max_{M \geq 0} \quad & iz(M) - \log \det(M), \\ \text{öyleki, } & u_M(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) < s, (\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) \in B \\ & u_M(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) \geq t, (\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) \in F \end{aligned} \quad (6)$$

Burada s kullanıcı tarafından belirlenen yeterince küçük bir sayı; t ise yine kullanıcı tarafından belirlenen yeterince büyük bir reel sayıdır. İlaveten, F kümesi birbirinden uzakta olması istenilen örnek çiftlerinin kümesi (bu çiftler farklı sınıflara ait örneklerden oluşabilir); B kümesi birbirine yakın olması istenilen örnek çiftlerinin kümesidir. $iz(M)$, M matrisinin izi (trace); $\log \det(M)$, ise M matrisinin determinantının logaritmasıdır.

ITML'nin amaç fonksiyonu, LMNN'de olduğu gibi artık değişkenler (slack variables) yardımıyla bir sınırsız (unconstrained) optimizasyon problemi haline getirilir ve Bregman projeksiyonuyla çözülür [18].

Görülüyor ki özünde üç metrik öğrenmesinin de motivasyonu aynıdır: beraber olması düşünülen örnekler çiftlerini beraber, uzak olması düşünülen örnek çiftlerini uzak hale getirmek. Bu metriklerin ayrıştıktıkları nokta tanımladıkları amaç fonksiyonunun yapısı ve bu fonksiyonların çözülme biçimidir. Doğal olarak bu fonksiyonların çözülebilmesi için gereken çalışma zamanı da metriktan metriğe değişkenlik göstermektedir.

IV. UYGULAMA

Bu bölümde, bir önceki bölümde anlatılan metrik öğrenmesi metotları çeşitli türden kanser dokularından alınan örneklerle ait mikro dizi gen verileri üzerine uygulanmıştır. Bu veri setlerine ait istatistikler Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre çalışılan kanser türleri, meme kanseri, Çocukluk Çağı Beyin Tümörü (ÇÇBT), lösemi, lenfoma ve Küçük Yuvarlak Mavi Hücreli Tümör (KYMHT)'dir. Ayrıca alt tür sayısı, kanserin kaç farklı alt türü olduğunu (makine öğrenmesi dilinde sınıf sayısını) vermektedir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan mikro dizi gen veri setleri

Veri Seti	Kanser Türü	Örnek Say.	Gen Say.	Alt Tür Sayısı
Gravier [19]	Meme Kanseri	168	2905	2
Sorlie [20]	Meme Kanseri	85	456	5
Pomeroy [21]	ÇÇBT	60	7128	2
Golub [22]	Lösemi	72	7129	2
Shipp [23]	Lenfoma	77	6817	2
Khan [24]	KYMHT	63	2308	4

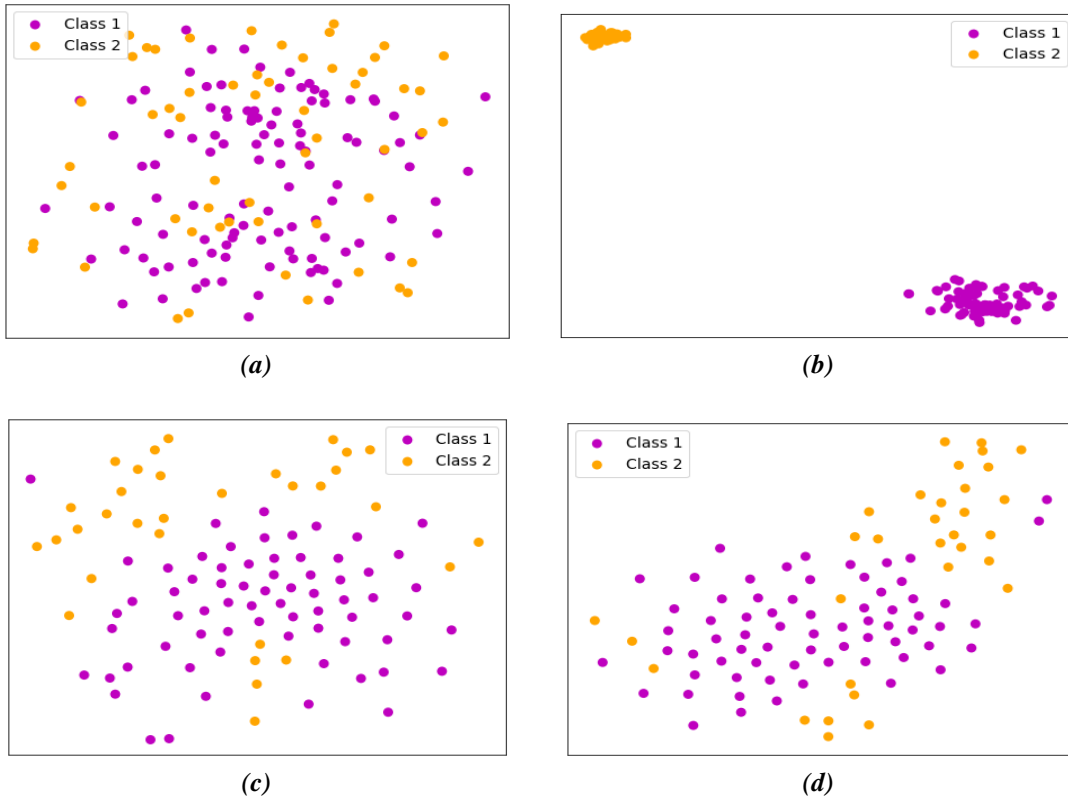
Hatırlanırsa, metrik öğrenmesinin denetimli boyut azaltma ve örnek temelli (instance-based) sınıflandırma algoritmalarına ön hazırlık oluşturma gibi iki önemli amacı olduğunu belirtilmişti. Bu

çalışmada, Tablo 1'de detayları verilen kanser veri setleri kullanılarak metrik öğrenmesinin bu iki amacı test edilmiştir.

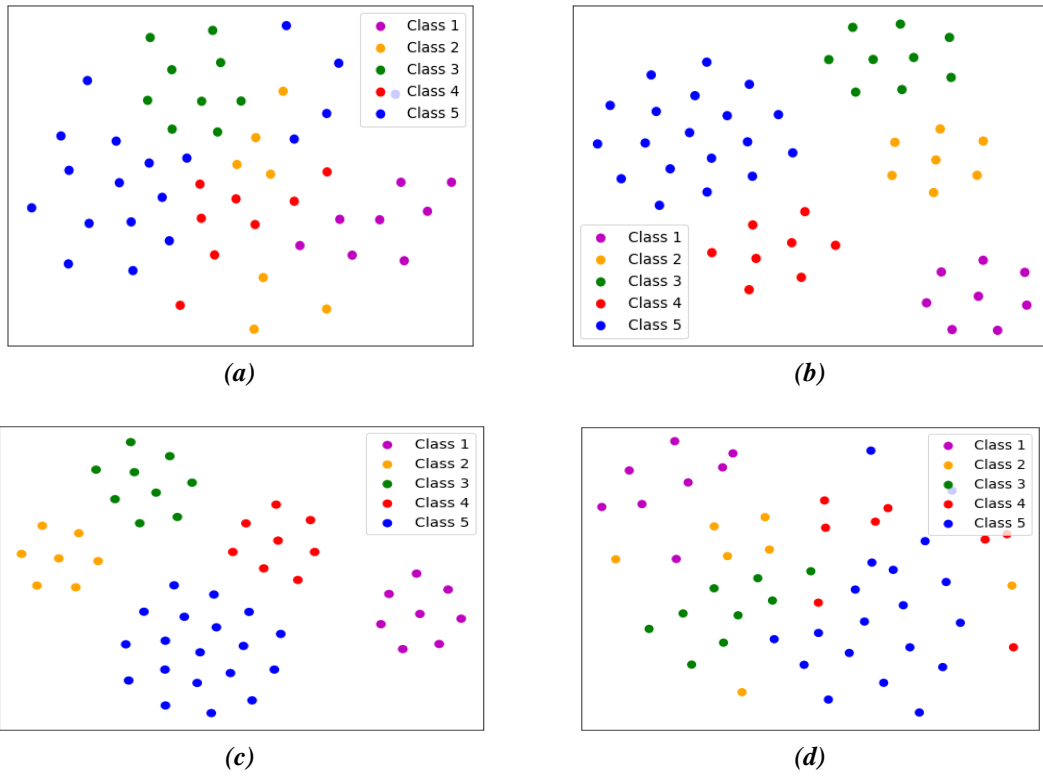
A. METRİK ÖĞRENMESİ İLE ÖZELLİK UZAYLARININ BOYUTUNU İNDİRGEME

Tablo 1’de görüldüğü gibi ilgilenilen kanser veri setleri farklı sayılarda gen içerdiğinden farklı boyutlara sahiptirler. Öyleki bu boyutlar 456 – 7129 aralığındadır. Eğer tüm veri setlerinin boyutu tek bir ortak boyuta indirgenirse, her veri setinin bozulma oranları farklı farklı olur, sınıflar birinde ayrışırken diğerinde ayrışmayabilir. Yinede, tüm veri setlerinde ortak bir boyut indirgeme prosedürü kullanmak adına bu çalışmada her veri setinin boyutu kullanılan metrik öğrenmesi metotlarıyla %30 azaltılmıştır. Bununla birlikte %20 - %80 bandında farklı indirgenme yüzdeleri de denenmiş; neredeyse tüm veri setleri için sınıflayıcıların sınıflandırma başarıları korunurken, en yüksek indirgenme yüzdesi %30 olarak tespit edilmiştir.

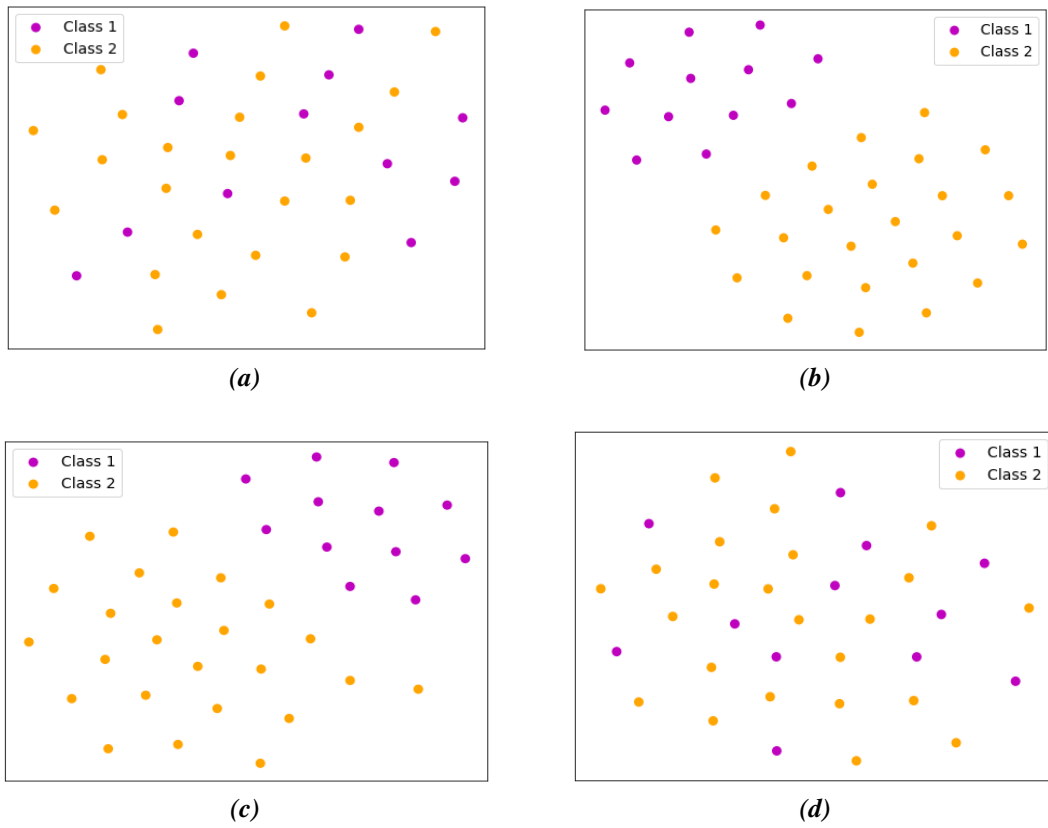
1, 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu şekiller metrik öğrenmesinin azaltılmış boyutlu uzaylarda sınıf içi varyansı azaltabildiğini, öte yandan sınıflar arası varyansı artırabildiğini göstermektedir. Burada, kullanılan metrik öğrenmesi sayesinde boyutu indirgenmiş uzayda sınıfların birbirinden ayrıştığını görebilmek için bu uzayların görüntüleri t-distributed stochastic neighbor embedding (t-SNE) [25] metodu ile verilmiştir. Kısaca bahsetmek gerekirse t-SNE, yüksek boyutlu verileri iki ya da üç boyutlu uzaylara indirgeyerek görselleştirebilmeyi sağlayan, temellerini stokastik komşu gömme metodundan alan popüler bir istatistiksel metottur. t-SNE’yi bu denli popüler yapan özelliği yüksek boyutlu orjinal uzaydaki uzaklık-yakınlık ilişkilerini düşük boyutlu uzayda da çoğunlukla koruyabilme başarısıdır.



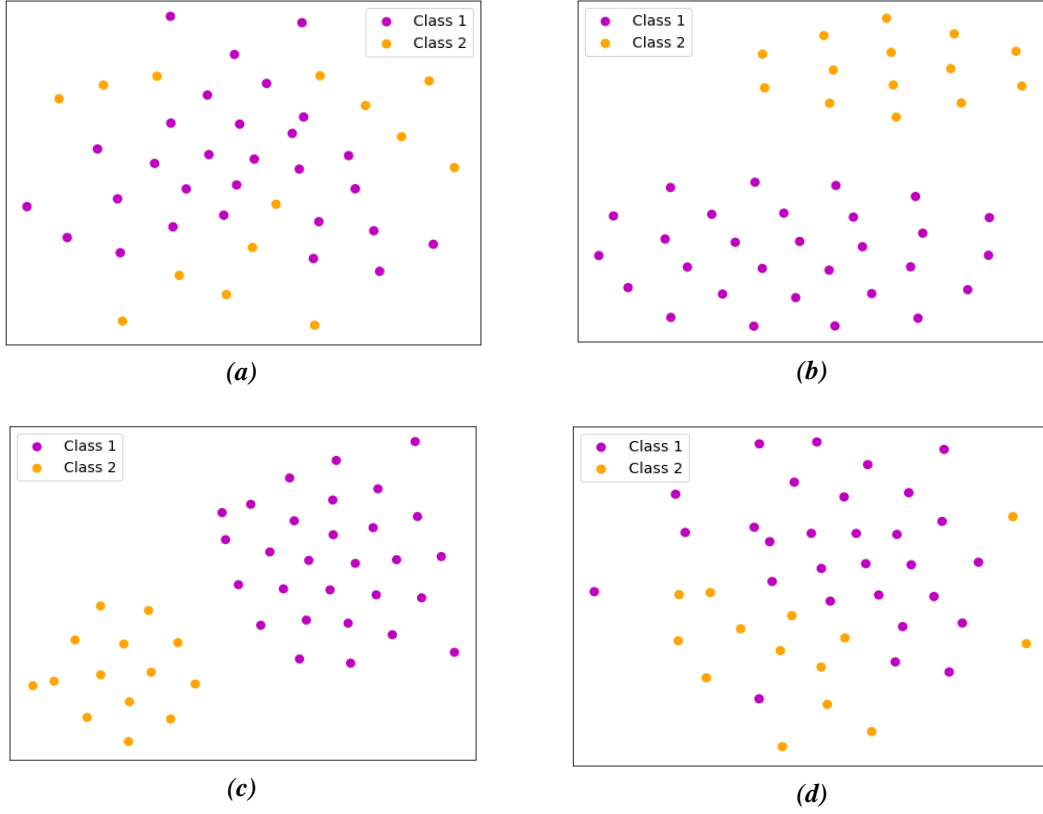
Şekil 1. Gravier [19] Meme Kanseri Veri Seti (a) Orjinal Uzay (b) LMNN ile oluşturulmuş uzay (c) ITML ile oluşturulmuş uzay (d) NCA ile oluşturulmuş uzay.



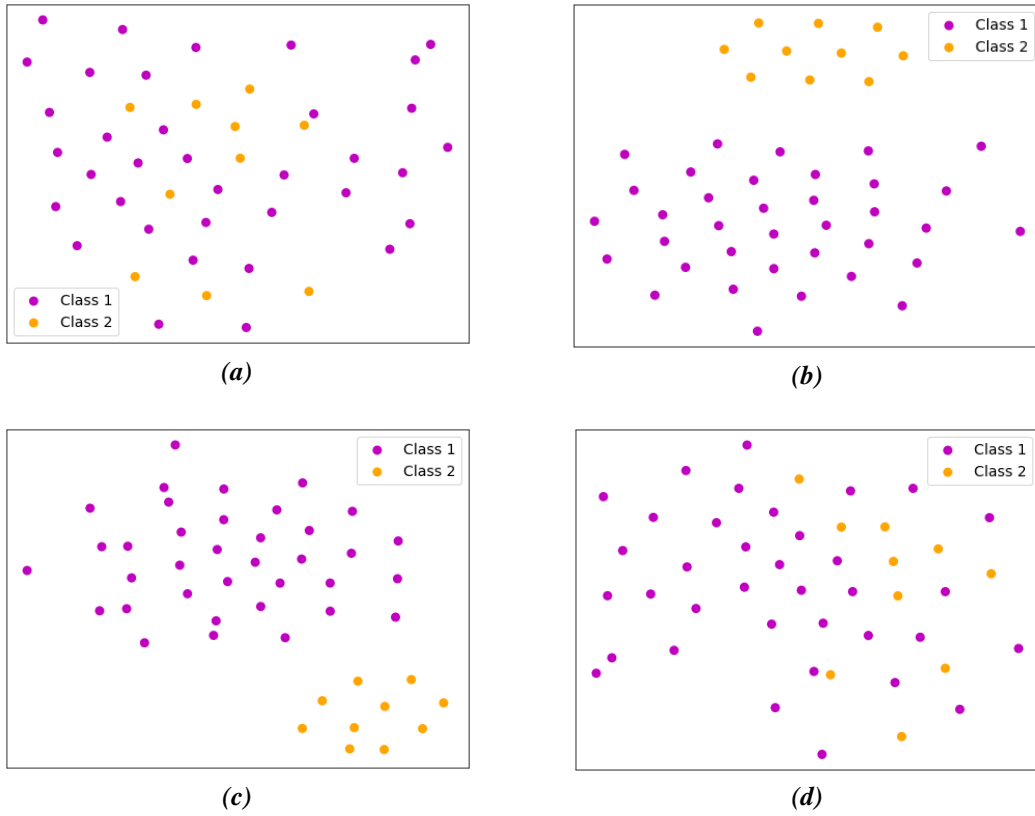
Şekil 2. Sorlie [20] Meme Kanseri Veri Seti (a) Orjinal Uza (b) LMNN ile oluşturulmuş uzay (c) ITML ile oluşturulmuş uzay (d) NCA ile oluşturulmuş uzay.



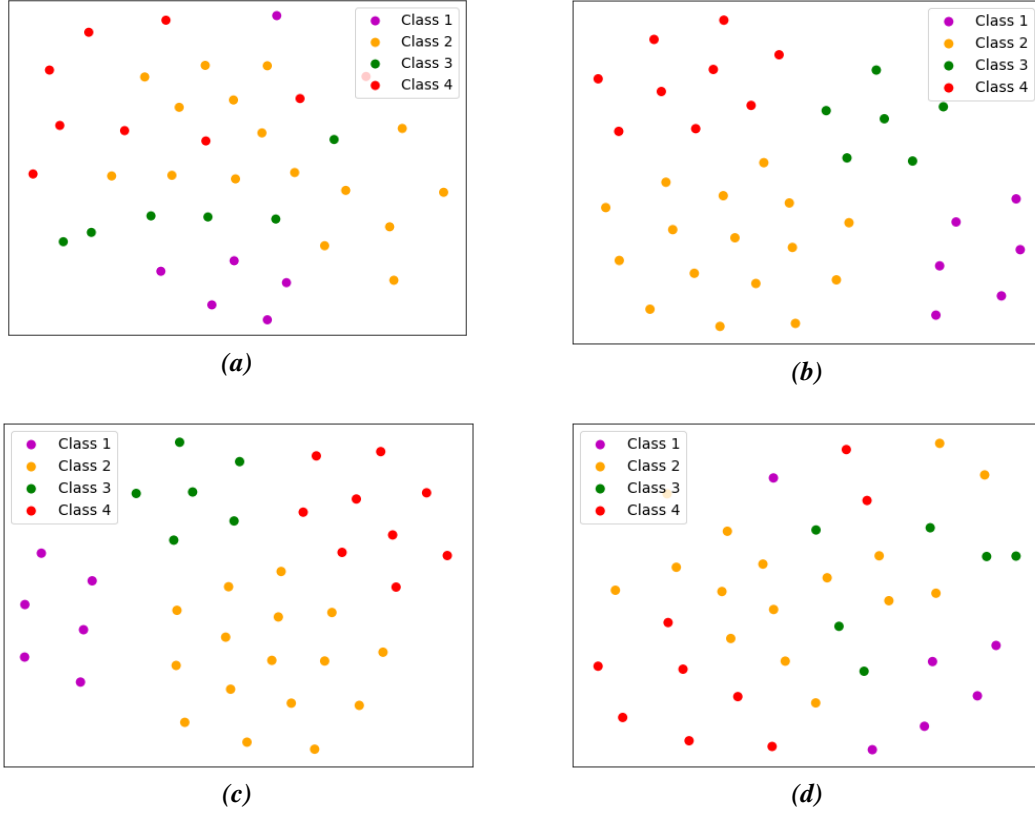
Şekil 3. Pomeroy [21] ÇÇHT Veri Seti (a) Orjinal Uzay (b) LMNN ile oluşturulmuş uzay (c) ITML ile oluşturulmuş uzay (d) NCA ile oluşturulmuş uzay.



Şekil 4. Golub [22] Lösemi Veri Seti (a) Orjinal Uzay (b) LMNN ile oluşturulmuş uzay (c) ITML ile oluşturulmuş uzay (d) NCA ile oluşturulmuş uzay.



Şekil 5. Shipp [23] Lenfoma Veri Seti (a) Orjinal Uzay (b) LMNN ile oluşturulmuş uzay (c) ITML ile oluşturulmuş uzay (d) NCA ile oluşturulmuş uzay.



Şekil 6. Khan [24] KYMHT Veri Seti (a) Orjinal Uzay (b) LMNN ile oluşturulmuş uzay (c) ITML ile oluşturulmuş uzay (d) NCA ile oluşturulmuş uzay.

t-SNE [25] yardımıyla görüntülenen uzaylarda görülüyor ki metrik öğrenmesi ile oluşmuş uzaylarda sınıflar birbirinden lineer olarak ayrılabilir haldedir. Bu, incelenen altı veri seti için de geçerlidir. Böylece örnek temelli sınıflandırma algoritmalarının bu şekilde oluşmuş uzaylarda orjinal uzaya göre çok daha başarılı olması beklenir. Bu, bir sonraki bölümde test edilmiştir.

İncelenen üç metrik öğrenmesini karşılaştırılırsa, LMNN'nin sınıfları birbirinden ayırtmada en başarılı metot olduğu yukarıda verilen şekillerden gözlemlenebilir. Gerçekten, incelenen 6 veri seti için LMNN sınıfları ayırmada başarılı olmuştur. Bu anlamda LMNN'yi ITML metodu takip etmiş, Gravier [19] veri seti hariç diğer veri setlerinde sınıfları ayırtabilmiştir. En son olarak NCA'nın da Golub [22] ve Shipp [23] veri setlerinde ayrı sınıflara ait örnekleri birbirinden uzaklaştırmada başarılı olduğu söylenebilir.

B. İNDİRGENMİŞ BOYUTLU UZAYLARDA ÖRNEK TEMELLİ SINIFLANDIRMA

Uygulamanın ikinci kısmında, bahsedilen metrik öğrenmesi metotlarını kullanarak oluşturulan indirgenmiş boyutlu uzaylarda örnek temelli (instance-based) sınıflandırma yapılmıştır. Yapılan sınıflandırmaların başarısı orjinal uzayda yapılan sınıflandırmalar ile kıyaslanmıştır. Bunun için örnek temelli üç sınıflandırma algoritması kullanılmıştır: k -en yakın komşu olarak bilinen k -Nearest Neighbor (kNN), En Yakın Merkez Sınıflandırıcı (nearest centroid classifier) (EYMS) ve vektör niceleme olarak da çevrilen Learning Vector Quantization (LVQ) [26]. Bu sınıflandırma algoritmalarının ilgililenen gen veri setleri üzerine olan sonuçları verilmeden önce, B.1. başlığında bu algoritmalar kısaca anlatılmıştır.

B.1 Kullanılan Sınıflandırma Algoritmaları

k -en yakın komşu sınıflayıcısı (k -NN), her bir test örneğini kendine en yakın k adet eğitim örneğinde en sık görülen sınıfa eşler. Formal olarak $\mathcal{Y} = \{1, \dots, n\}$ kümesi, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^d$ örneklerinin ait oldukları sınıfları göstermek üzere, eğitim setinde olmayan bir \mathbf{x}_i test örneği (7)'ye göre sınıflandırılır:

$$\operatorname{argmax}_{y_j \in \mathcal{Y}} \frac{1}{k} \sum_{x_i \in \mathcal{A}} I(y_j = y) \quad (7)$$

Burada \mathcal{A} kümesi, test örneği olan x_i örneğine öklid uzaklığı kullanılarak bulunan en yakın k adet komşunun kümesi; I ise aldığı değer doğru olunca 1'e; değilse 0'a giden indikatör fonksiyonudur.

EYMS olarak kısaltılan en yakın merkez sınıflayıcısı, test örneğini en yakınındaki merkezin ait olduğu sınıfa eşler. Genel olarak sınıfların merkezi, her özelliğin (boyutun) her sınıfta aldığı değerlerin ortalaması alınarak tahmin edilir. Formal olarak, $\mu_1, \dots, \mu_n \in \mathbb{R}^d$ sınıf merkezleri olmak üzere, EYMS (8)'e göre, bir x_i test örneğini sınıflandırır:

$$\operatorname{argmin}_{y_j \in \mathcal{Y}} u(x_i, \mu_{y_j}) \quad (8)$$

Burada u öklid uzaklığı gibi bir uzaklık fonksiyonudur.

LVQ algoritması EYMS'deki gibi her sınıf için özelliklerin her sınıfta aldığı değerlerin ortalaması alınarak bir başlangıç merkezi oluşturur, daha sonra aşağıda detayları verilen algoritma ile bu merkezlerin tahminlerini iyileştirir. Kullanıcı tarafından önceden belirlenen iterasyon sayısı kadar (örneğin 1000) LVQ eğitim setindeki bütün örnekleri ele alır. Ele aldığı her bir eğitim örneği için bu örneğe en yakın sınıf merkezini bulur. Bu merkez, kendi sınıfının merkezi ise (9)'daki kurala göre bu merkezi kendine doğru çeker:

$$\mu_{y_j} := \mu_{y_j} + \text{öğrenme}_{oranı} \cdot (\mu_{y_j} - x_j) \quad (9)$$

μ_{y_j} burada x_j eğitim örneğine karşılık gelen sınıfın merkezidir. Farklı olarak, ilgilendiğimiz eğitim örneğine en yakın sınıfın merkezi kendi sınıfının merkezi değilse bu merkez, (10)'daki gibi eğitim örneğinden uzaklaştırılır:

$$\mu_{y_s} := \mu_{y_s} - \text{öğrenme}_{oranı} \cdot (\mu_{y_s} - x_j) \quad (10)$$

μ_{y_s} , x_j eğitim örneğine en yakın sınıf merkezini göstermektedir. Yukarıda (9) ve (10) da görülen denklemlerde $\text{öğrenme}_{oranı}$ öğrenme oranı (learning rate) dir. Bu, her iterasyonda merkeze yaklaşmanın ya da merkezden uzaklaşmanın miktarını belirler. Kullanıcı tarafından karar verilen bu parametre için genel yaklaşım her iterasyonda miktarını azaltmaktır [26]. T toplam iterasyon sayısını ve α başlangıç öğrenme oranını (genelde 0.3 alınır) göstermek üzere, t . iterasyondaki öğrenme oranı (11)'deki gibi hesaplanır:

$$\text{öğrenme}_{oranı} = \alpha \cdot \left(1 - \left(\frac{t}{T}\right)\right) \quad (11)$$

B.2 Sınıflandırma Sonuçları

Yukarıda bahsedilen örnek temelli sınıflandırma algoritmalarının, Tablo 1'de detayları verilen çeşitli kanser türlerine ait mikro dizi gen veri setlerinin boyutlarının LMNN, ITML ve NCA metrik öğrenmesi metodlarıyla indirgenmiş uzaylarda uygulanmasıyla elde edilen kesinlik (accuracy) sonuçları aşağıda paylaşılmıştır. Şunu not etmekte fayda vardır ki: bu sınıflandırma algoritmaları orjinal halleriyle, öklid uzaklığı kullanarak, boyutu indirgenmiş uzaylarda kullanılmıştır. Bu şekilde elde edilen sonuçlar, metrik öğrenmesi uygulanmamış orjinal uzaylarda bahsi geçen algoritmaların elde ettiği sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Paylaşılan sonuçlar 10-katlı çapraz doğrulama (ten-fold cross validation) iterasyonlarından alınan sonuçların ortalamasıdır. Ek olarak, her veri setinde her sınıflandırma algoritması için her metrik

öğrenmesi metotunu, algoritmanın orjinal uzaydaki kullanımıyla (yani tablolardaki ilk sütun) ile kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırmalarda, tek taraflı t-testine göre istatistiksel olarak anlamlı bulunan farkları daha kalın olarak yazılarak istatistiksel anlamlılık belirtilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan mikro dizi gen veri setlerinin sınıflandırma kesinlik (accuracy) sonuçları

Veri Seti	Sınıflandırma Alg.	Orj. Uzay	LMNN	ITML	NCA
Gravier [19] (Meme K.)	<i>k</i> -NN	0.666	0.832	0.736	0.791
	EYMS	0.743	0.743	0.745	0.698
	LVQ	0.704	0.761	0.722	0.723
Sorlie [20] (Meme K.)	<i>k</i> -NN	0.749	0.863	0.872	0.801
	EYMS	0.873	0.881	0.877	0.916
	LVQ	0.941	0.939	0.945	0.946
Pomeroy [21] (ÇÇHT)	<i>k</i> -NN	0.633	0.676	0.619	0.626
	EYMS	0.771	0.736	0.645	0.771
	LVQ	0.581	0.676	0.594	0.691
Golub [22] (Lösemi)	<i>k</i> -NN	0.854	0.953	0.953	0.897
	EYMS	0.893	0.944	0.944	0.910
	LVQ	0.865	0.939	0.939	0.862
Shipp [23] (Lenfoma)	<i>k</i> -NN	0.941	0.994	0.994	0.941
	EYMS	0.841	0.947	0.946	0.836
	LVQ	0.754	0.992	0.992	0.754
Khan [23] (KYMHT)	<i>k</i> -NN	0.654	0.973	0.976	0.688
	EYMS	0.831	0.973	0.977	0.799
	LVQ	0.771	0.985	0.977	0.771

İlk bakışta Tablo 2 şunu ortaya koymaktadır ki farklı kanser türlerine ait mikro dizi gen veri setlerinde bir ön işlem olarak metrik öğrenmesi uygulamak kanserlerin alt türlerini belirlemek anlamında bir gelişme sağlamaktadır. O kadar ki, bu gelişme yaklaşık olarak %30'u bulabilmektedir. Bu sonuçlar Şekil 1-6 da görülen t-SNE yardımıyla görüntülenen boyutu indirgenmiş uzaylardaki görüntülerle uyumaktadır. Gerçekten, orjinal uzaylara göre metrik öğrenmesi yardımıyla oluşturulan uzaylarda sınıfların birbirinden ayrıldığı apaçık görülmektedir; bu da bu uzaylarda daha başarılı sınıflandırma yapabilmeyi sağlamaktadır. Bu nedenle Tablo 2 'de iyileştirilmiş sınıflandırma sonuçları görülmektedir.

Veri setleri ayrı ayrı ele alındığında metrik öğrenmesinin en fazla faydayı Khan [23] veri setinde elde ettiği görülmektedir. Orjinal uzayda uygulanan *k*-NN sınıflandırıcısının buradaki ortalama başarısı yaklaşık 0.65 iken, LMNN metrik öğrenmesi ile oluşturulmuş uzayda bu başarı 0.97'ye çıkmaktadır. Yine, bu uzayda EYMS sınıflayıcısının başarısı yaklaşık %14 artmıştır, LVQ algoritmasında ise %20 civarında bir ilerleme kaydedilmiştir. Sorlie [20] veri setinde *k*-NN sınıflayıcısı LMNN ile oluşturulmuş uzayda yaklaşık %12 daha başarılı iken, Shipp [23] veri setinde bu ilerleme %5 civarındadır.

İlgilenilen sınıflandırma algoritmaları *k*-NN, En Yakın Merkez Sınıflayıcısı (EYMS) ve LVQ algoritmaları kendi içinde kıyaslandığında, EYMS'nin az bir farkla da olsa diğer iki algoritmadan daha başarılı olduğu görülmektedir. Gerçekten, EYMS altı kanser veri setinin üçünde en yüksek kesinliği yakalamıştır. Aynı zamanda *k*-NN ve LVQ algoritmalarına göre hesaplama maliyeti çok daha az olması bakımından EYMS'nin mikro dizi kanser veri setleri için uygun bir sınıflayıcı olduğu söylenebilir. Hatta bu başarılı ve görece maliyetsiz sınıflayıcının performansı metrik öğrenmesi metotları ile %18'e kadar artırılabilir. Benzer şekilde Lenfoma ve KYMHT veri setleri dikkate alındığında LVQ algoritmasının başarısı da metrik öğrenmesi sayesinde %24'e kadar artmıştır.

Tablo 2'nin gösterdiği bir başka gerçeklik örnek temelli sınıflayıcıların kanser alt türünü tahmin etmedeki performanslarının farklı kanser türleri için farklı olduğudur. Örneğin *k*-NN'nin performansı %65 - %94 bandındadır. *k*-NN'nin en düşük sınıflandırma performansını elde ettiği Khan [23] veri setinin orjinal uzaydaki görüntüsü Şekil 6a'da görülmektedir. Bu şekilden basitçe görülmektedir ki,

neredeysi her bir eğitim örneğinin en yakın komşuları farklı sınıflara ait örneklerden oluşmaktadır; bu da k -NN algoritmasının yanılmasına neden olmaktadır. Öte yandan k -NN'nin en yüksek performansa eriştiği Shipp [23] veri setinde lenfomanın birinci alt türü baskındır, çok daha fazla görülmektedir. Gerçekten, veri setinin yaklaşık %75'i birinci alt türe, geri kalan %25 ise ikinci alt türe aittir. Üstelik Şekil 5a'dan görülmektedir ki aynı sınıfa ait örnekler birbirine yakındır. Bu nedenle sınıflandırma algoritmaları genel olarak bu veri setinde başarılıdır.

EYMS'nin kanser alt türünü tahmin etme başarısı ise k -NN'ye göre daha dar bir aralıkta değişkenlik gösterir; yaklaşık %74 - %89 bandında değişir. %74 sınıflandırma başarısının elde edildiği Gravier [19] veri setinde Khan [23] veri setinde olduğu gibi farklı sınıflara ait örnekler birbirleriyle iç içe geçmiştir (bakınız Şekil 1a). k -NN gibi bir lineer sınıflandırıcı olan EYMS'nin sınıfların bu şekilde iç içe olduğu veri setlerinde görece başarısız sonuçlar alması bu yüzden şaşırtıcı değildir. Bir başka lineer sınıflandırıcı olan LVQ algoritması için de durum aynıdır. Farklı sınıflara ait örneklerin lineer bir doğru ile birbirinden ayıramadığı uzaylarda sınıflandırma başarısı düşük kalır. Gravier [19] veri setindeki sınıf tahminin yeterince başarılı olmaması bu şekilde açıklanabilir. Özel olarak LVQ sınıflayıcısı Pomeroy [21] veri setinde en düşük sınıflandırma başarısına ulaşmıştır (%58). Şekil 5a'ya bakıldığında aynı sınıfa ait örneklerin uzay içersinde dağılımının fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle her bir sınıfın uzay içersindeki merkezini belirlemek güçtür. Bu'da LVQ'nun sınıf merkezlerini belirlemede güçsüz kalmasına neden olmaktadır.

Son olarak, metrik öğrenme metotları algoritmaların sınıflandırma başarısını artırma anlamında kıyaslandığında, en yüksek performansı LMNN'nin gösterdiği görülmektedir. İlgilenilen her veri setinde neredeyse her algoritma için veri setine uygulanması başarıyı artırmıştır; ve bu başarılar istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuç 1-6 nolu şekillerdeki görüntülere paraleldir. Gerçekten, LMNN her veri setinde aynı sınıftan örnekleri bir araya getirirken farklı sınıflara ait örnekleri birbirinden uzaklaştırabilmiştir. Bu anlamda, LMNN'yi takip eden metot ITML olmuştur. ITML de altı veri setinin dördünde sınıflandırma kesinliğini istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artırmıştır. NCA'nin performansı ise LMNN ve ITML'ye göre biraz daha geride kalmıştır. Yinede meme kanseri veri setlerinde k -NN algoritmasının başarısını %14'e kadar artırabilmiştir.

Uygulanan üç metrik öğrenmesi metodu içersinde LMNN'nin sınıfları birbirinden ayırabilmesinde dolayısıyla en yüksek sınıflandırma yüzdesi sağlanmasında altta yatan neden LMNN'nin minimize etmeye çalıştığı amaç fonksiyonun (3)'ün konveks olması dolayısıyla analitik çözümünün olmasıdır. Öte yandan ne NCA'nın ne de ITML'nin amaç fonksiyonları, sırasıyla (5) ve (6), konveks değildir; ve dereceli azalma (gradient descent) ve Bregman projeksiyonu yardımıyla yaklaşık bir çözüm bulunur. Bu ise pratikte sınıfların birbirinden ayrılmasını her zaman garanti etmez.

IV. SONUÇ

Kanserli dokuların heterojen yapısı nedeniyle kanser kendi içinde çok büyük farklılıklar gösterir; bu farklılık kanserlerin alt türlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Bu yüzden kanser tedavisinde alt türün tespit edilmesi elzemdir. Alt türün tespitinde konvansiyonel klinik yöntemlere ek olarak, kanserli dokulara ait mikro dizi gen verilerinin makine öğrenmesi/veri madenciliği yöntemleriyle tahmin edilmesinin son yıllardaki veri depolama ve veri işleme teknolojilerinin ilerlemesi ve bollaşması sayesinde popülerliği giderek artmaktadır.

Makine öğrenmesi algoritmalarının kanserli dokulara ait mikro dizi gen verileri ile eğitilerek kanserin alt türünün tespit edilmesi çalışmalarında karşılaşılan temel güçlük, doku örneklerinin ilgili-İlgisiz binlerce hatta onbinlerce genden oluşmasından dolayı, çalışılan veri setinin çok büyük boyutlu olması problemidir. Bu sorunla baş etmek için bu çalışmada, yüksek boyutlu uzaylarda yer alan veri setleri *metrik öğrenmesi* ile çok daha küçük boyutlu uzaylara transfer edilmiştir; üstelik bu uzaylarda aynı sınıfa (kansere alt türüne) ait veri örnekleri bir araya getirilmiş, farklı sınıflara ait veri örnekleri birbirinden uzaklaştırılabilmiştir. Bu görev için üç farklı metrik öğrenmesi (LMNN, ITML ve NCA), altı farklı

kanser türüne ait mikro dizi gen verisi üzerine uygulanmıştır. Uygulama sonucunda kanser alt türlerinin boyutu azaltılmış uzaylarda birbirinden ayrıldığı t-SNE yardımıyla görüntülenmiştir. Ek olarak, bu uzaylarda k -NN, en yakın merkez ve LVQ örnek temelli (instance-based) sınıflama algoritmaları çalıştırılmış, orjinal (boyutu azaltılmamış) uzaya göre bu sınıflayıcıların kesinlik (accuracy) anlamında performanslarının yaklaşık olarak %30'a arttığı gözlemlenmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Salem, H. G. Attiya and N. El-Fishawy, “Classification of human cancer diseases by gene expression profiles,” *Applied Soft Computing*, vol. 50, pp. 124–134, 2017.
- [2] A. K. Dwivedi, “Artificial neural network model for effective cancer classification using microarray gene expression data,” *Neural Computing And Applications*, vol. 29, no. 12, pp. 1545–1554, 2018.
- [3] M. Dashtban and M. Balafar, “Gene selection for microarray cancer classification using a new evolutionary method employing artificial intelligence concepts,” *Genomics*, vol. 109, no. 2, pp. 91–107, 2017.
- [4] N. Almgren and H. Alshamlan, “A survey on hybrid feature selection methods in microarray gene expression data for cancer classification,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 78533–78548, 2019.
- [5] Z. M. Hira and D.F. Gillies, “A review of feature selection and feature extraction methods applied on microarray data,” *Advances In Bioinformatics*, vol. 1, no. 198363, 2015.
- [6] B. Kulis, “Metric learning: A survey,” *Foundations and trends in machine learning*, vol. 5, no. 4, pp. 287–364, 2012.
- [7] S. B. Cho and H. H. Won, “Machine learning in DNA microarray analysis for cancer classification,” in *Proceedings of the First Asia-Pacific Bioinformatics Conference on Bioinformatics*, Adelaide, Australia, 2003, vol. 19, pp. 189–198.
- [8] S. Kılıçarslan, K. Adem ve O. Cömert, “Parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak boyutu azaltılmış mikrodizi verileri üzerinde makine öğrenmesi yöntemleri ile prostat kanseri teşhisi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 769–777, 2019.
- [9] B. Haznedar, M. T. Arslan ve A. Kalınlı, “Karaciğer mikroarray kanser verisinin sınıflandırılması için genetik algoritma kullanarak ANFIS’in eğitilmesi,” *Sakarya University Journal of Science*, c. 21, s. 1, ss. 54–62, 2017.
- [10] F. Morais-Rodrigues, R. Silvério-Machado, R. B. Kato and D. L. N. Rodrigues, “Analysis of the microarray gene expression for breast cancer progression after the application modified logistic regression,” *Gene*, vol. 726, pp. 144–168, 2020.
- [11] O. Yıldız, M. Tez, H. Ş. Bilge, M.A.Akçayol ve İ. Güler, “Meme kanseri sınıflandırması için gen seçimi,” *IEEE 20. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, İstanbul, Türkiye, 2012, ss. 18–20.
- [12] R. Ruiz, J. C. Riquelme and J. S. Aguilar-Ruiz, “Incremental wrapper-based gene selection from microarray data for cancer classification,” *Pattern Recognition*, vol. 39, no. 12, pp. 2383–2392, 2006.

- [13] K. Wagstaff, C. Cardie, S. Rogers and S. Schroedl, “Constrained k-means clustering with background knowledge,” in *Proceedings of the 18th International Conference on Machine Learning*, Florida, USA, 2001, vol. 1, pp. 577–584.
- [14] W. De Vazelhes, C. J. Carey, Y. Tang, N. Vauquier and A. Bellet, “Metric-learn: metric learning algorithms in Python,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 21, no. 138, pp. 1–6, 2020.
- [15] F. Wang and J. Sun, “Survey on distance metric learning and dimensionality reduction in data mining,” *Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 29, no. 2, pp. 534–564, 2015.
- [16] K. Weinberger and L. K. Saul, “Distance metric learning for large margin nearest neighbor classification,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 10, no. 2, 2009.
- [17] J. Goldberger, S. Roweis, G. Hinton and R. Salakhutdinov, “Neighbourhood components analysis,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 17, pp. 513–520, 2004.
- [18] J. V. Davis, B. Kulis, B. P. Jain, S. Sra and I. S. Dhillon, “Information-theoretic metric learning,” in *Proceedings of the 24th International Conference on Machine Learning*, New York, USA, 2007, pp. 209–216.
- [19] E. Gravier, G. Pierron, A. Vincent-Salomon, A. Gruel, N. Raynal, V. Savignoni and A. Fourquet, “A prognostic DNA signature for T1T2 node-negative breast cancer patients,” *Genes, Chromosomes and Cancer*, vol. 49, no. 12, pp. 1125–1134, 2010.
- [20] T. Sørli, C. M. Perou, R. Tibshirani, T. Aas, S. Geisler, H. Johnsen and A. L. Børresen-Dale, “Gene expression patterns of breast carcinomas distinguish tumor subclasses with clinical implications,” *National Academy of Sciences*, vol. 98, no. 19, pp. 10869–10874, 2001.
- [21] S. L. Pomeroy, P. Tamayo, M. Gaasenbeek, L. M. Sturla, M. Angelo, and M. E. McLaughlin, “Prediction of central nervous system embryonal tumour outcome based on gene expression,” *Nature*, vol. 415, no. 6870, pp. 436–442, 2002.
- [22] T. R. Golub, D. K. Slonim, P. Tamayo, C. Huard, M. Gaasenbeek, J.P. Mesirov and E.S. Lander, “Molecular classification of cancer: class discovery and class prediction by gene expression monitoring,” *Science*, vol. 286, no. 5439, pp. 531–537, 1999.
- [23] M.A. Shipp, K.N. Ross, P. Tamayo, A. P. Weng, J. L. Kutok and R.C. Aguiar, “Diffuse large B-cell lymphoma outcome prediction by gene-expression profiling and supervised machine learning,” *Nature Medicine*, vol. 8, no. 1, pp. 68–74, 2002.
- [24] J. Khan, J. S. Wei, M. Ringner, L. H.Saal, M. Ladanyi, F. Westermann and P. S. Meltzer, “Classification and diagnostic prediction of cancers using gene expression profiling and artificial neural networks,” *Nature Medicine*, vol.7, no. 6, pp. 673–679, 2001.
- [25] L. Van der Maaten and G. Hinton, “Visualizing data using t-SNE,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 9, no.11, 2008.
- [26] T. Kohonen, *Self-Organizing Maps*, 1st ed., Berlin, Germany: Springer, 1995, pp. 245–26.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

X-ışınlı Göğüs İmgelerini Kullanarak Solunum Yolu Hastalıklarının Tespitinde Kuantum Transfer Öğrenme Modelinin Rolü

 Mesut TOĞAÇAR^{a,*}

^a *Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE*

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: mtogacar@firat.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.903358

ÖZ

Solunum yolu hastalıkları çeşitli kanallar vasıtasıyla insanların solunum yollarına bulaşan; virüs ve bakteri gibi mikro organizmaların neden olduğu hastalıklardır. Bu canlılar vücudun bağışıklık sistemini zayıflatarak enfeksiyon oluşmasına yol açar ve bireyde kulak, burun, boğaz, solunum borusu ve akciğer gibi organlarda çoğalabilirler. Bunun sonucunda; zatürre, Ciddi Akut Solunum Sendromu (SARS), Orta Doğu Solunum Sendromu (MERS), Korona Virüs Hastalığı (COVID-19) gibi hastalıkların oluşmasına neden olabilmektedir ve erken müdahale alınmadığı takdirde hastaların ölümüne yol açabilmektedir. Bu çalışmada Kuantum modeli, derin öğrenme modeli ile yoğrularak farklı bir öğrenme yaklaşımı önerilmiştir. Bu model çeşitli kütüphane yazılımcıları tarafından verilen destekler ile gelişimini sürdürmektedir. Çalışmada kullanılan veri seti, solunum hastalıkları ve normal X-ışınları görüntülerinden oluşmaktadır. Deney analizinde, Kuantum Transfer Öğrenme (KTÖ) modeli kullanılarak veri setinin eğitimi gerçekleştirildi ve analiz sonuçlarından elde edilen doğruluk %92,50'di. Sonuç olarak, kuantum öğrenme modelinin derin öğrenme modelleri gibi umut verici sonuçlar verdiği bu çalışmada gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: *Derin öğrenme, Kuantum transfer öğrenme, Solunum hastalıkları, X-ışınları.*

The Role of Quantum Transfer Learning Model in the Detection of Respiratory Diseases Using X-ray Chest Images

ABSTRACT

Respiratory diseases are transmitted to the respiratory tract of people through various channels; diseases caused by micro-organisms such as viruses and bacteria. These creatures weaken the body's immune system, leading to the formation of infection, and can reproduce in the individual in organs such as the ear, nose, throat, respiratory tract and lung. As a result; it can cause diseases such as "pneumonia, Serious Acute Respiratory Syndrome (SARS), Middle East Respiratory Syndrome (MERS), Corona Virus Disease (COVID-19)" and can lead to the death of patients if early intervention is not received. In this study, a different learning approach is proposed by combining the quantum model and the deep learning model. This model continues its development with the support provided by various library software developers. The dataset used in the study consists of respiratory diseases and normal X-ray images. In the experimental analysis, the dataset was trained using the Quantum Transfer Learning (QTL) model and the accuracy rate obtained from the analysis results was 92.50%. As a result, it was observed in this study that the Quantum approach gave promising results like deep learning models.

Keywords: *Deep learning, Quantum transfer learning, Respiratory diseases, X-ray.*

I. GİRİŞ

Son zamanlarda hava kirliliği insan sağlığı için küresel bir sorun haline gelmiştir ve dünyada milyonlarca insan bu durumdan etkilenmiştir. Solunum yolu hastalıklarının oluşmasında hava değişimi önemli rol oynamaktadır. Özellikle kirli bir hava ortamının oluşmasına neden olan mevsim geçişlerinde virüs ve bakterilerin insanlara buluşma riski oldukça yüksektir [1]. Ortak ve kapalı alanlarda insanların birbiri ile etkileşimi bulaşıcı organizmaların yayılmasını daha da hızlandırır. İnsanın bağışıklık sistemini zayıflatan bu organizmalar, solunum yolu organlarına enfekte olup çeşitli hastalıkların oluşmasına sebep olmaktadır [2]. Bu hastalıkların başında; Koah, SARS, MERS, COVID-19 hastalıkları gelir. Erken tanı konulmadığı ve tedavi edilmediği takdirde bu hastalıklara yakalanan bireylerde ölüm oranı daha da yüksektir. Bu hastalıkların oluşmasına neden olan virüslerin bazıları RNA tiplidir ve süreç içerisinde mutasyona uğrayabilirler. Nitekim COVID-19 hastalığına yol açan virüs RNA türüdür ve son zamanlarda bu virüsten dünyada milyonlarca kişi etkilendi ve yüzbinlerce kişinin ölümüne sebep oldu [3]. COVID-19 virüsünün en çok etkilediği ülkeler arasında sırasıyla; Amerika, Brezilya, Hindistan, Çin, Güney Afrika, Rusya gibi ülkeler gelmektedir [4]. Bu tür hastalıklara sebep olan mikroorganizmalar genellikle akciğer organını olumsuz etkiler ve solunum yolu rahatsızlıklarının oluşmasına neden olur [5].

Solunum yolu hastalıklarının tespitinde erken teşhis önemlidir. Hastalığın tanı ve tedavi süreçlerinde uzmanların karar verme yetisi zaman alabilmektedir. Son zamanlarda yapay zekâ tabanlı sistemler, medikal alanda adını duyurmuşlardır. Bu teknolojiler, uzman kişilerin karar verme sürecini kısaltarak daha çok tanı tespitini gerçekleştirebilmektedir [6]. Solunum yolu hastalıklarının tanı sürecinde genelde uzmanlar; Bilgisayar Tomografi (BT), X-ışın, Röntgen gibi cihazlardan elde edilen görüntüleri kullanarak karar verebilmektedir. Yapay zekâ teknolojisi ile derin ağların bulunduğu modeller bu veriler ile eğitilerek hastalığın tespitini gerçekleştirebilmektedir [7]. Bu alandaki bazı çalışmalar incelenirse; AlMoammar vd. [8] çalışmasında gözetimli öğrenme yöntemlerini kullanarak SARS, MERS, COVID-19 görüntülerinin bulunduğu veri setini sınıflandırmışlar. Çalışmalarında sınıflandırıcı olarak; En Yakın Komşu (EYK), Karar Ağacı ve Destek Vektör Makinesi (DVM) yöntemlerini kullanmışlar. En iyi sınıflandırma sonucunu %86,44 oranında DVM ve Karar Ağacı yöntemleri ile elde etmişler. Hemdan vd. [9] çalışmasında COVID-19 görüntülerini analiz etmişler. Çalışmalarında kullandıkları görüntülerde korona virüsün pozitif ve negatif tespitini gerçekleştirmişler. Deney kısmında derin öğrenme modelleri (VGG, ResNet, Inception, MobileNet, Xception, DenseNet vs.) ile eğitimleri gerçekleştirerek veriyi sınıflandırmışlar. Çalışmalarında elde ettikleri en iyi sınıflandırma sonuçlarını VGG ve DenseNet modelleri ile gerçekleştirmişler. Deneysel analiz sonucunda elde ettikleri genel doğruluk oranı %90'dı. Xiaowei vd. [10] çalışmasında üç sınıftan oluşan (zatürre, normal ve COVID-19) BT görüntülerini analiz etmişler. Çalışmalarında kullandıkları veri setindeki her bir görüntüyü bölütleme işleminden geçirmişler. Ardından sınıflandırma sürecinde Bayes yöntemini kullanmışlar. Sonuç olarak %86,7 genel doğruluk oranı elde etmişler. Mei vd. [11] çalışmasında korona tipli BT görüntülerini kullanarak hastanın pozitif veya negatif vaka olma durumlarını analiz etmişler. Çalışmalarında yeni bir evrişimsel sinir ağı (ESA) modeli tasarlamışlar. Sınıflandırıcı olarak DVM ve Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) yöntemlerini kullanmışlar. Sınıflandırma sürecinde ÇKA yöntemi ile %92 genel doğruluk oranı elde etmişler. Houssein vd. [12] COVID-19 hastalığının tanı sürecinde hibrit kuantum evrişimli sinir ağları (HK-ESA) modelini kullanmışlar. Çalışmalarında kullandıkları veri seti zatürre, normal ve COVID-19 görüntü türlerinden oluşmaktaydı. HK-ESA modeli ile %98,4 genel doğruluk oranı elde etmişler. Acar ve Yılmaz [13], COVID-19 hastalığının tanı sürecinde klasik kuantum transfer öğrenimi modelini kullanmışlar. Çalışmalarında kullandıkları veri seti, normal ve COVID-19 görüntü türlerinden oluşmaktaydı. Bölütleme yöntemini kullanarak veri setini ön işlem sürecinden geçirmişler. Ardından önerdikleri yaklaşımın çeşitli kuantum bilgisayarlarda analizlerini gerçekleştirdiler. Kuantum bilgisayarlar üzerinden elde edilen genel doğruluk oranları %94 ile %100 aralığında değişmekteydi.

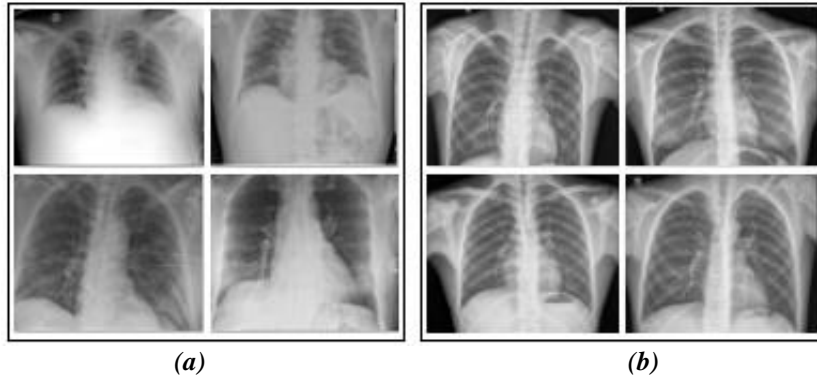
Bu makalenin amacı, X-ışınlarından elde edilen göğüs görüntülerini kullanarak solunum yolu hastalıklarının başarılı bir şekilde tespit edilebileceği hibrit bir yaklaşım sunmaktır. Önerilen yaklaşım, transfer öğrenme tabanlı derin öğrenme modeli ile kuantum modelin birleştirildiği bir

mimariden oluşmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kuantum öğrenmenin derin öğrenme modeline katkı sunması hedeflenmiştir.

Makalenin diğer bölümleri hakkında özet şu şekildedir; veri seti ile ilgili bilgilere 2. bölümde yer verilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilmesinde kullanılan yöntem ve modeller hakkındaki bilgilere 3. bölümde yer verilmiştir. Deneysel analizlere 4. bölümde yer verilmiştir. Tartışma ve Sonuç bölümleri sırasıyla son iki bölümde yer almıştır.

II. VERİ SETİ

Veri seti, BT tabanlı göğüs görüntülerinden oluşan açık kaynak erişimlidir. Sınıf türü olarak ikiye ayrılmıştır. Bu türler normal göğüs görüntüleridir ve solunum yolu hastalıklarının tespit edildiği görüntülerdir. Solunum yolu hastalıklarının yer aldığı sınıf; zatürre, SARS, MERS, COVID-19 hastalarından elde edilmiş görüntülerden oluşmaktadır. Görüntüler uzmanlar tarafından kontrol edilerek erişime sunulmuştur. Her bir görüntü uzantısı JPEG formatındadır ve görüntü derinliği 8 bittir. Veri setini oluşturan görüntüler farklı kaynaklardan toplandı için çözünürlük değerleri sabit değildir. Veri seti, eğitim ve test verileri olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada gerçekleştirilen deneysel analizler veri setinin orijinal hali ile gerçekleştirilmiştir. Eğitim verileri, her bir sınıf türü için 74 adet BT görüntüsünden oluşmaktadır. Test verileri, her bir sınıf türü için 20 adet BT görüntüsünden oluşmaktadır. Veri seti toplam 198 adet BT görüntüsünden oluşmaktadır [14]. Veri setinin sınıflarını temsil eden örnek görüntüler Şekil 1'de gösterildi.



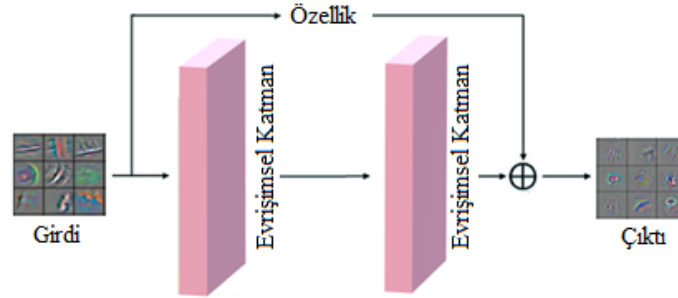
Şekil 1. Veri setindeki farklı sınıflara ait görüntüler; (a) solunum hastalıkları barındıran BT göğüs görüntüleri, (b) normal BT göğüs görüntüleri.

II. MODELLER VE ÖNERİLEN YAKLAŞIM

A. RESNET-18 MODEL

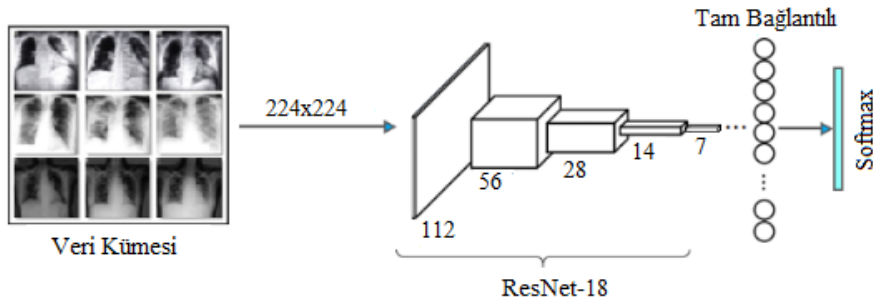
ResNet-18, artık blokların mimari yapısında yer aldığı evrişimsel sinir ağlardan oluşan bir modeldir. Bu model, ImageNet veri tabanında yer alan 1000 nesne kategorisindeki veri görüntülerini başarılı bir şekilde sınıflandırmıştır. ResNet'in girdi boyutu 224×224'tür ve yapısında evrişimsel, havuzlama, tam bağlantılı gibi katmanları bulundurmaktadır. Bu temel katmanlar ResNet-18 modelini bir ESA modeli özelliğini taşıdığını göstermektedir [15]. Evrişimsel katman, girdi görüntüleri üzerinde filtreler dolaştırarak (3×3, 5×5) özniteliklerin çıkarılmasını sağlar. Havuzlama katmanı, genelde evrişimsel katmanlardan sonra kullanılır ve girdi boyutunu düşürerek bir sonraki katmana aktarılmasını sağlar. Tam bağlantılı katman, derin öğrenme modellerinin genellikle son katmanlarında yer alır ve bu katman, kendisinden önceki katmanlardan aktarılan değerleri işler. Ardından çıkış katmanına sınıf sayısı kadar olasılık değeri üretilmesini sağlar [16]. ResNet modelini ESA modellerinden ayıran en

önemli özellik artık katmanlara sahip olmasıdır. Artık katmanlar, girdi özelliklerini işleyerek çıkışa aktarır ve kendinden sonraki katmana çıkış özelliklerini aktarmadan bir veya iki sonraki katmana doğrudan aktarılmasını gerçekleştirir. Bu yönü ile "kısa yol" veya "atlayan katman" olarak da adlandırılabilir ve bu sayede, modelin daha kolay öğrenmesini sağlar [17]. Artık katmanların işlevini gösteren tasarım Şekil 2'de gösterildi. Son olarak ResNet gibi ESA modellerinde farklı bir makine öğrenme tabanlı sınıflandırıcı eklenmemiş ise, tam bağlantılı katmanlardan sonra sınıflandırma sürecinde aktivasyon fonksiyonları genelde kullanılır. Bu çalışmada, Softmax yöntemi tercih edildi. Softmax yöntemi, iki veya çok sınıflı problemlerin çözümünde tercih edilir ve girdi özelliklerin taşıdığı sayısal değerleri işleyerek 0 ile 1 arasında olasılık değerleri üretir. Bu olasılık değerleri içerisinde yüksek olan sınıfa girdi verisi atanır [18]. ResNet-18 modelinin genel tasarımı Şekil 3'te gösterildi.



Şekil 2. ResNet modellerinde artık blokların gösterimi.

Bu çalışmada önceden eğitilmiş ResNet-18 modeli kuantum öğrenme ile birlikte hibrit bir yapı oluşturularak kullanıldı. ResNet-18 modelinin eğitim sürecinde varsayılan tüm katmanları kullanıldı ve modelin bilgi transferinin gerçekleştirilmesinde ImageNet veri tabanı kullanıldı. ResNet-18 modelinin bu çalışma için seçilmesinin nedeni; girdi çözünürlüğü, artık bloklar ve ResNet modelleri içerisinde en az derinliğe sahip olmasıdır. Ayrıca, ResNet-18 modeli için tercih edilmiş parametreler varsayılan değerlerdir. Modelin derlenmesinde açık kaynak kodlar kullanıldı [19].



Şekil 3. ResNet-18 modelinin tasarımı.

B. KUANTUM ÖĞRENME MODELİ

Kuantum fiziği, iki benzer parçacığın eş zamanlı olarak birbiri ile etkileşim içerisinde olduğunu savunur ve bu parçacıklar farklı yerlerde olsa dahi bir parçacıktan olan bir değişiklik diğerini etkiler [20]. Yapay sinir ağlarında ise bu durum iki nöron grubunda olan parçacıklar arasında olan etkileşimi inceler ve bu etkileşime kuantum öğrenme adı verilir. Kuantum öğrenme, nöronlar içerisinde yer alan parçacıklar arasında etkileşimi sağlamak için algılayıcılar kullanılır. Bu sırada algılayıcılar doğrusal aktivasyon fonksiyonları da kendi yapılarında kullanılır. Kuantum öğrenmenin en büyük problemi doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları ile karşılıklı çalışmamasıdır ve bu durum kuantum için kullanılan matematiksel formüllerin doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları işlem yürütememesinden kaynaklanmaktadır. Kuantum öğrenme hesaplama işlemlerinde temel birim olarak kubit kavramını kullanılır. Kubit terimi, bit teriminin aksine 0 veya 1 ile temsil edilmez. Kubitler, iki

durumun (0 ile 1) kombinasyonunda var olmasını sağlar [21,22]. Bu durum Eş. 1'de şu şekilde izah edilmiştir;

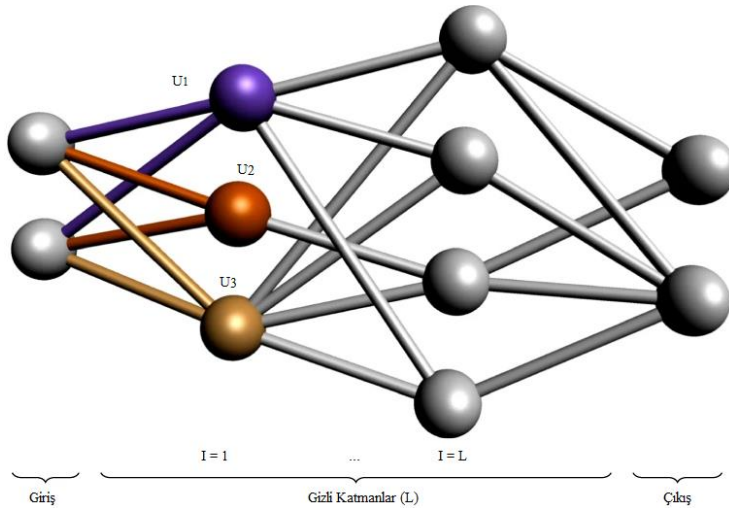
$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \quad (1)$$

İki hesaplamalı temel durum sırasıyla $|0\rangle$ ve $|1\rangle$ parametreleri ile temsil edilir ve bu duruma karşılık gelen karmaşıklık genlikleri ise sırasıyla α ile β ile temsil edilir. Karmaşıklık genliklerinin karelerinin toplamı 1'e eşittir ($|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$). Dolayısıyla bir kubit, basit bir kuantum öğrenmeyi fiziksel bir çerçevede gerçekleştirebilir. Bunu da süper pozisyon olarak adlandırılan iki durumu (0 ile 1), yatay ve dikey polarizasyona karşılık gelecek şekilde yerleştirerek çözebilmektedir. Çok sınıflı problemlerin çözümünde tek bir kubit yetersiz kaldığı zaman $\vartheta(\log K)$ çıkış kubitleri etiketleri temsil etmek için kullanılır. Bu denklemde K etiket sayısını temsil eder [22]. Kuantum öğrenmede veri girişleri kuantum veri olmak zorundadır veya normal girdiler kuantum biçimine dönüştürülerek modelin eğitimi gerçekleştirilir [21]. Kuantum öğrenmede eğitim gerçekleştirilirken maliyet hesaplanması Eş. 2'ye göre hesaplanır. Eş. 2 incelendiğinde; C maliyet birimini, N eğitim çifti sayısını temsil eder. Ayrıca, $\langle \theta_x^{giris} | \rho_x^{çikis} | \theta_x^{çikis} \rangle$ giriş ve çıkış değerleri için ağ çıkış yakınlığı $\rho_x^{çikis}$ parametresi ile temsil edilir. Maliyet birimi (C) sıfır ile bir arasında bir değer alır; eğer C parametresi sıfıra yakınsa kötü veya bire yakınsa iyi bir maliyet değeri anlamına gelir. Kuantum öğrenmenin eğitimi gerçekleştirilirken ağ yapısında ağırlık güncellemeleri her bir iterasyon için gerçekleştirilir [23].

Kuantum öğrenme, Şekil 4'te gösterildiği gibi giriş katmanı, gizli katmanlar ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Burada eğitim algılayıcılar tarafından sırasıyla yukarıdan aşağı doğru uygulanır (mor renkten sarı renge doğru). Kuantum öğrenmede gerçekleştirilen işlem sırası bu açıdan önemlidir ve kuantum algılayıcıları bir kuantum devresi şeklinde hareket ederler. Bu devre Eş. 3'te gösterildiği gibi temsil edilir.

$$C = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N \langle \theta_x^{giris} | \rho_x^{çikis} | \theta_x^{çikis} \rangle \quad (2)$$

$$U \equiv U^{çikis} U^L U^{L-1} \dots U^1 \quad (3)$$



Şekil 4. Kuantum sinir ağı yapısı [23].

Kuantum ağlar ResNet-18 modelinin tam bağlantılı katmanından elde edilen özneliliklerin kuantum devreleri tarafından genişletilerek güçlendirilmesini sağlar. Bunu gerçekleştirirken bitlerden farklı kubitleri kullanır ve her bir değer hafızada saklanarak işlem görür. Özellikle girdi boyutu yüksek çözünürlüğe sahip verilerin analizinde kuantum öğrenmenin ESA modellerine göre daha verimli

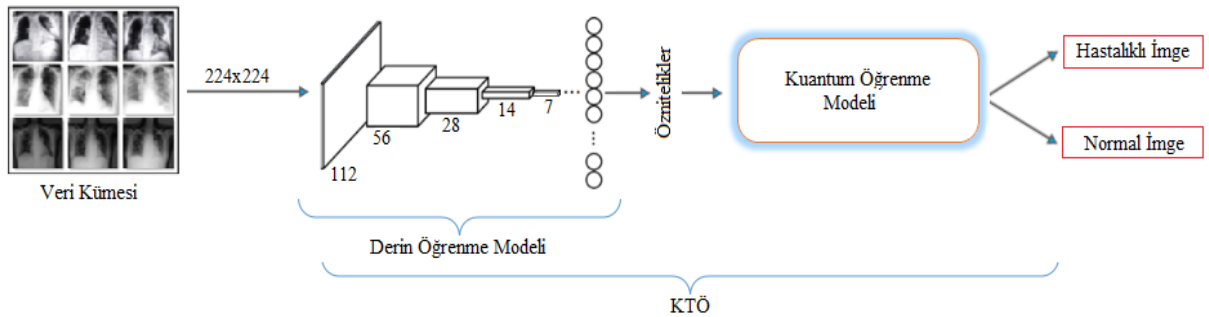
sonuçlar verebileceği tahmin edilebilmektedir. Son teknolojik alt yapılara sahip kuantum bilgisayarlar bu durumu daha da mümkün kılmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kuantum öğrenme önerilen yaklaşımda kullanıldı. Bu çalışmada önerilen yaklaşımda kuantum öğrenme modeli, ESA modeli ile birleştirilerek deneysel analizler gerçekleştirildi [19,23]. Kuantum öğrenme modeli için tercih edilmiş önemli parametre değerleri Tablo 1’de verildi. Tablo 1’de belirtilen değerler varsayılan değerler değildir. Görüntü sayısına, görüntü büyüklüğüne ve bilgisayar donanım özelliklerine göre bu değerler seçildi.

Tablo 1. Bu çalışmada kullanılan KTÖ modeli için tercih edilen parametre değerleri.

Kubit Sayısı	Öğrenme Oranı	İterasyon Başına İşlenen Örnek Sayısı	Eğitim Dönem Sayısı	Kuantum Devresinin Derinliği	Maksimum Katman Sayısı
4	4×10^{-4}	4	64	6	15

C. ÖNERİLEN YAKLAŞIM: KUANTUM TRANSFER ÖĞRENME MODELİ

Önerilen yaklaşım, önceden eğitilmiş ResNet-18 modeli ile kuantum modelinin birlikte kullanılmasını sağlayan hibrit bir modeldir. ResNet-18 modeli dışında diğer derin öğrenme modelleri de (AlexNet, VGG, GoogLeNet) hibrit model içerisinde kullanılabilir. Kuantum öğrenmeye verimli girdi özellikleri aktarıldığı vakit başarılı sonuçlar verebilmektedir. Bu yüzden önceden eğitilmiş ResNet-18 modeli kullanılarak verimli özniteliklerin çıkarılması sağlandı. Bu öznitelikler ResNet-18 modelinin son katmanında yer alan tam bağlantılı katmandan elde edildi ve Kuantum öğrenme modeline girdi verisi olarak aktarıldı. Sınıflandırma sürecinde “Linear Regresyon” yöntemi [24] tercih edildi ve hibrit modelin optimizasyon işlemleri için “Adam” yöntemi [25] kullanıldı. Bu iki yöntemin tercih edilmesinin en önemli nedeni diğer alternatif yöntemler (adamax, rmsprop vb.) arasında en iyi performansı vermesidir. Önerilen yaklaşımın tasarımı Şekil 5’te gösterildi.



Şekil 5. Önerilen yaklaşımın genel tasarımı.

III. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmanın yazılım kodları, Google Colab arayüzü kullanılarak derlendi. Donanımsal gereksinimler Google Sunucuları tarafından sağlatıldı. Deneysel analizler ve sonuçların değerlendirilmesi için karmaşıklık matrisi kullanıldı. Karmaşıklık matrisindeki metriklerin hesaplanmasında Tablo 2’den yararlanıldı. Karmaşıklık matrisinin hesaplanmasında kullanılan metrikler şunlardır; duyarlılık (Duy), özgüllük (Özg), hassasiyet (Has), f-skoru (F-skr) ve doğruluk (Dğr). Metrikler, Eş. 4 ile Eş. 8 arasındaki formüller ile hesaplanmaktadır. Bu eşitliklerde kullanılan parametreler; Doğru Pozitif (DP), Doğru Negatif (DN), Yanlış Pozitif (YP), Yanlış Negatif (YN)’tir. Bu parametrelerin açıklanması şu şekildedir;

- DP: Veri setinin normal sınıfında olup, normal olarak tahmin edilen görüntü sayısı.

- DN: Veri setinin hastalıklı sınıfında olup, hastalıklı olarak tahmin edilen görüntü sayısı.
- YP: Veri setinin hastalıklı sınıfında olup, normal olarak tahmin edilen görüntü sayısı.
- YN: Veri setinin normal sınıfında olup, hastalıklı olarak tahmin edilen görüntü sayısı [15,26].

Tablo 2. Karmaşıklık matrisi.

		Tahmin	
		Normal	Hastalıklı
Gerçek	Normal	DP	YN
	Hastalıklı	YP	DN

$$Duy = \frac{DP}{(DP + YN)} \quad (4)$$

$$Özg = \frac{DN}{(DN + YP)} \quad (5)$$

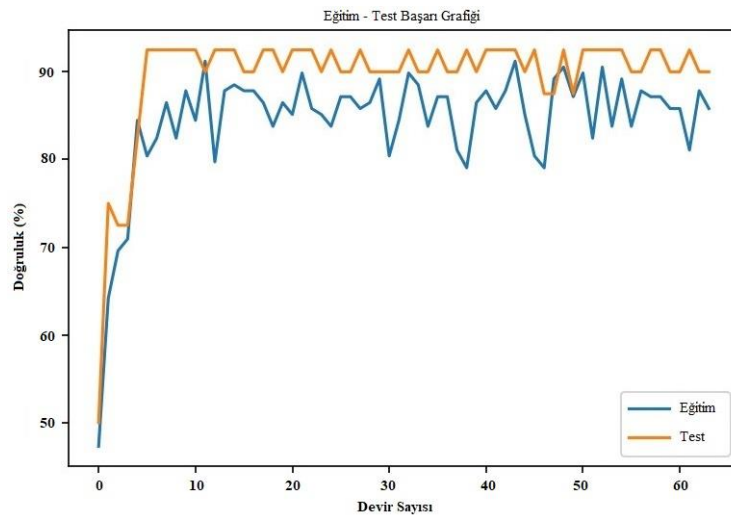
$$Has = \frac{DP}{(DP + YP)} \quad (6)$$

$$F - skr = \frac{(2xDP)}{(2xDP + YP + YN)} \quad (7)$$

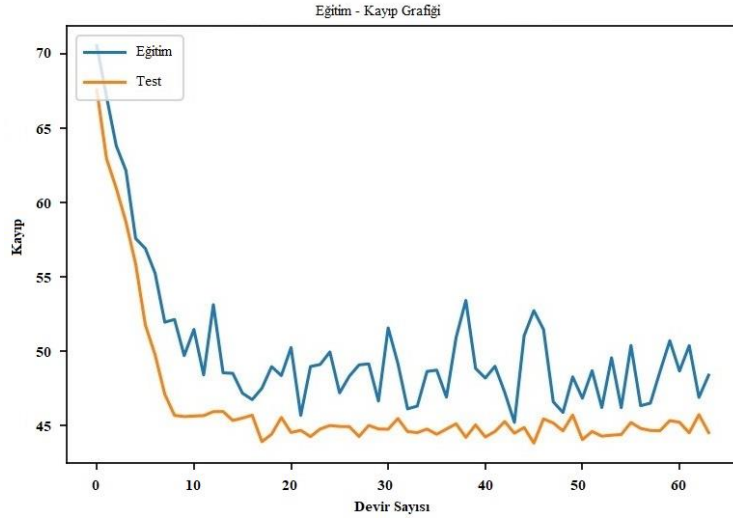
$$Dğr = \frac{(DP + DN)}{(DP + DN + YP + YN)} \quad (8)$$

Bu çalışmanın deneysel analizlerinde iterasyon başına işlenen örnek sayısı 4 seçildi ve devir sayısı 64 tercih edildi. İterasyon başına işlenen örnek sayısı, önerilen modelin girdi görüntülerini eş zamanlı olarak seçilmiş değer kadar işlenmesini sağlar ve donanımsal özellikler ile doğrudan alakalıdır [27].

Birinci analiz KTÖ modeli (önerilen yaklaşım) kullanılarak gerçekleştirildi. KTÖ modelin eğitim süresi 61 dakika 33 saniyeydi. Deneysel analizin eğitim genel doğruluk oranı %91,22'di. Test verilerinde elde edilen genel doğruluk oranı ise %92,50'yd. Eğitim-test başarı grafikleri Şekil 6'da gösterildi ve eğitim-test kayıp grafikleri Şekil 7'de gösterildi. Birinci analizin eğitim-test başarı grafiklerinde test verilerindeki başarı eğitim verilerindeki başarıdan daha yüksektir. Test verilerinin karmaşıklık matris değerlerini analiz eden tablo Şekil 8'de gösterildi. Karmaşıklık matrisinden elde edilen analiz sonuçları Tablo 3'te verildi.



Şekil 6. Birinci analizin eğitim-test verilerine ait doğruluk başarı grafiği.

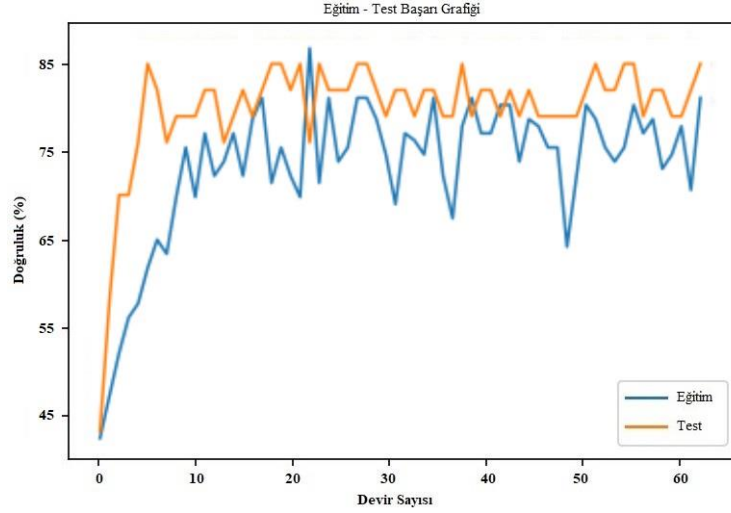


Şekil 7. Birinci analiz için eğitim-test verilerine ait kayıp grafiği.

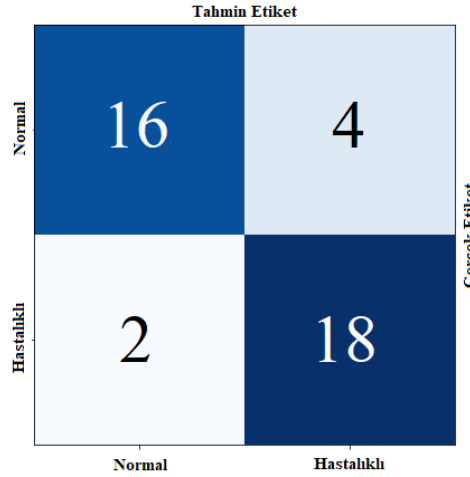
		Tahmin Etiket	
		Normal	Hastalıklı
Gerçek Etiket	Normal	19	1
	Hastalıklı	2	18
		Normal	Hastalıklı

Şekil 8. Bu çalışmanın birinci analizinde elde edilen karmaşıklık matrisi.

Kuantum öğrenmenin ResNet-18 modelinin eğitimine sunmuş olduğu katkıyı gözlemleyebilmek için ikinci analiz gerçekleştirildi. Bu analizde ResNet-18 model kullanıldı ve veri seti ResNet-18 model tarafından eğitildi. Modelin eğitim süresi 45 dakika 20 saniyeydi. ResNet-18 modelinden elde edilen eğitim genel doğruluk oranı %81,76'ydı. Test verilerinden elde edilen genel doğruluk oranı ise %85'ti. İkinci analiz için eğitim-test başarı grafikleri Şekil 9'da gösterildi. Birinci analiz için eğitim-test başarı grafiklerinde olduğu gibi bu analizde de test başarısı eğitim başarısından daha iyi sonuç verdi. Test verilerinin karmaşıklık matris değerlerini analiz eden tablo Şekil 10'da gösterildi. İkinci analiz için karmaşıklık matrisinden elde edilen metrik başarı oranları Tablo 3'te verildi.



Şekil 9. İkinci analizin eğitim-test verilerine ait doğruluk başarı grafiği, b) karmaşıklık matrisi.



Şekil 10. İkinci analizin eğitim-test verilerine ait karmaşıklık matrisi.

Tablo 3. Deneysel analizlerden elde edilen karmaşıklık matrislerinin metrik sonuçları (%).

Analiz No	Yaklaşım	F-Skr	Duy	Özg	Has	Dğr
#1	ResNet-18 ve Kuantum Öğrenme	92,68	90,48	94,74	95,0	92,50
#2	ResNet-18 ve Transfer Öğrenme	84,21	88,89	81,82	80	85

Birinci analizin sonuçları ikinci analizin sonuçlarından daha başarılı olduğu gözlemlendi. Gerçekleştirilen iki analiz sonucunda kuantum öğrenmenin önerilen yaklaşıma katkı sunduğu görüldü.

IV. TARTIŞMA

Solunum yolu enfeksiyonları ile oluşan çeşitli hastalıklar, bireylerde ölümcül sonuçlar verebilmektedir. Dolayısıyla erken tanı ve tedavi bu durumda büyük önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, solunum yolu hastalıklarının tespitinde derin öğrenme ile kuantum öğrenmenin birbiriyle modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Kuantum öğrenme, derin öğrenme modellerine göre farklı mimari yapısında olduğu ve kuantum fizik teorisine göre oluşturulduğu için henüz her veri setinde başarılı

sonuçlar elde edilmesi mümkün değildir. Bu çalışmanın deneyinde önerilen model ile başarılı analizler gerçekleştirildi. Önerilen yaklaşımın deneysel analizlerinde görülen eksik yönü kubit değerinin fazla artırılmamasıydı. Kubit değerinin artırılması modelin eğitiminin donanımsal kaynaklardan dolayı (Google Colab'ın zaman sınırlaması) tamamlanmayacağı problemini karşımıza çıkaracaktır. Kuantum işlemcili bilgisayarlar tarafından analizlerin gerçekleştirilmesi bu problemi ortadan kaldıracaktır. Çalışmamıza benzer veri seti ile katkı sunan bir çalışmada Almoammar vd. [8] tarafından 2018 yılında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile ilgili analiz sonucu Tablo 4'te verildi.

Tablo 4. Benzer veri setleri ile gerçekleştirilmiş çalışmaların karşılaştırılması.

Makale	Yıl	Veri seti içeriği	Görüntü sayısı	Model / Yöntem	Dğr
Almoammar vd. [8]	2018	(SARS, MERS) ve Normal	1410	DVM, Karar Ağacı, EYK	%86,44
Hemdan vd. [9]	2020	COVID-19 (+), COVID-19 (-)	Eğitim: 40 Test: 10	VGG, DenseNet	%90
Xiaowei vd. [10]	2020	COVID-19, Zatürre ve Normal	Eğitim: 528 Test: 90	ResNet-18, Gürültülü Bayes İşlevi	%86,7
Mei vd. [11]	2020	COVID-19 (+), COVID-19 (-)	Eğitim: 543 Test: 362	ESA, ÇKA	%92
Houssein vd. [12]	2021	COVID-19, Zatürre ve Normal	Eğitim: 6216 Test: 1736	HK-ESA	%98,4
Acar ve Yılmaz [13]	2021	COVID-19 ve Normal	Eğitim: 226 Test: 2432	Klasik KTÖ	%94-100
Bu çalışma	2021	(SARS, MERS, COVID-19) ve Normal	Eğitim: 148 Test:40	ResNet-18 ve Kuantum Öğrenme	%92,50

Almoammar vd. [8] çalışmasında iki sınıflı veri setini önerdikleri yaklaşımda kullanarak analizleri gerçekleştirmişler. Onlar, makine öğrenme yöntemlerini (DVM, Karar Ağacı, EYK) deneysel analizlerde kullanmışlar. Sınıflandırma aşamasında çapraz doğrulama yöntemini kullanmışlar. Makine öğrenme yöntemleri ile veri setini doğrudan sınıflandırmaları, elde ettikleri %86,44'lük genel doğruluk oranını düşük kılmıştır. Hemdan vd. [9] çalışmasında elde ettikleri doğruluk oranı yüksek olsa da kullandıkları veri setinin sayısının az olması yaptıkları teste olan güvenilirliği azaltmıştır. Bu çalışmanın hem Xiaowei vd.'nin [10] çalışmasına hem de Mei vd.'nin [11] çalışmasına göre avantajı uçtan uca bir yaklaşım önermesidir. Fakat deneysel analizlerin kuantum bilgisayarlar tarafından gerçekleştirilememesi ise bir dezavantaj olarak görülmüştür. Neticesinde kuantum öğrenmenin analizlerini kuantum bilgisayarlar ile gerçekleştiren çalışmalarda performansın arttığı gözlemlenmiştir [12, 13]. Acar ve Yılmaz [13] çalışmalarında eğitim-test sayısı dağılımını diğer çalışmalardan farklı olarak gerçekleştirmiştir. Az sayıda eğitim verisi kullanarak önerdikleri KTÖ modeli ile başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

V. SONUÇ

Kuantum öğrenme modelleri farklı açık kaynaklı kütüphaneler (Tensorflow [28], Torch vb.) tarafından son zamanlarda desteklenmektedir. Bu çalışmada kuantum öğrenme modelinin derin öğrenme modeli ile birlikte hibrit bir model oluşturularak solunum yolu hastalıklarının tespiti gerçekleştirildi. Kuantum öğrenmenin derin öğrenme modeli ile birlikte uyum içerisinde eğitimini gerçekleştirmesi, çalışmanın başarısını artırdı. Deneysel analizde elde edilen genel doğruluk oranı %92,50'di. Bu sonuç umut

verici olmuştur ve bu çalışma ile kuantum öğrenme yapısının derin öğrenme modeline göre benzer/farklı yönlerini inceleme fırsatı oldu.

Gelecek çalışmada, kuantum öğrenmenin farklı yapay zekâ destekli modeller üzerinden eğitimi gerçekleştirilecektir ve meta-sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılarak performansa katkı sunmadıkları değerlendirilecektir.

V. KAYNAKLAR

- [1] D. Kim, Z. Chen, L.-F. Zhou, and S.-X. Huang, “Air pollutants and early origins of respiratory diseases,” *Chronic Dis. Transl. Med.*, vol. 4, no. 2, pp. 75–94, 2018.
- [2] Z. Shi and A. T. Gewirtz, “Together forever: bacterial-viral interactions in infection and immunity,” *Viruses*, vol. 10, no. 3, pp. 122, Mar. 2018.
- [3] N. Petrosillo, G. Viceconte, O. Ergonul, G. Ippolito, and E. Petersen, “COVID-19, SARS and MERS: are they closely related?,” *Clin. Microbiol. Infect.*, vol. 26, no. 6, pp. 729–734, Jun. 2020.
- [4] Wikipedia. (2021, Jun 28). *COVID-19 pandemic by country and territory* [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemic_by_country_and_territory.
- [5] W. H. Man, W. A. A. de Steenhuijsen Piters and D. Bogaert, “The microbiota of the respiratory tract: gatekeeper to respiratory health,” *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 15, no. 5, pp. 259–270, 2017.
- [6] Amisha, P. Malik, M. Pathania, and V. K. Rathaur, “Overview of artificial intelligence in medicine,” *J. Fam. Med. Prim. Care*, vol. 8, no. 7, pp. 2328–2331, 2019.
- [7] E. Bercovich and M. C. Javitt, “Medical imaging: from roentgen to the digital revolution, and beyond,” *Rambam Maimonides Med. J.*, vol. 9, no. 4, pp. e0034, Oct. 2018.
- [8] A. AlMoammar, L. AlHenaki, and H. Kurdi, “Selecting accurate classifier models for a MERS-CoV dataset,” *Intell. Syst. Appl. Proc. 2018 Intell. Syst. Conf.*, vol. 1, no. 868, pp. 1070–1084, 2018.
- [9] E. Hemdan, M. A. Shouman and M. Karar. (2021, Jun 16). *Covidx-net: A framework of deep learning classifiers to diagnose covid-19 in x-ray images* [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2003.11055>
- [10] X. Xu, X. Jiang, C. Ma, P. Du, X. Li, S. Lv, L. Yu, Q. Ni, Y. Chen, J. Su, G. Lang, Y. Li, H. Zhao, J. Liu, K. Xu, L. Ruan, J. Sheng, Y. Qiu, W. Wu, T. Liang and L. Li, “A deep learning system to screen novel coronavirus disease 2019 pneumonia,” *Engineering*, vol. 6, no. 10, pp. 1122–1129, 2020.
- [11] X. Mei, H. Lee, K. Diao, M. Huang, B. Lin, C. Liu, Z. Xie, Y. Ma, P. Robson, M. Chung, A. Bernheim, V. Mani, C. Calcagno, K. Li, S. Li, H. Shan, J. Lv, T. Zhao, J. Xia, Q. Long, S. Steinberger, A. Jacobi, T. Deyer, M. Luksza, F. Liu, B. P. Little, Z. A. Fayad and Y. Yang, “Artificial intelligence-enabled rapid diagnosis of patients with COVID-19,” *Nat. Med.*, 2020, doi: 10.1101/2020.04.12.20062661.
- [12] E.H. Houssein, Z. Abohashima, M. Elhoseny and W.M. Mohamed. (2021, July 10). *Hybrid quantum convolutional neural networks model for COVID-19 prediction using chest X-Ray images* [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2102.06535v1>.

- [13] E. Acar and İ. Yılmaz, “COVID-19 detection on IBM quantum computer with classical quantum transfer learning,” *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 29, pp. 46–61, 2021.
- [14] W.H. Khoong, (2021, Jun 16). *COVID-19 x-ray dataset (train & test sets) | Kaggle* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/khoongweihao/covid19-xray-dataset-train-test-sets>.
- [15] X. Zhang, L. Fu, M. Karkee, M. D. Whiting and Q. Zhang, “Canopy segmentation using ResNet for mechanical harvesting of apples,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 30, pp. 300–305, 2019.
- [16] C. R. Alimboyong and A. A. Hernandez, “An improved deep neural network for classification of plant seedling images,” in *2019 IEEE 15th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, Penang, Malezya, 2019, pp. 217–222.
- [17] A. A. Ardakani, A. R. Kanafi, U. R. Acharya, N. Khadem and A. Mohammadi, “Application of deep learning technique to manage COVID-19 in routine clinical practice using CT images: results of 10 convolutional neural networks,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 121, pp. 103795, Jun. 2020.
- [18] S. Maharjan, A. Alsadoon, P. W. C. Prasad, T. Al-Dalain, and O. H. Alsadoon, “A novel enhanced softmax loss function for brain tumour detection using deep learning,” *J. Neurosci. Methods*, vol. 330, pp. 108520, 2020.
- [19] A. Mari, N. Killoran, and J. Izaac, (2021, Jun 10). *Quantum transfer learning* [Online]. Available: https://github.com/XanaduAI/quantum-transferlearning/blob/master/c2q_transfer_learning_ants_bees.ipynb.
- [20] S. Ornes, “News Feature: Quantum effects enter the macroworld,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 116, no. 45, pp. 22413 LP – 22417, Nov. 2019.
- [21] M. Andrea, B. R. Thomas, I. Josh, S. Maria and K. Nathan. (2021, July 1). *Transfer learning in hybrid classical quantum neural networks* [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1912.08278v2>.
- [22] S. Garg and G. Ramakrishnan. (2021, July 10). *Advances in quantum deep learning: an overview* [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2005.04316>.
- [23] K. Beer, D. Bondarenko, T. Farrelly, T. J. Osborne, R. Salzmänn and R. Wolf, “Training deep quantum neural networks,” *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, pp. 808, 2020.
- [24] P. L. Bartlett, P. M. Long, G. Lugosi, and A. Tsigler, “Benign overfitting in linear regression,” *Proc. Natl. Acad. Sci.*, pp. 201907378, Apr. 2020.
- [25] H. Zhong, Z. Chen, C. Qin, Z. Huang, V. W. Zheng, T. Xu and E. Chen., “Adam revisited: a weighted past gradients perspective,” *Front. Comput. Sci.*, vol. 14, no. 5, pp. 145309, 2020.
- [26] F. Demir, A. Şengür, V. Bajaj, and K. Polat, “Towards the classification of heart sounds based on convolutional deep neural network,” *Heal. Inf. Sci. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 16, 2019.
- [27] Z. Yang, C. Wang, Z. Zhang, and J. Li, “Mini-batch algorithms with online step size,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 165, pp. 228–240, 2019.
- [28] TensorFlow, (2021, Jun 4). *TensorFlow quantum* [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org/quantum>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Dış Merkezi Çelik Çapraz Tiplerinin Çerçeve Davranışına ve Yapı Maliyetine Etkisinin İncelenmesi

 Şenol GÜRSOY^{a,*},  Ayşegül YILMAZ^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sgursoy@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.905031

ÖZ

Bugün Türkiye’de çelik yapıların tasarımı ve deprem davranışları, özellikle yüksek yapıların projelendirilmesinde, inşaat mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Diğer taraftan özellikle deprem ve rüzgâr gibi yatay etkilere karşı değişik yanal yük taşıyıcı çelik çerçeve türleri uygulanmaktadır. Bu nedenle doğru çelik taşıyıcı sistem seçiminin önemli olduğu açıkça ortadır. Bu çalışmanın temel amacı çelik yapıların özellikle depremlere karşı dayanımını artıran, farklı dış merkezi çelik çapraz tiplerinin söz konusu yapıların davranışına etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemektir. Yapısal çözümlerden elde edilen sonuçlar, dış merkezi çelik çaprazlara sahip olan yapı modellerinin moment aktaran çerçeveye göre daha güvenli olduğunu ve çelik yapıların yanal rijitliği artıran dış merkezi çelik çapraz elemanların varlığının yapı performansını artırdığını ortaya koymaktadır. Bu husus Türkiye’de inşa edilecek çelik yapılarda, yapı güvenliği bakımından çapraz elemanlara sahip çelik taşıyıcı sistemlerin tercih edilmesinin daha rasyonel olacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Taşıyıcı Sistemler, Dış Merkezi Çelik Çaprazlar, Sta-Steel, Yapı Maliyeti

Investigation of the Effect of Eccentrically Steel Braced Types on Frame Behaviour and Structure Cost

ABSTRACT

Today, design and seismic behaviour of steel structures in Turkey, especially in the design of high-rise buildings, it is very important in terms of civil engineering. On the other hand, different types of lateral load carrying steel frames are applied against horizontal effects such as especially earthquake and wind. Therefore, it is obvious that the right steel structural system selection is important. The main purpose of this study is to examine comparatively the effects of different external central steel cross types on the behaviour of these structures, which increase the resistance of steel structures, especially against earthquakes. The results obtained from the structural analyses reveal that the building models having external central steel braces are safer than the moment transmitting frame and the presence of external central steel cross members, which increase lateral rigidity in steel structures, increases the performance of the structure. This matter, the steel structures will be built in Turkey, it shows that it would be more rational to prefer steel structural systems having cross members in terms of safety.

Keywords: Steel Structural Systems, External Central Steel Braces, Sta-Steel, Structure Cost

I. GİRİŞ

İnsanoğlu yapıları inşa etmek için birçok malzeme ve yapım tekniği geliştirilmiştir. Bu malzeme ve yapım tekniklerden biri de çelik ve onun yapım tekniğidir. Ancak son yıllarda daha çok betonarme yapım tekniğine yönelme olmuştur. Buna karşın 17 Ağustos Gölcük ve 12 Kasım Düzce 1999 depremlerinden sonra yaşanan tecrübeler çelik taşıyıcı sistemlerin kullanımı gündeme getirmiştir [1]. Çelik üretiminde ülkemiz dünyada ön sıralarda yer almasına rağmen maalesef bu durumu yapı tasarımına yansımamıştır. Günümüzde Türkiye’de çelik yapıların köprüler ve sanayi tesislerinin dışında kullanımı oldukça azdır.

Çelik yapıların taşıyıcı elemanlarının deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklere karşı yeterli performansı göstermesi istenilmektedir. Bunun için birçok yapım tekniği uygulanmaktadır. Bu uygulamalardan biri de çelik diyagonal (çapraz) elemanların kullanılmasıdır. Zira diyagonal elemanların çelik çerçevelerde katlararası şekildeğiştirmeleri azaltıcı, enerji dağıtıcı ve rijitlik arttırıcı gibi işlevleri bulunmaktadır. Böylece tüm yapının davranışının iyileştirilmesinde ve oluşabilecek hasarları azaltıcı yönde katkılarının olduğu söylenebilir [2-9]. Çelik yapılarda kullanılacak diyagonal eleman tipinin seçimi, taşıyıcı sistemin yüksek yanal rijitliğe ve enerji tüketimine katkısıyla birlikte diyagonalin burkulmasını da etkilemektedir [10]. Bunlardan dışmerkezi çelik diyagonal elemanlar (çelik çaprazlı perdeler) iki sakıncayı gidermek için kullanılmaktadır. Dışmerkezi çelik çaprazlı perdelerin (DÇÇP), yüksek elastik rijitliğe ve deprem, rüzgâr, yanal zemin etkisi vb. gibi yatay yükler etkisinde mükemmel bir enerji yutma kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bunlar, deprem bölgeleri için oldukça uygun taşıyıcı sistemlerdir [11]. Bugün dışmerkezi çelik çaprazlı perdeler birçok geometrik biçimde uygulanabilmektedir.

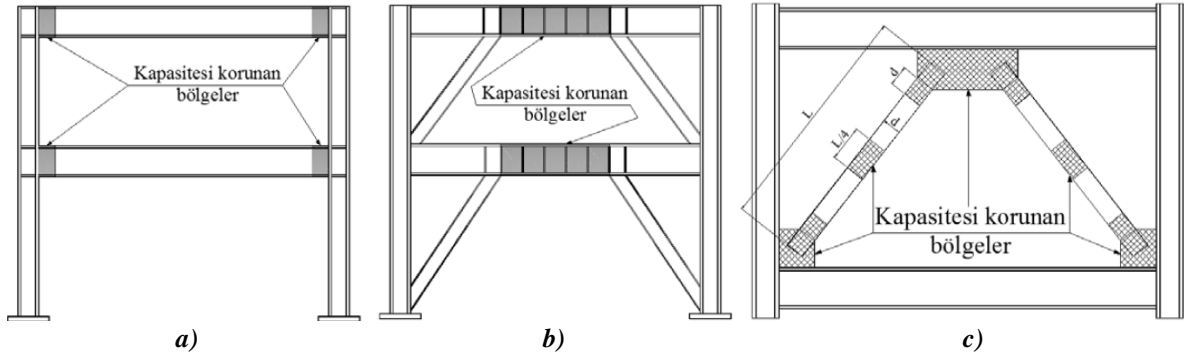
Bu çalışmada çelik yapılarda kullanılan dış merkezi çapraz türlerinin yapısal performans ve yapı maliyeti üzerine etkisinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla farklı dış merkezi çelik çapraz tiplerine sahip çelik yapı modellerinin yapısal çözümlenmeleri Sta-Steel [12] programı yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Yapısal çözümlenmelerden elde edilen bulgular birbirleriyle karşılaştırılarak bazı sonuç ve öneriler sunulmaktadır.

II. TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ÇELİK YAPILARIN TASARIM İLKELERİ

Dünyanın aktif deprem kuşakları biri üzerinde bulunan Türkiye’de hızlı bir yapılaşma süreci birlikte son yıllarda çelik yapılar daha geniş bir uygulama alanına bulmuşlardır. Durum böyle olunca çelik yapıların depremlere dayanıklı tasarımlarının gerekliliği açıkça ortadadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında yaygın olarak kabul edilen tasarım felsefesi, oluşacak şiddetli depremlerde taşıyıcı sistemin tamamen göçmemesi ve can kaybının yaşanmamasıdır. Buna göre oluşan depremler sonrası yapının işlevine devam etmesi ve meydana gelen yapı hasarının da sınırlı ve onarılabilir düzeyde olması, yapı içindekilerinin can güvenliğinin sağlanması ve göçmenin önlenmesi şeklinde olmak üzere farklı performans seviyelerine göre belirli düzeylerde güvenliğin sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla depremler etkisindeki çelik yapı taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve birleşim detaylarının düzenlenmesi ilgili standart ve yönetmeliklere göre yapılmalıdır. Çelik yapıların depreme dayanıklı tasarımları ve uygulama esaslarıyla ilgili Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) bilgiler yer almaktadır [13].

TBDY’de çelik yapı sistemlerinden; yeterli sünekliğine sahip olması, doğrusal olmayan şekildeğiştirme yapabilmesi ve sistemin plastik şekildeğiştirmeler sırasında taşıyıcı elemanlarında ve/veya sistem genelinde gevrek göçme mekanizmalarının meydana gelmemesi istenmektedir. Buna göre süneklik düzeyi yüksek yatay yük taşıyan sistemlerin kapasitesi korunmuş bölgeleri; moment aktaran çelik çerçevelerde plastik mafsal bölgeleri, dışmerkez çelik çaprazlı çerçevelerin bağ kirişleri

ve merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin çapraz elemanlarının uç ve orta bölgelerinden oluşmaktadır (bkz. Şekil 1).



Şekil 1. Farklı çelik çerçeve türleri için kapasite korunan bölgeler a) Moment aktaran çelik çerçeve b) Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeve c) Merkezi çelik çaprazlı çerçeve [13].

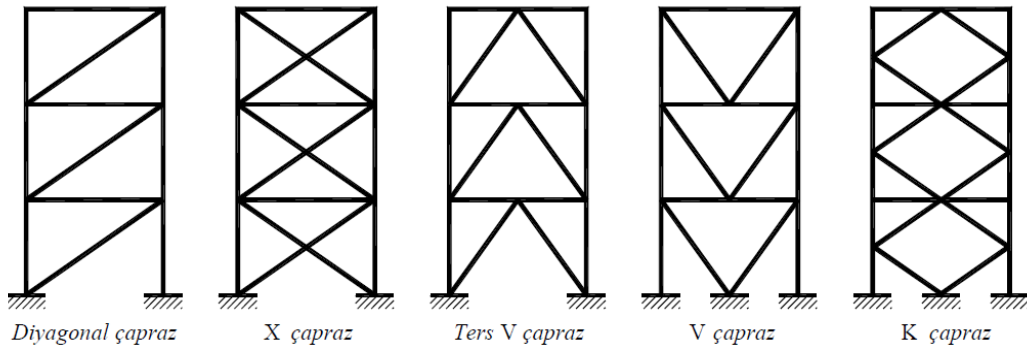
Çelik yapıların aşırı yer değiştirmelerini engellemek için yeterli rijitliğe ve aşırı yükleme durumunda da göçmeyi önlemek için yeterli sünekliğe sahip olmaları gerekmektedir. Çelik yapılarda bu iki kriteri sağlamak için TBDY’de üç ana taşıyıcı sistem önerilmektedir. Bunlar; moment aktaran çelik çerçeveler (MAÇÇ), merkezi çelik çaprazlı çerçeveler (MÇÇÇ) ve dış merkez çelik çaprazlı çerçeveler (DMÇÇÇ) şeklindedir.

A. MOMENT AKTARAN ÇELİK ÇERÇEVELER

TBDY’de moment aktaran çelik çerçeveler, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı olmak üzere iki tip olarak tanımlanmıştır. Moment aktaran sistemlerin tasarım amacı, oluşabilecek plastik mafsalların kolonlar yerine kirişlerde ve/veya kolon-kiriş birleşimlerinde meydana gelmesini sağlamaktır. MAÇÇ’in çalışma prensibi, söz konusu çerçevenin deprem enerjisini sönmüleyecek şekilde yerdeğiştirme yapmasına dayanmaktadır.

B. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

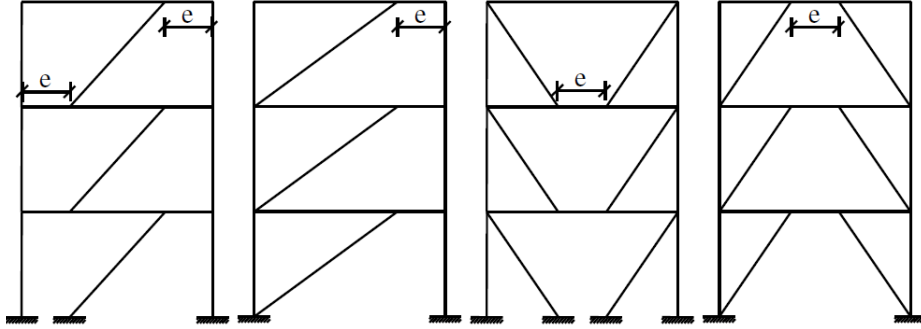
MÇÇÇ çapraz elemanların merkez çizgileri ana çerçevenin düğüm (birleşim) noktalarına düzenli bir şekilde birleşimiyle oluşturulmaktadır. Diğer bir ifadeyle düşey taşıyıcı çerçeve sistemin düğüm noktalarının birleştirilmesiyle oluşturulan kafes sistemlerdir. MÇÇÇ sistemler, MAÇÇ sistemlerine göre daha büyük yatay rijitliğe sahip olmaktadır. MÇÇÇ sistemlerde kat ötelemeleri sınırlandırılırken aynı zamanda kullanılan malzemeden de tasarrufu sağlanabilmektedir. Bu tür sistemleri X, V, K ve Δ şeklinde tasarlamak mümkündür (bkz. Şekil 2).



Şekil 2. Merkezi çelik çaprazlı çerçeve sistemlerinin türleri [13].

C. DIŞ MERKEZ ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

DMÇÇÇ sistemler yüksek süneklik ve enerji yutma kapasitesine sahiptirler. Bu tür sistemler; diyagonal dışmerkez çaprazlı sistemler, V dışmerkez çaprazlı sistemler ve Λ dışmerkez çaprazlı sistemler olarak tasarlanabilmektedir (bkz. Şekil 3).



Şekil 3. Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeve sistemlerinin türleri [13].

Çelik yapılarda deprem yüklerini karşılamak için kullanılan MAÇÇ ve MÇÇÇ yerine son dönemlerde çerçeve kirişlerini iki veya daha fazla parçalara bölen dış merkez çapraz elemanların yerleştirilmesiyle oluşturulmuş moment taşıyabilen çerçeveler kullanılmaktadır. Bu çerçevedeki bölünmüş kirişlerin en küçük parçasına bağlantı (bağ) kirişi adı verilmektedir. Söz konusu çerçevedeki bu bağlantı kirişleri önemli ölçüde doğrusal olmayan şekildeğiştirme yapabilme özelliğine sahiptirler. Bu nedenle söz konusu bağlantı kirişleri depremler esnasında ortaya çıkan deprem enerjisinin büyük kısmını plastik kesme ve eğilme şekildeğiştirmeleri ile tüketebilmektedirler. DMÇÇÇ boyutlandırılması ve tasarımına ilişkin TBDY'e bakılabilir [13].

III. ÇELİK YAPILARIN TASARIM, HESAP VE YAPIM ESASLARINA DAİR YÖNETMELİĞİNE GÖRE TASARIM İLKELERİ

Günümüzde deprem tehlikesi bulunan ülkelerde çelik yapıların inşasının önemi daha da artmaktadır. Buna bağlı olarak, sürekli gelişmekte olan inşaat sektöründeki gelişmelere bağlı olarak yönetmelikler oluşturulmuştur. Türkiye'de çelik yapıların tasarımına ilişkin hususlar Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliğinde (ÇYTHYEDY) verilmektedir [14]. Bu yönetmeliğe göre;

- 1) Çelik yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan yapısal elemanların ve birleşimlerinin tasarımı, söz konusu yapının kullanım ömrü boyunca kendisinden beklenen tüm işlevlerini güvenli bir şekilde yerine getirebilecek yeterli dayanım, kararlılık ve rijitliğe sahip olacak biçimde dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumları esas alınarak yapılması gerekmektedir.
- 2) Dayanım sınır durumu, dayanım ya da stabilite yetersizliği nedeniyle bölgesel veya tamamen göçme durumunu tanımlamaktadır. Buna karşılık kullanılabilirlik sınır durumu ise, yapıdan beklenen işlevleri engelleyen aşırı şekil değiştirmeler ve benzeri özellikleri tanımlamaktadır.

Bu yönetmeliğe göre birleşimlerin tasarımında esas alınacak iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, yapısal çözümlemenin kabullerini ve birleşimden beklenen performans özelliklerine bağlı olarak belirlenmektedir. Birleşimler genellikle mafsallı ve moment aktaran birleşimler olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Birleşim ve birleşim elemanlarının tasarımıyla ilgili koşullar için çelik yapılar yönetmeliğine bakılabilir [14].

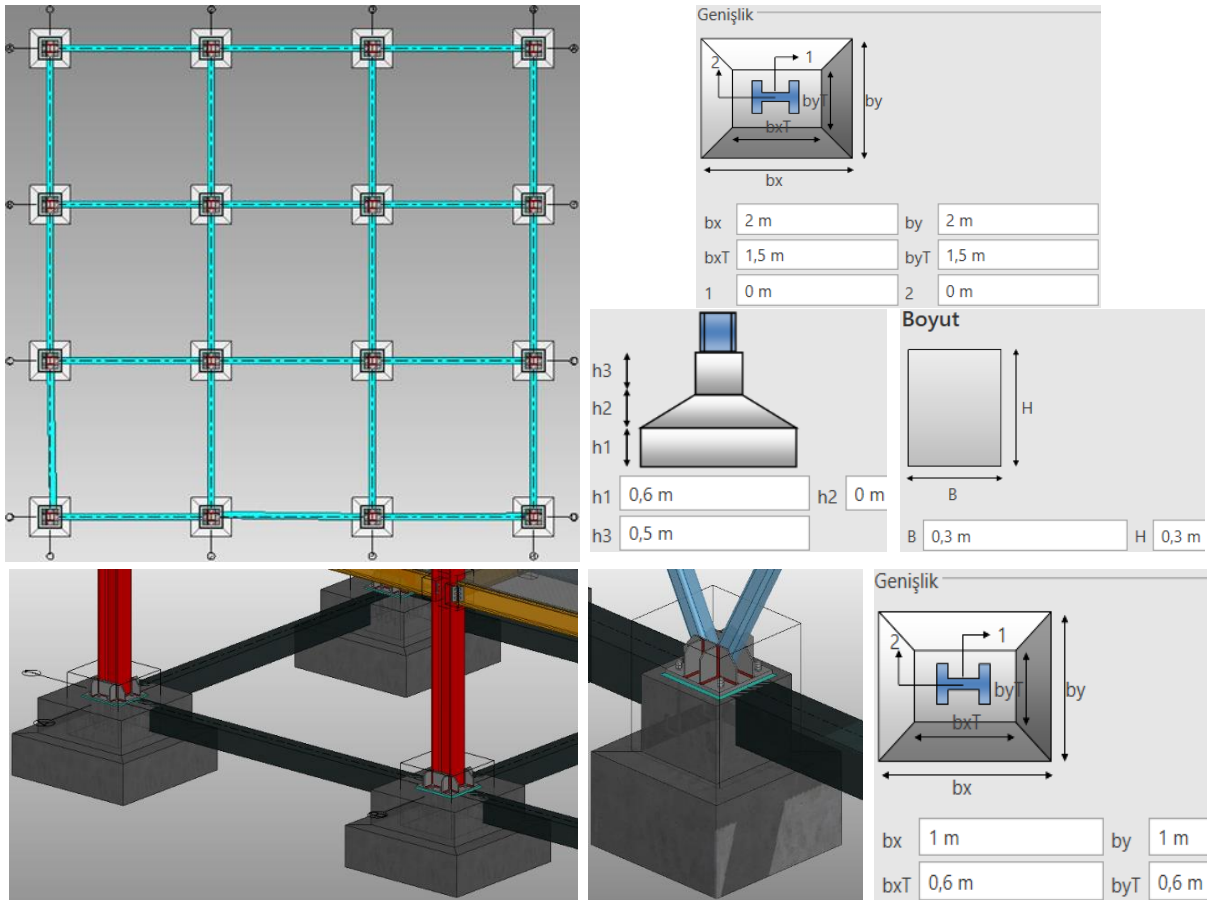
Mafsallı birleşimler; eğilme momentinin sıfır veya sıfıra yakın olduğu, buna karşılık birleşim elemanları arasında dönme hareketine izin veren birleşimlerdir.

Moment aktaran birleşimler; bunlar rijit moment aktaran birleşimler ve yarı rijit moment aktaran birleşimler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.

IV. ÇELİK YAPI MODELLERİNİN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Bu çalışmada aynı boyutlara sahip yedi adet çelik yapı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan yapı modellerine farklı şekillerde ve konumlarda dış merkezi çelik çaprazlar eklenmiştir. Bu şekilde tasarlanarak oluşturulan çelik yapı modellerinin yapısal çözümlenmeleri Sta-Steel programı [12] yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Böylece oluşturulan her bir modelin yeterli emniyeti sağlayan en ekonomik kesitlerinin belirlenmesi ve modellerin deprem etkisi karşısındaki, özellikle dış merkezi çelik çaprazların, davranışları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Çelik yapı modelleri 5 kat olarak tasarlanmış, her bir katın yüksekliği 3 m ve aks aralıkları 6 m olup toplam 3 açıklıktan oluşmaktadır (bkz. Şekil 4). Çubuk elemanlar kullanılarak oluşturulan modellerin kolon ve kiriş boyutları Çizelge 1'deki gibi seçilmiş ve ikincil ara kirişler 1,5 m aralıklarla yerleştirilmiştir [15]. Ayrıca çelik yapı modellerinin tüm taşıyıcı sistemlerinde S335 çelik malzeme kullanıldığı kabul edilmektedir [14]. Deprem yükleri etkisindeki yapısal elemanların birleşim ve ekleri ile temel bağlantılarında bulonların akma gerilmesi $F_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Yapı modellerinde kullanılan çeliğin Elastisite Modülü $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$ 'dir.



Şekil 4. Yapı modellerinin temel planı ve temel detay-boyutlarından görünüm

Çizelge 1. Çelik yapı modellerinin taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan profiller

Yapı modellerinin taşıyıcı sistem elemanları	Kullanılan profiller
Kolonlar	HE 340B
Ana kirişler	IPE 300
Ara kirişler	IPE 220
Çapraz elemanlar	R120x10

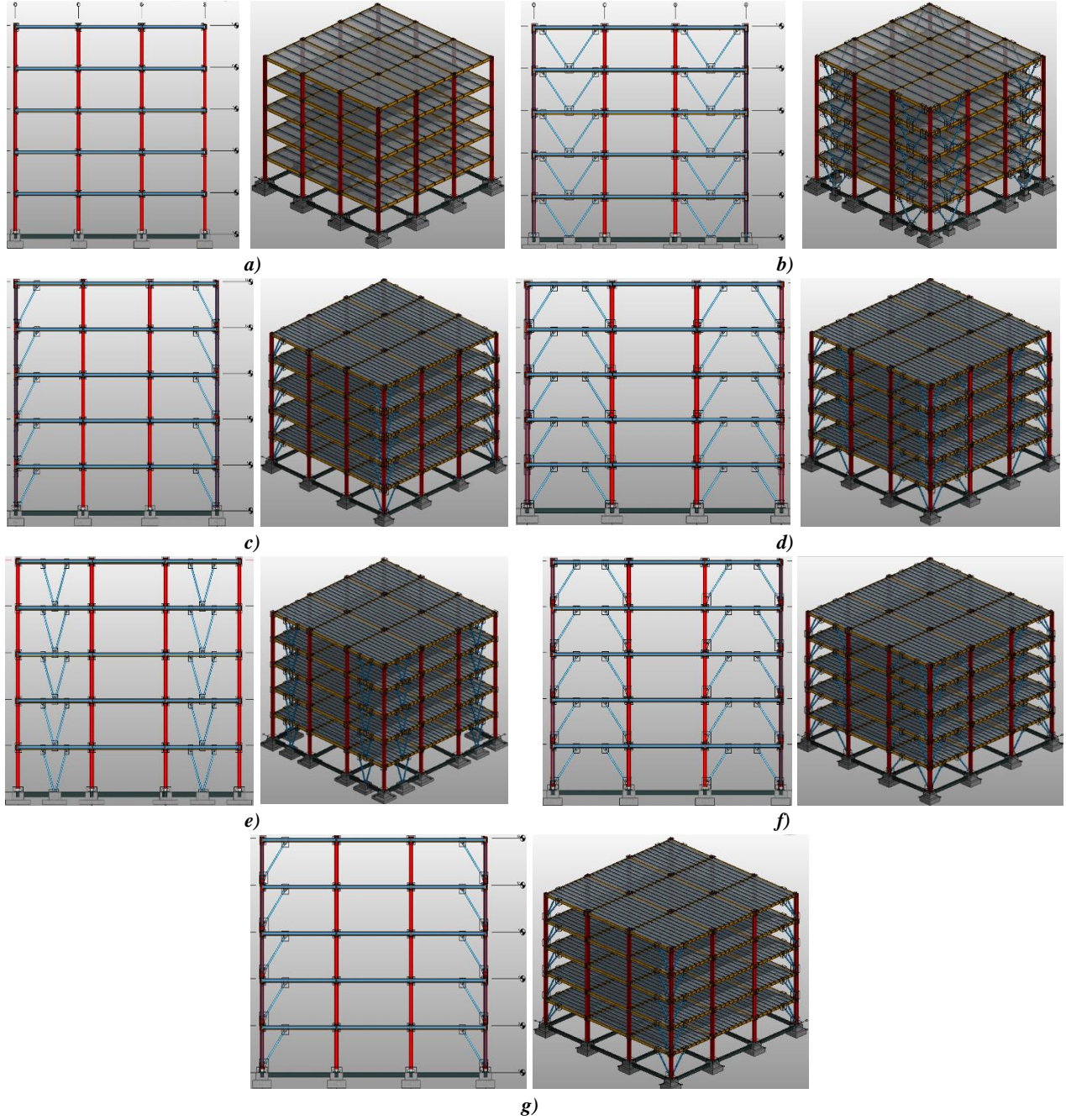
Örnek olarak seçilen çelik yapı modellerine ilişkin diğer özellikler aşağıda verilmektedir.

- Model 1 moment aktaran çerçeve olarak tasarlanmış, bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir (bkz. Şekil 5a).
- Model 2'de bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 80 cm uzunluğunda bağ kirişler ve R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi V çelik çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5b).
- Model 3'te bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslarda R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi çelik diyagonal çaprazlar oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5c).
- Model 4'te bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 80 cm uzunluğunda bağ kirişler ve R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi A çelik çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5d).
- Model 5'te bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 1,5 m uzunluğunda bağ kirişler ve R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi V çelik çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5e).
- Model 6'da bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 80 cm uzunluğunda bağ kirişler ve kolona merkezden 35 cm yukarıdan R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi A çelik çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5f).
- Model 7'de yine bütün kolon ve kiriş boyutlarının Çizelge 1'deki gibi olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca bu modelde dış akslar, 1,5 m uzunluğunda bağ kirişler ve kolona merkezden 35 cm yukarıdan R120x10 kutu profil kullanılarak dış merkezi çelik diyagonal çaprazlardan oluşturulmuştur (bkz. Şekil 5g).

Burada Şekil 5'te verilen modelin referans model olduğunu, diğer modellerin bağ kirişlerin (e) uzunluğuna bağlı olarak ve söz konusu çaprazların kolonlara farklı noktalardan bağlantı yapılarak dış merkezi çelik çaprazlar tiplerinin oluşturulduğunu belirtmek uygun olacaktır. Söz konusu modellerin bu ayrıntıları Çizelge 2'de özetlenmektedir.

Çizelge 2. Yapı modellerinin bağlantı ayrıntılarına ilişkin bilgileri

Modeller	Çapraz elemanlar	Bağ kiriş uzunlukları (m)	Çapraz elemanların kolon birleşim noktası
Model 1	-	-	-
Model 2	R120x10	0,80	Merkezden
Model 3	R120x10	1,5	Merkezden
Model 4	R120x10	0,80	Merkezden
Model 5	R120x10	1,5	Merkezden
Model 6	R120x10	0,80	0,35
Model 7	R120x10	1,5	0,35



Şekil 5. Yapı modellerinin kesitleri ve 5 katlı görünüşleri **a)** model 1, **b)** model 2, **c)** model 3, **d)** model 4, **e)** model 5, **f)** model 6 ve **g)** model 7 görünümü

Oluşturulan yapı modellerinin TBDY'ye göre her iki doğrultuda süneklik düzeyi yüksek (SDY) çerçeveler olarak dikkate alınacaktır. Burada dikkate alınan bütün çelik yapı modellerinin kat alanları eşit olarak seçilmiştir. Ayrıca bütün modellerin Karabük ili Kurtuluş mahallesinde inşa edileceği buna bağlı olarak Türkiye deprem haritasından 41,21329 enlem ve 32,63601 boylama ilişkin tasarım parametrelerinin alındığı kabul edilmektedir [15]. Ayrıca çelik yapı modelleri elemanlarına etkileyen yüklerin hesaplanmasında bugün yürürlükte bulunan TS-498 *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri* yönetmeliği kullanılmaktadır [16]. Yapısal çözümlerinde dikkate alınan diğer tasarım parametreleri Çizelge 3'te verilmektedir.

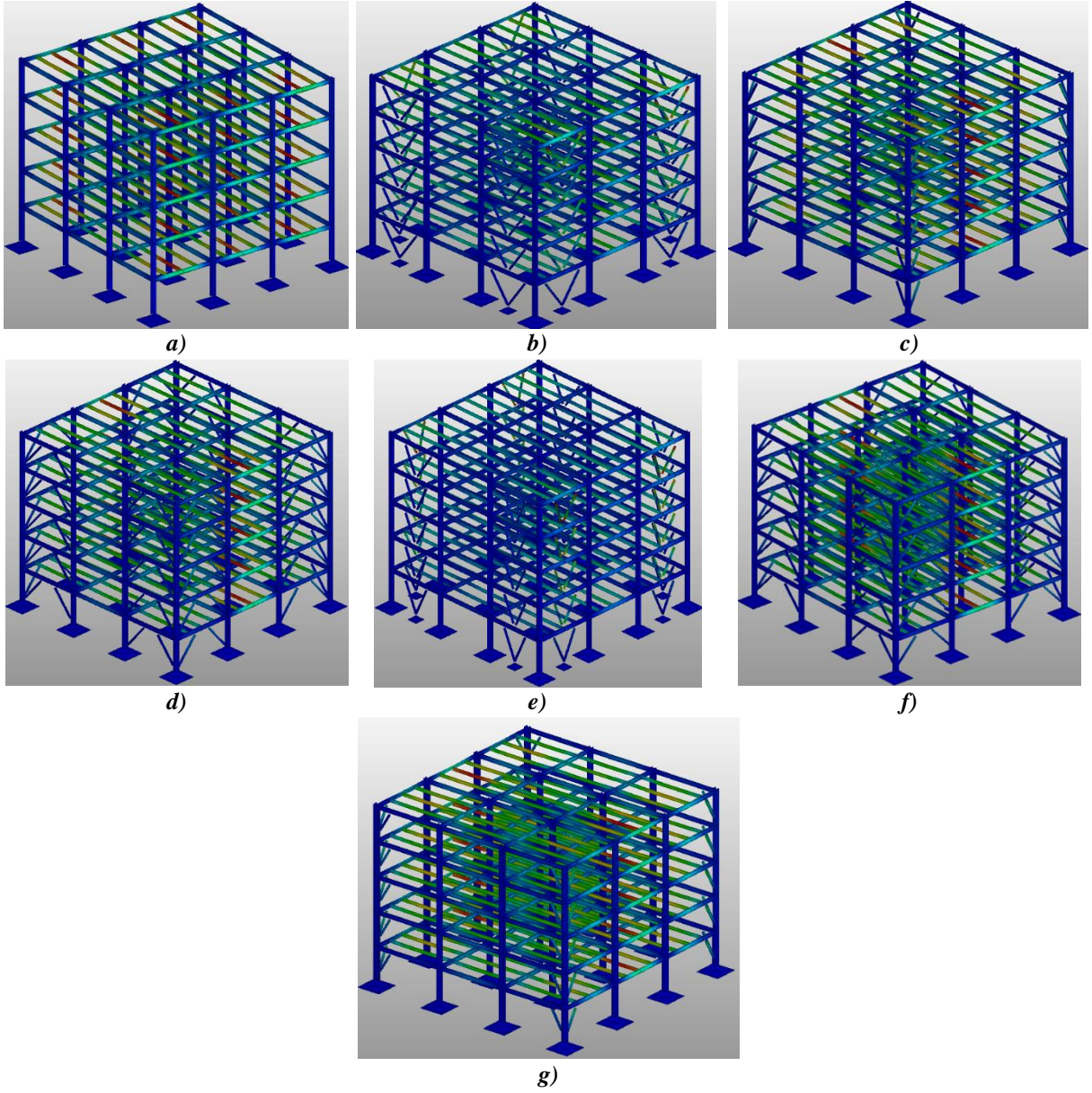
Çizelge 3. Yapısal çözümlerinde dikkate alınan diğer tasarım parametreleri

Bina önem katsayısı (konut ve işyeri), I	1
Taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R_x ve R_y)	8
Hareketli yük katılım katsayısı (konutlar ve işyeri)	0,30
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_s)	0,722
1s'lik periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0,2337
Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{ds})	0,8744
1s'lik periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{d1})	0,351
Deprem yer hareketi düzeyi	DD2
Deprem tasarım sınıfı	DTS1
Dayanım fazlalığı katsayıları (D_x ve D_y)	3
ZC yerel zemin sınıfı için temel zemini taşıma gücü (kN/m^2)	150
ZC yerel zemin sınıfı için temel zemini yatak katsayısı (kN/m^3)	10000
Modal analiz min yük oranı (β)	0,90
Deprem ek dışmerkezliliği	0,05
Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu, T_A (s)	0,08021
Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu, T_B (s)	0,40103
Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu, T_L (s)	6
Kar yükü (kN/m^2)	0,75
Hareketli yükü(kN/m^2)	2
Rüzgar yükü (kN/m^2)	8 m yüksekliğe kadar 0,5 20m yüksekliğe kadar 0,8

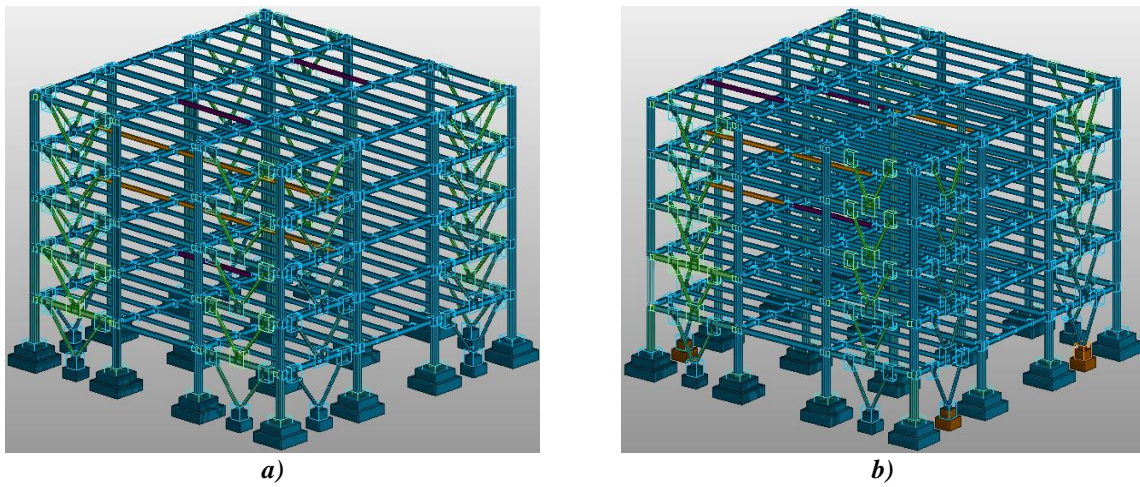
V. YAPISAL ÇÖZÜMLEMELERİNDEN ELDE EDİLEN BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Çelik yapı modellerinin sabit yüklere göre gerçekleştirilen yapısal çözümleri sonucu taşıyıcı sistem elemanlarının zorlanmalarının görünümü Şekil 6'da verilmektedir. Böylece statik analiz sonuçlarına göre en olumsuz kesitlerinin bulunduğu elemanlar ve/veya noktalar seçilmiştir.

Bu çalışmada dikkate alınan farklı dış merkezi çaprazlara sahip çelik yapı modellerinin Sta-Steel programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümleri sonucu yetersiz kalan yapısal elemanlarının görünümü Şekil 7'de verilmektedir. Bu şekillerden model 2 ve model 5'in ara kirişlerde kullanılan profillerin bazılarının yetersiz olduğu görülmektedir. Bu bulgu söz konusu modellerin mevcut durumuyla emniyetsiz olduğunu dolayısıyla da yeterli emniyeti sağlamak için model 2 ve model 5'in yetersiz olan yapısal elemanlarının kesit boyutlarının artırılması gerekliliği ortaya koymaktadır. Durum böyle olunca yetersiz olan ara kirişlerde IPE 220 yerine IPE 240 profili kullanılarak yeterli emniyet sağlanmıştır. Ayrıca model 5'te çapraz elemanların açıklık ortasında mesnetlendiği bazı temellerinin yetersiz olduğu görülmektedir. Söz konusu temeller boyutları 1,5 x 1 m seçilerek güvenli duruma getirilmiştir.

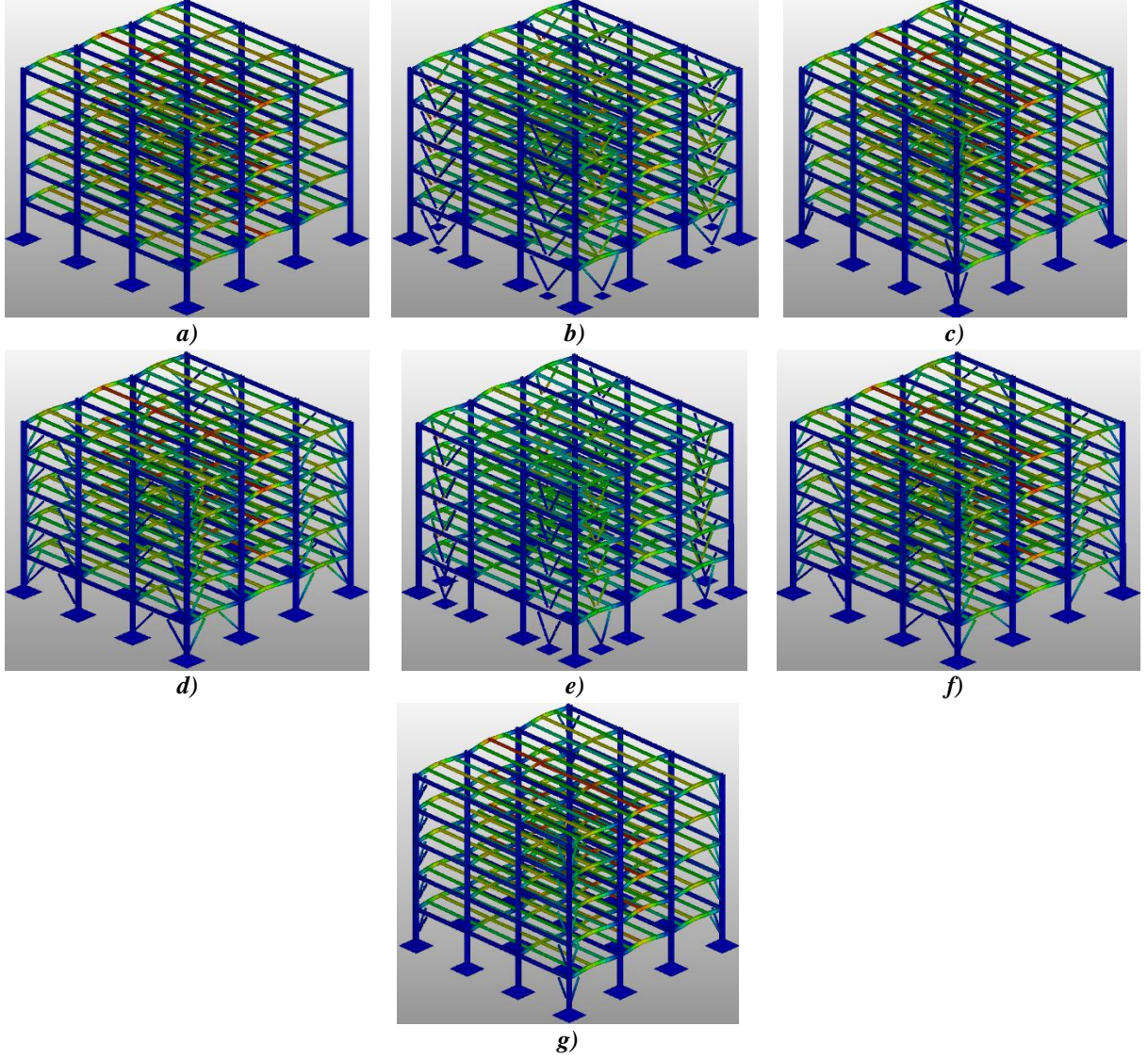


Şekil 6. Çelik yapı modellerinin sabit yükler için yapısal elemanlarının zorlanmalarından görüntümler **a)** model 1, **b)** model 2, **c)** model 3, **d)** model 4, **e)** model 5, **f)** model 6 ve **g)** model 7



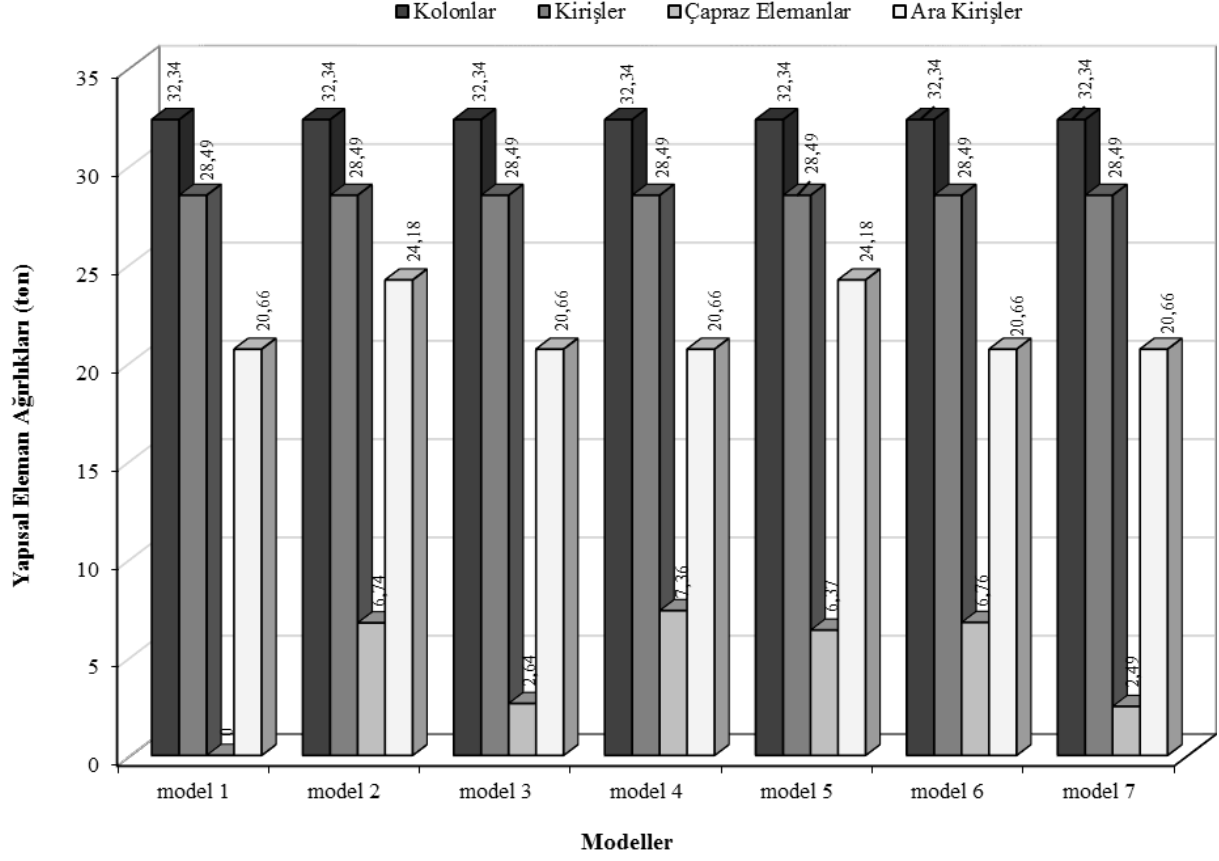
Şekil 7. Sabit yükler için model 2 ve 5'in yetersiz olan yapısal elemanlarından görüntümler **a)** model 2, **b)** model 5

Bu makalede dikkate alınan farklı çelik yapı modellerinin depreme göre gerçekleştirilen yapısal çözümleri sonucu yetersiz olan yapısal elemanlarının görünüşleri Şekil 8’de verilmektedir. Bu şekillerden model 2 ve model 5 hariç diğer yapı modellerinin bazı ara kirişlerinin yetersiz olduğu görülmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi yeterli emniyeti sağlamak için model 2 ve model 5’in ara kirişlerinde IPE 240 profilinin kullanıldığı göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 8. Yapı modellerinin deprem yükü için yetersiz olan yapısal elemanlarından görünüşler a) model 1, b) model 2, c) model 3, d) model 4, e) model 5, f) model 6 ve g) model 7

Dikkate alınan modellerin taşıyıcı sistem yapısal elemanlarında kullanılan malzeme ağırlıklarının değişimleri Şekil 9’da ve 1 m^2 ’ye düşen çelik ağırlıkları ise Çizelge 4’te verilmektedir. Bu şekil ve çizelgeden taşıyıcı sistem ağırlığı bakımından 1 m^2 ’deki çelik ağırlığı $41,9 \text{ kg/m}^2$ ve toplam ağırlığı 81,499 ton olan moment aktaran çerçeve sistemin (model 1’in) en ekonomik taşıyıcı sistem olduğu görülmektedir. Buna karşın en ağır taşıyıcı sistemin, 1 m^2 ’deki çelik ağırlığı 47 kg/m^2 ve toplam ağırlığı 92,266 ton olan dış merkezi V çaprazlı sistemin (model 2’nin) olduğu görülmektedir. Diğer taraftan genel olarak tüm modellerin için 1 m^2 ’deki çelik ağırlıklarına bakıldığında aralarındaki farkın fazla olmadığı, 1 m^2 ’deki çelik ağırlığına ilişkin değerler $41,9 \text{ kg/m}^2$ ile $47,5 \text{ kg/m}^2$ arasında değişmektedir.



Şekil 9. Yapı modellerinin taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme ağırlıklarının değişimleri

Çizelge 4. Modellerin 1 m²'ye düşen ağırlıkları

Modeller	1 m ² 'ye çelik miktarı (kg)
model 1	41,9
model 2	47,5
model 3	43,4
model 4	45,7
model 5	47,0
model 6	45,4
model 7	43,2

Farklı dış merkezi çelik çaprazlara sahip yapı modellerinin, mod birleştirme yöntemine göre gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden, elde edilen periyot değerleri Çizelge 5'te verilmektedir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi 1. mod için model 1'den elde edilen periyot değerleri dikkate alınan modellerden elde edilen periyot değerlerinden daha büyük olmaktadır. Buna karşın dış merkezi Δ çaprazlı sistemin (model 5'in) periyot değerinin en düşük olduğu görülmektedir. Bu durum rijitleştirici elemanların yapı modellerinde kullanılmasıyla birlikte periyot değerlerini önemli ölçüde azaldığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bu bulgu söz konusu yapı modellerinin çelik çapraz elemanlar kullanılarak yapının rijitliğinin artmasıyla periyot değerlerinin azaldığını göstermektedir.

Çizelge 5. Yapı modellerinin mod şekillerine bağlı periyot değerleri

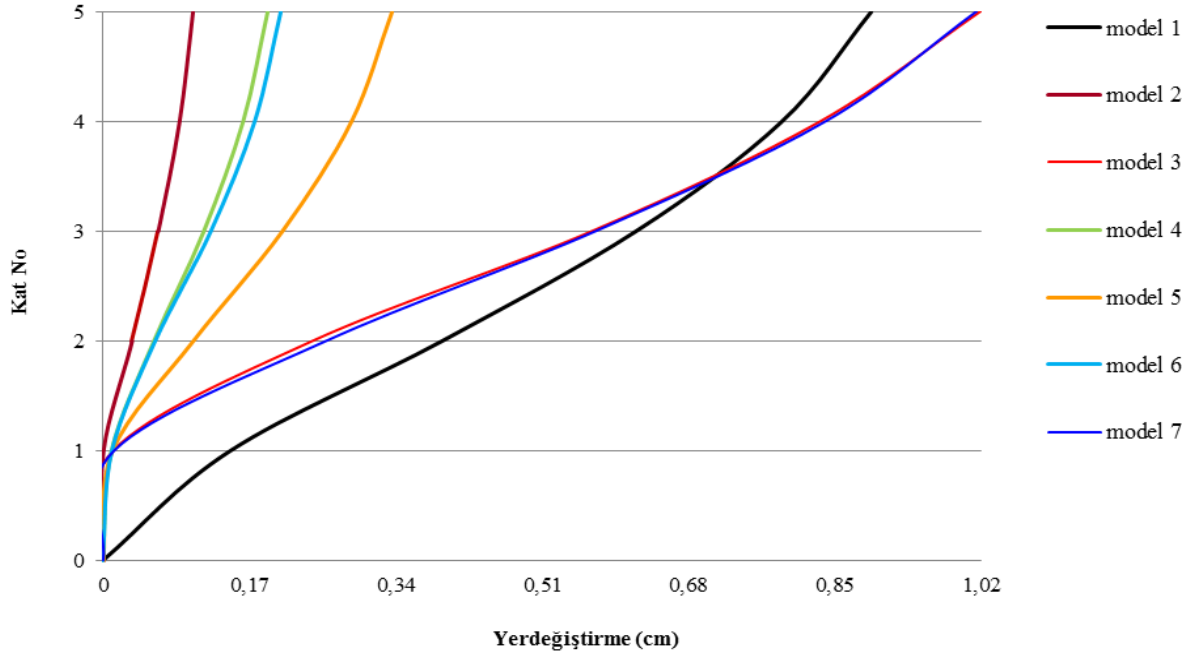
Modeller	Periyot değerleri (s)		
	1.mod	2.mod	3.mod
model 1	0,5445	0,2350	0,2335
model 2	0,2438	0,2421	0,2404
model 3	0,3812	0,2353	0,2330
model 4	0,2402	0,2385	0,2364
model 5	0,2374	0,2357	0,2327
model 6	0,2395	0,2372	0,2361
model 7	0,3809	0,2355	0,2333

Farklı dış merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin Sta-Steel programıyla mod birleştirme (MB) ve eşdeğer deprem yükü (EDY) yöntemleriyle yapılan yapısal çözümlerinden x ve y doğrultularında elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri Çizelge 6'da verilmektedir. Çizelge 6'dan hem x doğrultusunda hem de y doğrultusunda eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri mod birleştirme yöntemiyle elde edilenlerden büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çizelgeden EDY yöntemine göre hem x hem de y doğrultularında model 2'den elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değeri diğer modellerden daha büyük olmaktadır. Buna karşın MB yöntemine göre hem x hem de y doğrultularında model 1'den elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerinin dikkate alınan diğer yapı modellerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu bulgular özellikle MB yöntemine göre dış merkezi çelik çaprazla sahip olmayan yapı modellerinin (model 1'in) daha büyük kesme kuvvetlerine maruz kaldığını göstermektedir.

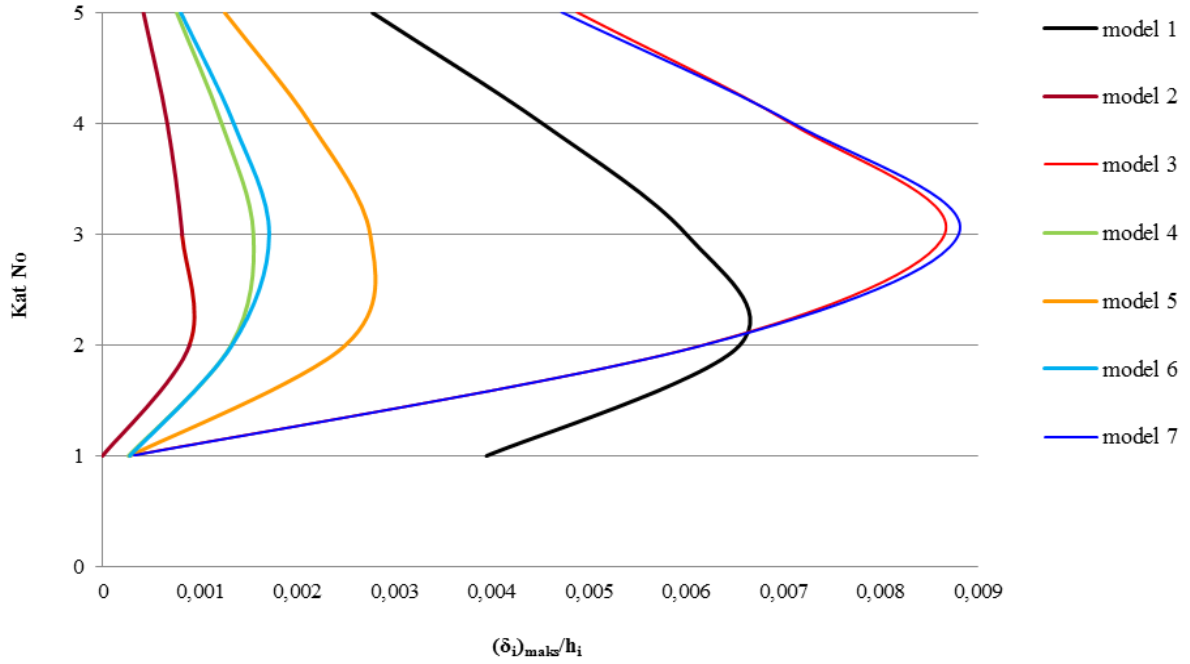
Çizelge 6. Farklı dış merkezi çelik çaprazlı yapı modellerinin maksimum taban kesme kuvveti değerleri

Modeller	Maksimum taban kesme kuvveti değerleri (kN)			
	X doğrultusundaki deprem etkisi		Y doğrultusundaki deprem etkisi	
	MB yöntemi	EDY yöntemi	MB yöntemi	EDY yöntemi
model 1	121,17	212,03	181,94	214,28
model 2	107,59	221,01	171,87	220,68
model 3	98,887	214,47	173,54	216,18
model 4	104,86	214,63	167,38	216,77
model 5	103,43	219,58	174,34	219,89
model 6	104,22	214,48	168,2	216,62
model 7	98,93	214,64	175,57	216,29

Bu makalede dikkate alınan farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanlar ile oluşturulan yapı modellerinin deprem etkisinde gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden yapı yüksekliği boyunca kat seviyelerinde elde edilen maksimum yer değiştirme dağılımları ve etkin görelî kat ötelemeleri değerleri sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmektedir. Bu şekillerden dışmerkezi çelik çapraz elemanlara sahip çelik yapı modellerinin kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirme ve etkin görelî kat ötelemeleri dağılımlarının moment aktaran çerçeveye (model 1'e) göre daha küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca model 1'den elde edilen kat seviyelerindeki yer değiştirme ve etkin görelî kat ötelemeleri değerleri genellikle burada dikkate alınan diğer yapı modellerinden daha büyük olmaktadır. Ancak üst katlarda model 3 ve model 7'den elde edilen yer değiştirme ve etkin görelî kat ötelemeleri değerlerinin dikkate alınan diğer yapı modellerinde daha büyük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu bulgular dışmerkezi çelik çapraz elemanlar sahip yapı modellerinin daha iyi davrandığını diğer bir ifadeyle özellikle depremlerde daha iyi performans göstereceğini ortaya koymaktadır. Ancak elde edilen bu bulgulara göre üst katlarda tek yönlü çapraz elemana sahip yapı modellerinin (model 3 ve model 7'nin) performansının daha kötü olacağı görülmektedir.

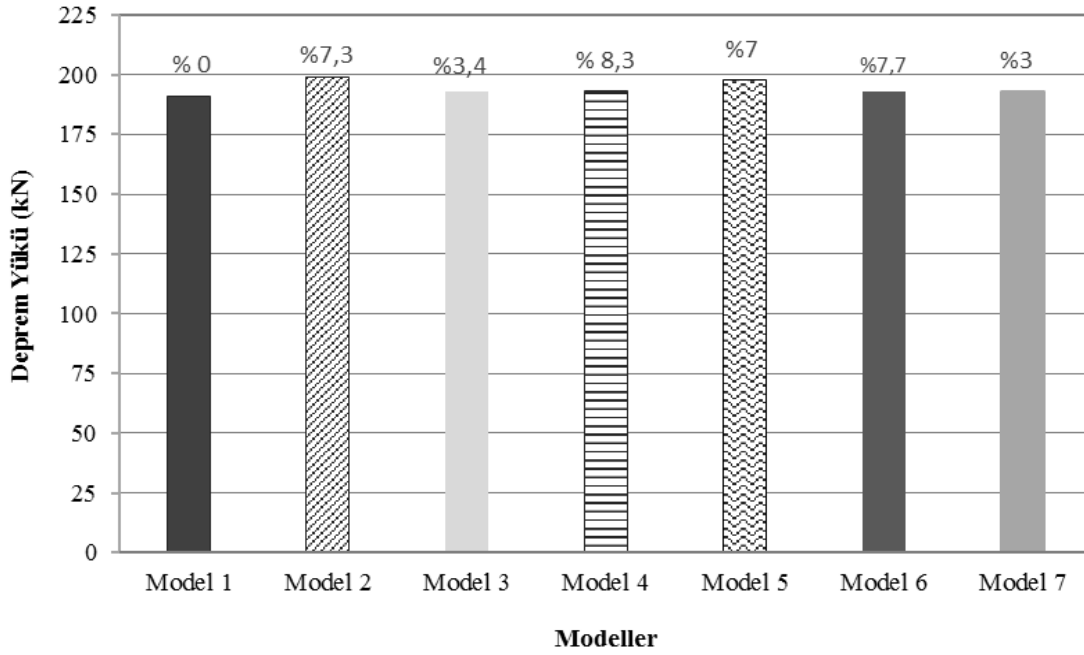


Şekil 10. Yapı modellerinin deprem etkisinde kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirme değerleri



Şekil 11. Yapı modellerinin deprem etkisinde kat seviyelerindeki etkin göreceli kat ötelemeleri değerleri

Yapı modellerinin Sta-Steel programıyla gerçekleştirilen yapısal çözümlerinden elde edilen farklı dış merkezi çelik çapraz oranına karşılık deprem yükünün değişimi Şekil 12’de verilmektedir. Bu şekilden de dış merkezi çelik çapraz oranının artmasıyla deprem yükü artmaktadır. Ancak dış merkezi çelik çapraz oranlarına (%3~8,3) bağlı olarak deprem yükünün artmasının çok fazla olmadığı görülmektedir. Bu bulgu dış merkezi çelik çapraz oranının değil, çapraz elemanlar yerleşimi ve tipinin deprem yükü daha etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 12. Dış merkezi çelik çapraz oranlarına göre yapı modellerinin deprem yükü değerleri

VI. SONUÇLAR

Bu makalede çelik yapıların tasarım ve inşasında yaygın olarak kullanılan farklı dış merkezi çapraz türlerinin söz konusu yapının performansı ve kaba inşaat maliyeti üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen yapısal çözümlerden elde edilen başlıca sonuçları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- Gerçekleştirilen yapısal çözümlerden 1. mod için model 1'den elde edilen periyot değerleri dikkate alınan diğer yapı modellerinden daha büyük olmaktadır. Bu sonuç yapı yanal rijitliğini artıran farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanların söz konusu yapının periyot değerlerini önemli ölçüde azalttığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bu sonuç farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanlarla söz konusu yapı modellerinin güçlendirmesinin periyot değerini azalttığını göstermektedir.
- Hem x doğrultusunda hem de y doğrultusunda eşdeğer deprem yükü yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvveti değerleri mod birleştirme yöntemiyle elde edilenlerden büyüktür. Eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hem x hem de y doğrultularında maksimum taban kesme kuvveti değeri model 2'den elde edilmektedir. Buna karşın mod birleştirme yöntemiyle ise hem x hem de y doğrultularında maksimum taban kesme kuvveti değerinin model 1'den elde edildiği görülmektedir. Elde edilen bu sonuç farklı dışmerkezi çelik çaprazlara sahip yapı modellerinin daha küçük kesme kuvvetlerine maruz kaldığını dolayısıyla da performanslarının daha iyi olacağını göstermektedir.
- Yapı modellerinin kat seviyelerindeki maksimum yerdeğiştirme dağılımları moment aktaran yapı modeline (model 1'e) göre daha küçük olmaktadır. Bu husus yapı yanal rijitliğini artıran farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanların yapı performansı bakımından oldukça önemli olduğunu ortaya koymaktadır.
- Moment aktaran yapı modeli (model 1) ve tek yönlü çapraz elemanlara sahip modellerinde kat seviyesindeki etkin görel kat ötelemeleri değerleri arasındaki fark büyük olmaktadır. Diğer bir ifadeyle farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanlara sahip yapı modellerinin, model 3 ve model 7 hariç, etkin görel kat ötelemeleri dağılımları moment aktaran çerçeveye (model 1'e) göre daha

küçük olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuç farklı dışmerkezi çelik çapraz elemanlara sahip yapı modellerinin, model 3 ve model 7 hariç, daha iyi performans göstereceğini ortaya koymaktadır.

- Yapısal çözümler sonucu dış merkezi çelik çapraz eleman oranının artmasıyla deprem yükünün de arttığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuç dış merkezi çelik çapraz elemanların oranının, yerleşiminin ve tipinin deprem yükünü etkidiğini ortaya koymaktadır.
- Yapı modellerinden 1 m²'deki ağırlığı 47 kg/m² ve toplam ağırlığı 92,266 ton olan dış merkezi V çaprazlı elemanlı yapı sistemi (model 2) en ağır taşıyıcı sistemdir. Bu sonuç model 2'nin emniyet ve ekonomik bakımdan uygun olmadığını ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada kullanılan Sta-Steel programının lisansı Karabük Üniversitesi Rektörlüğü tarafından alınmıştır.

VII. KAYNAKLAR

- [1] C. Kurtay ve M. Badem, “Avrupa ülkeleri ve Türkiye’deki çelik yapı uygulama olanak ve kısıtlarının incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 4, ss. 351-363, 2004.
- [2] Z. Ay, İ. D. Çelik ve N. A. Kımılı, “Çaprazlı çelik çerçevelerin sismik performansı üzerine bazı değerlendirmeler”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 26, s. 1, ss. 7-17, 2010.
- [3] Y. S. Tama, “Çelik yapılarda moment dayanımlı çerçeveler”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 9, s.1, ss. 63-72, 2003.
- [4] B. Bayram, S. Sancioğlu ve S. Çarbaş, “Çelik bir yapıda dışmerkez diyagonal çaprazların etkisi”, *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 1, s.1, ss. 128-145, 2019.
- [5] H. Gönen, “Çok katlı çelik yapılarda yatay deplasmanın diyagonallerle kontrolü”, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, c. X, s. 1, ss. 59-70, 1997.
- [6] B. Akbaş ve S. Doğru, “Seismic energy demands of steel special moment frames”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 35, s. 3, ss. 1111-1128, 2020.
- [7] R. Özçelik, “Burkulması engellenmiş çelik çaprazlar”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 22, s. 3, ss. 160-170, 2016.
- [8] Z. Ay ve İ. D. Çelik, “Dışmerkez çelik çapraz perde bir sistemde bağ kirişi boyunun 2007 Türk Deprem Yönetmeliği açısından incelenmesi”, *İMO Teknik Dergi*, Yazı 372, ss. 5827-5843, 2012.
- [9] S. Arıbaş, S. Sancioğlu ve S. Çarbaş, “Dışmerkez V çaprazların çelik bir yapı üzerinde incelenmesi”, *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 79-97, 2019.
- [10] H. Özkan, “Burkulması önlenmiş çaprazlı çelik yapıların tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2013.
- [11] E. Ar, “Çelik yapıların tasarım metodları ve bunların karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2009.
- [12] *Sta-Steel, Structural Analysis For Steel Structure*, ver.1.3.0.3. www.sta4.net/steeldefault.aspx, 2019.

[13] *TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2019.

[14] *ÇYTHYEDY, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018.

[15] A. Yılmaz, “Çelik çerçevelerde kullanılan dış merkezi çelik çapraz tiplerinin düğüm noktası birleşim detayına ve çerçeve davranışına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2020.

[16] *TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kilis Topraklarından İzole Edilen *Bacillus* B10 Suşunun Üreaz Üretimini İstatistiksel Optimizasyonu

 Hatice Aysun MERCİMEK TAKCI^{a,*},  Pemra BAKIRHAN^b

^a Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, TÜRKİYE

^b Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mersimek@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.912503

ÖZ

Bu çalışmada Kilis ili toprak örneklerinden üreaz üretici *Bacillus* spp. suşları izole edilmiştir. B10 ve B11 olarak isimlendirilen suşlardan saflaştırılan intraselüler üreazın spesifik aktiviteleri 1.38 ± 0.07 ve 1.22 ± 0.02 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 'dir. B10 suşunun üreaz üretimini arttırabilmek için "Design Expert statistical software" (Design Expert 8.0.7)'in kullanıldığı Box Behnken deneme planı uygulanmıştır. Maksimum üreaz üretimi %5.00 üre, %3.00 sükröz ve %2.00 et özütü içeren besi ortamında gözlenmiş ve optimum koşullardaki en yüksek spesifik aktivite 1.498 ± 0.05 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Bacillus* spp., Box Behnken, Üreaz, Yüzey Yanıt Metodolojisi

Statistical Optimization of Urease Production by *Bacillus* B10 Strain Isolated From Kilis Soils

ABSTRACT

In this study, urease producer *Bacillus* spp. strains were isolated from Kilis soil samples. The specific activities of intracellular urease purified from strains named as B10 and B11 were 1.38 ± 0.07 and 1.22 ± 0.02 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$. Box Behnken design using "Design Expert statistical software" (Design Expert 8.0.7) was applied to increase the urease production of B10 strain. Maximum urease production was observed in a medium containing 5.00% urea, 3.00% sucrose and 2.00% meat extract and the highest specific activity under optimum conditions was calculated as 1.498 ± 0.05 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$.

Keywords: *Bacillus* spp., Box Behnken, Urease, Surface Response Methodology

I. GİRİŞ

Üreaz enzimi (üre amidohidrolaz E.C. 3.5.1.5), üreyi hidrolize ederek amonyak ve karbonik asit oluşturan bir enzimdir. Uluslararası Biyokimya Birliği (International Union Biochemistry) 1961 yılında aldığı karar ve 1972 yılında yaptığı revizyon ile üreaz enzimini E.C.3.5.1.5 şeklinde tanımlamıştır [1]. Üreaz enzimi ilk kez 1926 yılında James B. Sumner tarafından fasülye (*Canavalia ensiformis*) tohumundan kristalize edilmiştir [2]. Enzimin topraktaki varlığı ise ilk olarak 1935 yılında Rotini tarafından rapor edilmiştir. Bu süreyle birlikte ürenin gübreleme işlemi ve bitkilerdeki azot arzının düzenlenmesindeki önemli rolünden dolayı sürekli incelenen bir enzim olmuştur [3].

Ürenin hidrolizi normal şartlarda oldukça yavaş bir reaksiyon olup katalizörsüz tepkimeler sonucu oluşan ürünler amonyak ve siyanürik asittir. Ortamda katalizör sonucu oluşan ürünler ise amonyak ve karbonik asittir. Reaksiyonun son evresinde karbonik asit kendiliğinden parçalanarak karbondioksit ve amonyaka dönüşmektedir [4]. Aynı zamanda ürenin üreaz tarafından hidrolizi sonucunda karbamat (H_2CO_3)² oluşmaktadır. Oluşan karbamat kendiliğinden ayrışarak başka bir amonyak ve karbonik asit molekülünü üretir. İki amonyak molekülü ve karbonik asit daha sonra sudaki protonu giderilmiş ve protonlanmış formlarıyla dengelenir, bu da kalsiyumun kristaller halinde çökmesine neden olan pH'da bir artışla sonuçlanır [5].

Üreaz enzimi ilk kristalleşen enzim ve nikel iyonlarının varlığının saptandığı ilk enzimatik proteindir. Ayrıca enzimin uzun süreli hastalıklar dahil olmak üzere çeşitli hastalıklarda gerekli olan bir virülans faktör olabileceği de gösterilmiştir [6]. Üreaz enziminin üç boyutlu yapısı 1930'lu yıllarda X ışını kristalografisi ile belirlenmiş olsa bile bu yapının aydınlatılması 1967 yıllarında bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle mümkün olmuştur [7]. Bakteriyel üreazlarda büyük alt birim olan α alt birimi 60-70 kDa ve iki küçük alt birim olarak ifade edilen β ve γ alt birimlerinin moleküler ağırlıkları sırasıyla 8-21 kDa ve 6-14 kDa ağırlığındadır [8].

Üreaz enziminin, gıda numunelerinde, endüstriyel atık sularda, yer altı sularında ve çevresel ağır metal iyonlarının saptanmasında model enzim olarak [9], üreyi meyve sularından, yiyeceklerden uzaklaştırmak amaçlı [7], şaraptan üreyi uzaklaştırarak etil karbamat oluşumunu önlemek için [10], kemoterapötiklerin alımını arttırmak [10], immünoglobulin tepkisini uyarabilen bir antijen olarak [10] ve son yirmi yılda ise biyoçimento yapımında ürolitik aktivite gösteren mikroorganizmaların kullanımı olmak üzere pek çok farklı endüstriyel kullanımı mevcuttur [11].

Endüstriyel açıdan önemli suşlar içeren, kolay izole edilebilen ve az sayıda patojen suş içeren *Bacillus* türleri biyoteknolojik ve moleküler biyoloji çalışmalarında tercih edilen suşlar arasında geniş yer tutmaktadır. Bu sebeple çalışmamızda ürolitik aktiviteye sahip *Bacillus* spp. suşlarının Kilis 7 Aralık Üniversitesi toprağından izole edilmesi, bu suşlardan üreazın kısmi saflaştırılması, aktivite tayininin araştırılması ve üreaz üretim ortamının istatistiksel optimizasyonu amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. YÖNTEM

A. 1. *Bacillus* spp. Suşlarının İzolasyonu ve Stoklanması

Kilis ili topraklarından alınan örnekler sporların aktifleşmesi için 65°C'de 30 dak su banyosunda inkübe edilmiştir. Seri sulandırma yapılarak 100 μ L örnek alınıp Nutrient Agar içeren plaklara yayma preparasyon şeklinde inoküle edilmiştir. 37°C'de 24-48 saat inkübasyona bırakılan petri plaklarından tek düşmüş koloniler seçilmiştir. Seçilen kolonilerin gram boyanma ve spor oluşturma karakterleri incelenmiştir. *Bacillus* spp. olduğu belirlenen suşların üreaz sentezinin belirlenmesi açısından Christensen Üre Agara çizgi ekim şeklinde inoküle edilip 37°C'de 24-48 saat inkübasyona

birakılmıştır. İnkübasyon süresi boyunca kontrol edilen kültürlerde pembe renk oluşumu takip edilmiştir. Gram boyanma karakterlerine göre test edilen üreaz üretici suşların 37°C’de geliştirilmiş bir gecelik Luria-Bertani broth kültürlerine toplam hacmin %20’si steril gliserol olacak şekilde eklenmiş ve steril eppendorf tüplerindeki bu karışım -20°C’de saklanmıştır. Ayrıca suşlar her 6 ayda bir pasajlama yapılmak üzere Nutrient Agar içeren eğik kültürlere inoküle edilmiştir.

A. 2. İntraselüler Üreazın Kısmi Saflaştırılması

5 mL Luria-Bertani Broth içeren tüplerdeki suşların bir gecelik ön üretimi sonrasında kültürlerin yoğunluğu Mac Farland 0.5 bulanıklığına ayarlanmıştır. İçerisinde 45 mL enzim fermentasyon (1 g/L et peptonu; 2 g/L KH₂PO₄; 1 g/L glukoz; 5 g/L NaCl; 100 mM/L üre, pH 6.8±0.2) ortamı bulunan 250 mL’lik burgulu kapaklı şişelere aktarılarak 37°C’de 180 rpm çalkalama hızında 24-48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyonu takiben saflaştırma basamakları uygulanmıştır. 50 mL’lik steril falkonlara alınan kültürler 5500 rpm 20 dakika +4°C’de santrifüj edilmiştir. Ve besiyerinden uzaklaştırılan hücreler enzim saflaştırılması için lizozim çözeltisi ile 5 dakikalık total periyotta parçalanmıştır. Hücreler 30 saniye de bir sonikatör ve akabinde 30 saniye buz üzerinde bekletilerek süreç tamamlanmıştır. Falkon tüplerindeki örnekler 5500 rpm’de 20 dakika +4°C’de santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminden sonra süpernatantlar ayrı eppendorflara alınıp sonraki analizler için +4°C’de saklanmıştır.

A. 3. Üreaz Aktivite Tayini

Üreaz aktivitesi Berthelot yöntemine göre uygulanmıştır [12]. 1.95 mL üre çözeltisine 50 µL enzim eklenerek 5 dak oda sıcaklığında inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası karışıma 500 µL fenol reaktifi (eşit hacimde karıştırılmış %10 fenol (w/v); %0.05 sodyumnitroprussid (w/v)) ve 500 µL alkali hipoklorid (eşit hacimde karıştırılmış %5 NaOH (w/v); %2.6 NaOCl (v/v)) eklenerek reaksiyon durdurulmuştur. Tüpler 55°C’de 5 dak su banyosunda bekletilerek üreaz aktivitesini işaret eden mavi renk oluşumu kontrol edilmiştir. Reaksiyon tüpleri 630 nm dalga boyunda UV-Visible spektrofotometrede köre karşı okutulmuştur. Kör olarak enzim bulundurmeyen saf su içeren tüpler kullanılmıştır. Tüm aktivite tayinleri 3 tekrarlı yürütülmüştür [7]. Standart çalışma grafiğinin hazırlanması için 0-0.5 µmol/mL konsantrasyonlarda amonyum sülfat çözeltileri kullanılmıştır. Yukarıda verilen üreaz aktivite tayin metodu uygulanarak 630 nm’de absorbans değerleri okunmuştur. Üreaz aktivitesi, reaksiyon sonunda ortaya çıkan ürün miktarı cinsinden çizdirilen eğriden elde edilen eğim değerine göre hesaplanmıştır. Üreaz aktivitesinin bir ünitesi 37°C’de dakikada 1 µmol üre hidrolizasyonu için gerekli enzim miktarıdır. Total protein miktarı Lowry ve ark. (1951) tarafından bildirilen metoda göre belirlenmiştir [13]. Enzimin spesifik aktivitesi 1 miligram toplam proteindeki aktivite olarak hesaplanmıştır.

A. 4. Üreaz Fermantasyon Ortamının Optimizasyonu

Box Behnken deneysel tasarım modeli ile en yüksek enzim aktivitesi gösteren suş için fermantasyon ortamının optimizasyon çalışması sürdürülmüştür. Box Behnken deneysel modelinde kullanılan bağımsız değişkenler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Modelde incelenen parametrelerin seviye değerleri

Seviye No	Üre (%)	Sükroz (%)	Et özütü (%)
-1	2.00	1.00	1.00
0	3.50	2.00	2.00
1	5.00	3.00	3.00

Box-Behnken, 2 seviyeli 3 faktöriyelik tasarımda tüm değişkenlerin (X₁, X₂ ve X₃) orta değerlerinin alındığı merkez noktada toplamda 15 adet deney noktası içermektedir. 3 adet bağımsız değişkenin belirlendiği modelde tüm analizler 3 tekrarlı yürütülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. Üç bağımsız değişken için Box-Behnken deneme planı, 3 merkez noktalı (1, 10 ve 13) 15 deney

Deney No	X ₁ (üre)	X ₂ (sükroz)	X ₃ (et özütü)
1	0	0	0
2	1	0	-1
3	-1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	1
6	-1	1	0
7	-1	0	-1
8	1	0	1
9	0	1	-1
10	0	0	0
11	0	-1	1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	1	-1	0
15	0	-1	-1

Daha yüksek enzim aktivitesi elde etmek amacıyla fermantasyon ortamına modele uygun konsantrasyonda değişkenler eklenerek enzim saflaştırılma ve aktivite çalışmaları sürdürülmüştür.

B. İSTATİKSEL ANALİZLER

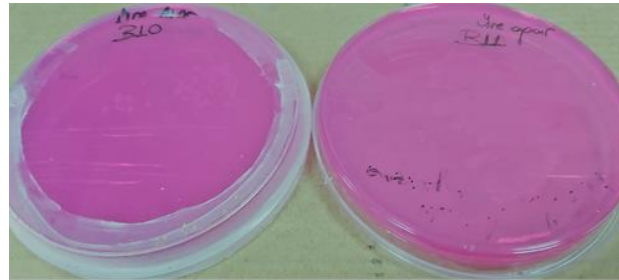
Tablo 2’de verilen deney planına göre üç bağımsız değişkenin incelendiği 2 dereceden yanıt yüzey modelinde polinomal denklem kullanılarak her bir faktör değerlendirilmiştir. Modele ilişkin eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i \times X_i + \sum_{i=1}^N \beta_{ii} \times X_i^2 + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \beta_{ij} \times X_{ij}$$

Buna göre Y sistemin cevabı, N değişken sayısı (N=3), X_i ve X_{ij} bağımsız değişken, β₀, β_i, β_{ii} ve β_{ij} sabit ve modelin regresyon katsayısını ifade etmektedir. Veri analizleri için “Design Expert statistical software” (Design Expert 8.0.7) kullanılmıştır. Modelin uyumluluğu kuadratik model varyans analizi (ANOVA) ile test edilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Christensen Üre Agara inoküle edilen izolatlar tarafından sentezlenen üreaz enzimi besi ortamındaki üreyi NH₃ ve CO₂’e hidrolize etmektedir. NH₃ meydana gelmesi besi ortamının pH’sının yükselmesi ile birlikte indikatörün renginin değişmesine neden olmaktadır. Fenol kırmızısının düşük pH’daki sarı renginin bazik ortamda pembeye dönüşmesi besi ortamında üreaz varlığına işaret etmektedir. Gr (+) karakterli ve sporlu olduğu belirlenen 20 adet *Bacillus* spp. izolatlarından 2 tanesinin üreaz üreticisi olduğu belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. B10 ve B11 izolatlarının Christensen Üre Agardaki aktivitesi

Ekim çizgileri etrafında pembe rengin gözleendiği iki izolat B10 ve B11 olarak isimlendirilmiş ve enzim üretim çalışmalarında kullanılmak üzere stoklanmıştır. Mols ve Abee (2008) klinik, çevre, gıda kökenli ve standart suşları içeren 49 *Bacillus cereus* izolatında ürolitik aktiviteleri incelemiş ve suşların 9'unda sarı rengin pembeye dönüşümüne ilişkin üreaz aktivitesi belirlemiştir [14]. Benzer bir çalışmada, Kore soya temelli fermentasyon gıdalarından izole edilen 90 *Bacillus licheniformis* suşunda Christensen Üre Agardaki renk değişimi araştırılmış ve fenotipik olarak üreaz aktiviteleri test edilmiştir [15]. İntraselüler üreaz enzim örneklerinin total ve spesifik aktiviteleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. İntraselüler üreaz örneklerinin total ve spesifik aktivitesi

Enzim örnek	Total Aktivite (EU/mL/min)	Total Protein miktarı (mg/mL)	Spesifik aktivite (µmol/min/mg)
B10	2.26±0.11	1.64±0.00	1.38±0.07
B11	1.53±0.02	1.25±0.01	1.22±0.02

Bu aktivite sonuçlarına göre B10 izolatından elde edilen üreaz enziminin aktivitesi 2.26±0.11 EU/mL/min olup, B11 örneğinde hesaplanan (1.53±0.02 EU/mL/min) aktiviteden daha yüksektir. Örneklerin total protein miktarlarında belirgin bir farklılık olmamakla birlikte, B11 örneğinden elde edilen protein miktarı 1.25±0.01 mg/mL'dir. B10 üreaz preparatının total protein miktarı (1.64±0.00 mg/mL) bu değerden yüksektir. Spesifik aktivite analiz sonuçları değerlendirildiğinde, B10 üreaz örneği için hesaplanan spesifik aktivite (1.38±0.07 µmol/min/mg), protein miktarının yüksek olmasına bağlı olarak B11 için elde edilen aktiviteden (1.22±0.02 µmol/min/mg) yüksektir. Aktivite analiz sonuçlarına dayanarak üreaz üretim ortamının optimizasyonu çalışmalarına B10 izolatı ile devam edilmiştir.

Tepe ve ark. (2019) Deniz'inin kalkerli topraklarından izole ettikleri *Bacillus amyloliquefaciens* U17 izolatını üre eklenmiş Luria-Bertani besiyeri ve kalsiyum mineralizasyon besi ortamında geliştirerek üreaz üretim kapasitesini ve aktivitesini test etmişlerdir [16]. Üre eklenmiş Luria-Bertani besiyerinde gelişimi takiben saflaştırılan üreaz enziminin spesifik aktivitesi 1.315±0.021 µmol/min/mg olarak kaydedilmiştir. Belirtilen bu değer B10 izolatı için hesaplanan spesifik aktivite değerinden 1.38±0.07 µmol/min/mg) düşük, ancak B11 suşunun aktivitesinden (1.22±0.02 µmol/min/mg) yüksektir. Fonksiyonel üreaz aktivitesi gösteren *B. subtilis* SF10 hücrelerinin minimal besi ortamında geliştirilmesi sonucu elde edilen en düşük spesifik aktivite 0.113±0.006 U/mg olarak belirlenmiştir. Kültüre 100 µM NiCl₂ eklenerek üreaz aktivitesi arttırılmaya çalışılmış ancak hesaplanan spesifik aktivite 0.107±0.016 U/mg ile sınırlı kalmıştır.

Kim ve ark. (2015) tarafından yapılan bu çalışmada kazanılan aktivite, optimizasyon çalışmaları öncesinde hesaplanan spesifik aktivite (1.22±0.02 ve 1.38±0.07 µmol/min/mg) değerlerimizden oldukça düşüktür [17]. Bozbeğolu ve ark. (2019) tarafından İsrail nehrinden (Denizli) izole edilen *Bacillus aerius* U2 suşunun üreaz aktivitesi araştırılmış ve üre eklenmiş Luria-Bertani besiyerinde gelişimi takiben 1.52±0.1 µmol/min/mg spesifik aktivite kaydedilmiştir [18]. Kalsiyum presipitasyon besiyerinde belirlenen spesifik aktivite 0.44±0.02 µmol/min/mg'dır. Üre eklenmiş Luria-Bertani besiyerinde kazanılan spesifik aktivite çalışmamızda her iki suş için kaydedilen aktiviteden (1.22±0.02 ve 1.38±0.07 µmol/min/mg) yüksektir.

Bacillus spp. türleri ile yapılan diğer bir çalışmada ise, Shoolini Üniversitesi (Hindistan) toprak örneklerinden izole edilen suşlar arasındaki total üreaz aktivitesi 0.192-0.88 U/mL olarak kaydedilmiştir. Bu aktivite değerleri çalışmamızda her iki suş için gözlenen aktivite aralıklarından oldukça düşüktür [8].

Bacillus, *Klebsiella* ve *Streptomyces* spp. suşlarının kullanıldığı diğer bir çalışmada, bakteriyel üreazın saflaştırılması çalışmaları sürdürülmüştür. 16 bakteriyel izolat arasında 3 *Streptomyces* spp. suşunun üreaz üreticisi olduğu belirlenmiş ve saflaştırılan üreazların total aktivitesi 0.138, 0.127 ve 0.121 U/mL olarak belirtilmiştir [19]. Çalışmamızda B10 ve B11 üreaz moleküllerinden elde edilen aktivite

2.26±0.11 ve 1.53±0.02 EU/mL/min olup, *Streptomyces* spp. türleri için belirlenen aktiviteden yüksektir.

B10 suşunun üreaz üretimini arttırabilmek için üre, süzkroz ve et özütü gibi bazı önemli faktörlerin etkisi “Design Expert statistical software” (Design Expert 8.0.7) kullanıldığı Box Behnken deneme planı uygulanarak incelenmiştir. Modelin hesaplanan korelasyon katsayısı (R^2 0.9828) söz konusu modelin, deneysel verileri ile tahmin edilen verilerinin tutarlı olduğunu göstermektedir. Her bir bağımsız değişkenin üreaz ekspresyonu üzerindeki etkisi ANOVA varyans analizi ile belirlenmiş olup, her bir katsayının önemini gösteren P ve F değerleri Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Enzim üretiminin kuadratik polinomal modeli için varyans analizi (ANOVA)

ANOVA for Response Surface Quadratic Model						
Analysis of variance table [Partial sum of squares - Type III]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0.56	9	0.063	31.77	0.0007	significant
A-üre	0.54	1	0.54	275.65	< 0.0001	
B-sükroz	3.280E-003	1	3.280E-003	1.66	0.2535	
C-et özütü	3.612E-005	1	3.612E-005	0.018	0.8976	
AB	4.032E-003	1	4.032E-003	2.05	0.2121	
AC	1.369E-003	1	1.369E-003	0.69	0.4426	
BC	3.906E-003	1	3.906E-003	1.98	0.2183	
A ²	2.464E-003	1	2.464E-003	1.25	0.3144	
B ²	2.054E-003	1	2.054E-003	1.04	0.3542	
C ²	4.227E-003	1	4.227E-003	2.14	0.2030	

Prob>F değerinin 0.05’ten küçük olan etkiler önemli olarak değerlendirilmiştir. 31.77 F değerli modelin p değeri 0.0007’dir. Buna göre önerilen modelin, bağımsız değişkenler ile üreaz üretimi arasındaki ilişkinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Tablo 4’teki p değerlerine bakıldığında, sadece X₁ faktörünün yani besi ortamına eklenen üre konsantrasyonundaki artışın (<0.0001) üreaz ekspresyon seviyesi üzerinde etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Modelde test edilen diğer bağımsız değişkenlerin enzim üretim kapasitesi üzerinde etkisi önemli bulunmamıştır.

Optimizasyon çalışmaları sonucunda spesifik aktivite ve üç bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koyan regresyon eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$\text{Üreaz enzimi} = +1.26 + 0.26X_1 + 0.020X_2 - 2.125E-003X_3 + 0.032X_1 * X_2 + 0.018X_1 * X_3 - 0.031X_2 * X_3 - 0.026X_1^2 - 0.024X_2^2 - 0.034X_3^2$$

Regresyon eşitliğine göre, β_i (+0.26) katsayısının pozitif değeri besi ortamındaki üre konsantrasyonunun %2’den %5’e artışının üreazın ekspresyon seviyesini arttırdığını ifade etmektedir. Besi ortamına eklenen süzkroz konsantrasyonu artışının pozitif β_{ii} (+0.018) katsayısı enzim üretimini arttırdığını göstermektedir. Ancak bu etkinin p değerinin (0.2535) 0.05’ten büyük olması istatistiksel olarak anlamlı olmadığını göstermektedir. Benzer şekilde et özütü içeriğinin katsayısının β_{ij} (-2.125E-003) negatif değeri besi ortamındaki konsantrasyon artışının (%1’den %3’e) B10 suşunun üreaz üretimini azalttığını ancak modele göre bu etki anlamsız (p değeri 0.8976) bulunmuştur. Üreazın

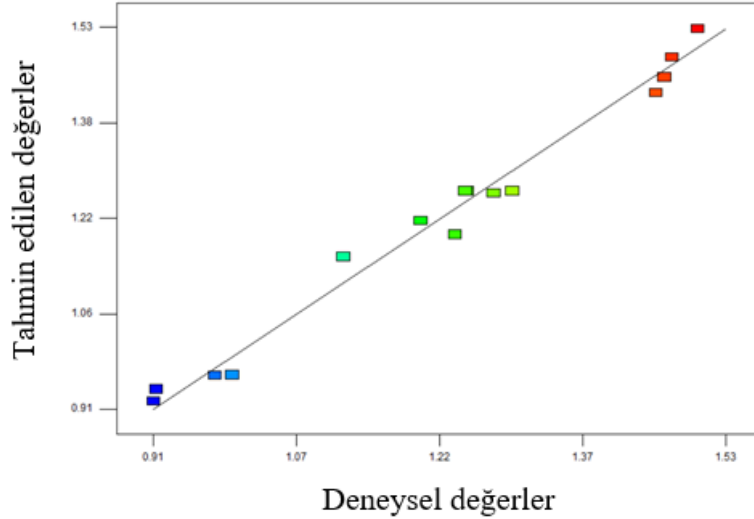
ekspresyon seviyesi üzerinde anlamlı etki gösteren tek bağımsız değişken üre konsantrasyonudur (β_1 (+0.26)).

Üre, sükröz ve et özütünün farklı konsantrasyonlarını içeren 15 deneysel besi ortamından saflaştırılan üreaz enziminin spesifik aktivitesine ilişkin deneysel ve tahmin edilen değerler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. B10 suşunun üreaz üretimi için deneysel ve tahmin edilen spesifik aktivite değerleri

Deneme no	Üre (%)	Sükröz (%)	Et özütü (%)	Spesifik aktivite ($\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$)	
	X1	X2	X3	Deneysel	Tahmin Edilen
1	3.50	2.00	2.00	1.249	1.26
2	5.00	2.00	1.00	1.462	1.45
3	2.00	1.00	2.00	0.996	0.95
4	5.00	3.00	2.00	1.498	1.51
5	2.00	2.00	3.00	0.911	0.93
6	2.00	3.00	2.00	0.914	0.95
7	2.00	2.00	1.00	0.977	0.96
8	5.00	2.00	3.00	1.470	1.48
9	3.50	3.00	1.00	1.278	1.26
10	3.50	2.00	2.00	1.247	1.26
11	3.50	1.00	3.00	1.199	1.22
12	3.50	3.00	3.00	1.236	1.21
13	3.50	2.00	2.00	1.298	1.26
14	5.00	1.00	2.00	1.453	1.44
15	3.50	1.00	1.00	1.116	1.17

Tahmin edilen ve deneysel değerler arasındaki ilişki Şekil 2’de verilmiştir.

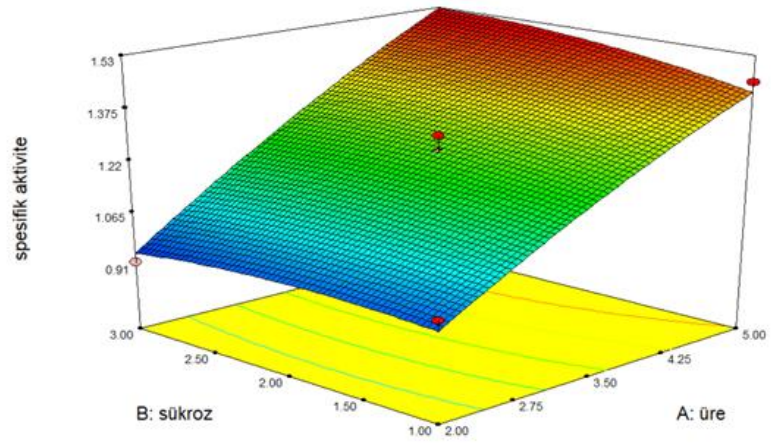


Şekil 2. Spesifik aktivite için deneysel ve tahmin edilen değerlerin uyumluluk grafiği

Üreaz üretimi için çizdirilen üç boyutlu yanıt yüzey grafikleri Şekil 3’te verilmiştir.

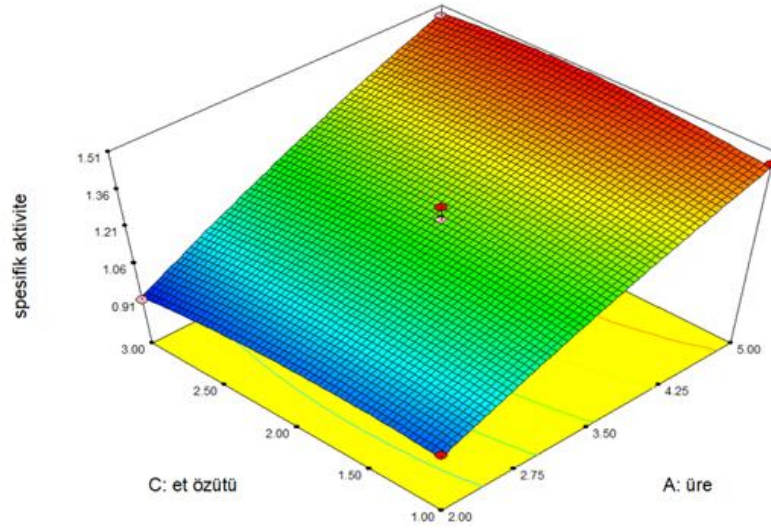
spesifik aktivite
1.498
0.911
X1 = A: üre
X2 = B: sükröz
Actual Factor
C: et özütü = 2.00

A



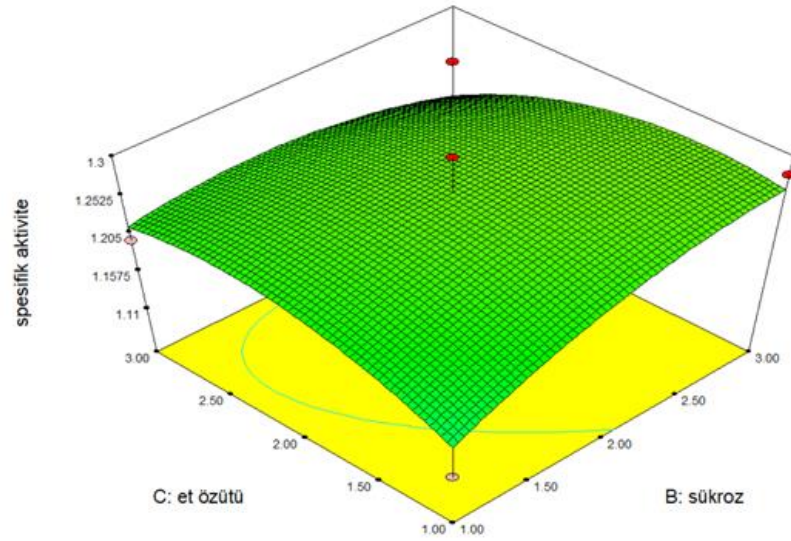
Design-Expert® Software
spesifik aktivite
1.498
0.911
X1 = A: üre
X2 = C: et özütü
Actual Factor
B: sükröz = 2.00

B



Design-Expert® Software
spesifik aktivite
1.498
0.911
X1 = B: sükröz
X2 = C: et özütü
Actual Factor
A: üre = 3.50

C



Şekil 3. B10 suşunun üreaz enzimi üretimi üzerinde üre, sükröz ve et özütü konsantrasyonlarının kombine etkilerinin yüzey yanıt grafiği

Bu model kullanılarak maksimum üreaz üretimi %5.00 üre, %3.00 sükröz ve %2.00 et özütü içeren besi ortamında gözlenmiştir. Ekspresyon artışı için belirlenen optimum koşullardaki tahmin edilen spesifik aktivite 1.51 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 'dir. Belirlenen değer 1.498 \pm 0.05 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ olup enzim üretimi için modele uygundur. Bu değer B10 suşunun optimizasyon çalışmaları öncesinde belirlenen spesifik aktivite değerinden (1.38 \pm 0.07 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$) yüksektir.

Omoregie ve ark. (2017) üreaz aktivitesi üzerinde kültür koşullarının etkisini 25-30°C, pH 6.5-8.0, 24 saat inkübasyon ve %6-8 (w/v) üre konsantrasyon ortamında sürdürülen optimizasyon çalışmalarında incelemişlerdir. NB33 izolatu için en yüksek spesifik üreaz aktivitesini %8 (w/v) üreaz içeren ortamda 30°C ve pH 6.5'da inkübasyon sonunda elde etmişlerdir [20]. Çalışmamıza benzer şekilde üreaz konsantrasyonundaki artışın enzim aktivitesini artırdığı belirlenmiştir. *Bacillus halodurans* PO15 suşu ile sürdürülen üreaz ortamının Box-Behnken deneysel modeli temelli istatistiksel optimizasyonu çalışmalarında, 28 U/mL başlangıç enzim aktivitesinin yaklaşık 10 kat arttırıldığı rapor edilmiştir [21]. *Bacillus megaterium* tara26 suşu üzerinde sürdürülen ve çalışmamıza benzer değişkenlerin test edildiği analizde ise, üre (0.8 M), et özütü (%0.1) ve ksiloz (%0.2) içeren optimize besi ortamında en yüksek üreaz aktivitesi 0.48 U/mL olarak kaydedilmiştir [22]. Enzim üretimi sıcaklık, pH, besinler, inokülasyon miktarı, indükleyici konsantrasyonu ve inkübasyon süresi gibi çeşitli proses değişkenlerine bağlıdır.

Klasik besiyeri optimizasyon çalışmaları tüm değişkenlerin sabit bırakılarak sadece bir bağımsız parametrenin değiştirilmesini içermektedir. Oysaki tek faktörlü optimizasyon denemeleri son derece zaman alıcı, fazla değişken sayısı için pahalı ve genellikle yanlış sonuçlar veren yöntemlerdir. Bu sebeple yanıt yüzey metodolojisi (RSM) gibi istatistiksel temelli yaklaşımlar, tek faktörlü optimizasyon sürecinin sınırlamalarının ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca, daha az deneme gerektiren bu proses çok sayıda değişkeni ve aralarındaki etkileşimlerin incelenmesine olanak vermektedir.

IV. SONUÇ

Bu çalışma, üreolitik aktivite gösteren Kilis izolatu *Bacillus* spp.'den üreaz üretiminin istatistiksel optimizasyonuna ilişkin ilk rapordur. %5.00 üre, %3.00 sükröz ve %2.00 et özütü içeren besi ortamında başlangıç spesifik enzim aktivitesinin 1.498 \pm 0.05 $\mu\text{mol}/\text{min}/\text{mg}$ 'a kadar arttığı belirlenmiştir. Box-Behnken deneysel modeline göre enzim üretimi üzerindeki en önemli faktörün üre miktarı olduğu tespit edilmiştir. İleri ki çalışmalarımızda optimize edilmiş koşullarda geliştirilen *Bacillus* spp. suşunun pekçok çevre mühendisliği alanında uygulanan mikrobiyolojik kalsiyum karbonat çökeltmesi analizleri test edilecektir.

TEŞEKKÜR: Çalışmamızda Kilis 7 Aralık Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından onaylanan "Üreaz Üreticisi *Bacillus* spp. Mineralizasyonu ile CaCO₃'ün Presipitasyonu ve Karakterizasyonu" konulu tezin verilerinden yararlanılmıştır. Bu sebeple Kilis 7 Aralık Üniversitesi'ne teşekkürlerimizi sunarız.

V. KAYNAKLAR

[1] F. Kara, G. Demirel and H. Tümtürk, "Immobilization of Urease b Using Chitosan–Alginate and Poly (Acrylamide-Co-Acrylic Acid)/K-Carrageenan Supports," *Bioprocess and Biosystems Engineering*, vol. 29, no. 3, pp. 207-211, 2006.

[2] N. Güleşçi, "Üreaz enziminin magnetik nanopartiküllere farklı ara kollar üzerinden immobilizasyonu ve karakterizasyonu," Doktora Tezi, Kimya, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2013.

- [3] S. Ciurli, C. Marzadori, S. Benini, S. Deiana and C. Gessa, "Urease from the Soil Bacterium *Bacillus pasteurii*: Immobilization on Ca-polygalacturonate," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 28, no. 6, pp. 811-817, 1996.
- [4] R.L. Blakeley and B. Zerner, "Jack Bean Urease: The First Nickel Enzyme," *Journal of Molecular Catalysis*, vol. 23, no. 3, pp. 263-292, 1984.
- [5] V. Anitha, K. Abinaya, S. Prakash, A. Seshagiri Rao and B. Vanavil, "*Bacillus cereus* KLUVAA Mediated Bioceiment Production Using Hard Water and Urea," *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, vol. 32, no. 2, pp. 257-266, 2018.
- [6] I. Konieczna, P. Zarnowiec, M. Kwinkowski, B. Kolesinska, J. Fraczyk, Z. Kaminski and W. Kaca, "Bacterial urease and its role in long-lasting human diseases," *Current Protein and Peptide Science*, vol. 13, no. 8, pp. 789-806, 2012.
- [7] D. Örnek Acar, "Üreaz enziminin Ca-alginat üzerine immobilizasyon koşullarının incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Kimya, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, Türkiye, 2009.
- [8] A. Agarwal, S. Banerje and K. Dev, "Comparative Characterization of Urease Secreting Bacterial and Fungal Isolates from Soil Sample of Farm Fields," *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research*, vol. 4, no. 5, pp. 138-150, 2015.
- [9] R. Ramesh, M. Aarthy, M.K. Gowthaman, K. Gabrovska, T. Godjevargova and N.R. Kamini, "Screening and production of a potent extracellular *Arthrobacter creatinolyticus* urease for determination of heavy metal ions," *Journal of Basic Microbiology*, vol. 54, no. 4, pp. 285-295, 2014.
- [10] B. Sujoy and A. Aparna, "Enzymology, immobilization and applications of urease enzyme," *International Research Journal of Biological Sciences*, vol. 2, no. 6, pp. 51-56, 2013.
- [11] V. Achal, A. Mukherjee and M.S. Reddy, "Characterization of Two Urease-Producing and Calcifying *Bacillus* spp. Isolated from Cement," *Journal Of Microbiology And Biotechnology*, vol. 20, no. 11, pp. 1571-1576, 2010.
- [12] M.P.E. Berthelot, "Berthelot's reaction mechanism," *Report de Chimie Applique*, 2884, 1859.
- [13] O.H. Lowry, N.J. Rosebrough, N.J. Farra and R.J. Randall, "Protein measurements with the folin phenol reagent," *Journal of Biological Chemistry*, vol. 193, no. 1, pp. 265-275, 1951.
- [14] M. Mols and T. Abee, "Role of Ureolytic Activity in *Bacillus cereus* Nitrogen Metabolism and Acid Survival," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 74, no. 8, pp. 2370-2378, 2008.
- [15] D.W. Jeong, B. Lee, H. Lee, K. Jeong, M. Jang, and J.H. Lee, "Urease Characteristics and Phylogenetic Status of *Bacillus paralicheniformis*," *Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 28, no. 12, pp. 1992-1998, 2018.
- [16] M. Tepe, S. Arslan, T. Koralay, and N. Mercan Dogan, "Precipitation and Characterization of CaCO₃ of *Bacillus amyloliquefaciens* U17 Strain Producing Urease and Carbonic Anhydrase," *Turkish Journal of Biology*, vol. 43, no. 3, pp. 198-208, 2019.
- [17] J.K. Kim, S.B. Mulrooney and R.P. Hausinge, "Biosynthesis of active *Bacillus subtilis* urease in the absence of known urease accessory proteins," *Journal Bacteriology*, vol. 187, no. 20, pp. 7150-7154, 2015.
- [18] N.N. Bozbeyoğlu, T.Ş. Candoğan, Ş. Arslan, B. Kabalay, O. Bozkaya, E. Akyol ve N.M. Doğan, "Üreaz ve Karbonik Anhidraz Pozitif Bakteriler Tarafından Kalsiyum Karbonat Çökelimi,"

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, c. 26, s. 3, ss. 513-518, 2020.

[19] T. Azarno, “Mikrobiyal biyoçimento üretimine yönelik üreaz enzimi üretiminin optimizasyonu,” Yüksek Lisans Tezi, Biyomühendislik, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2013.

[20] A.I. Omoregie, G. Khoshdelnezamihaa, N. Seniana, D.Ek. L. Ong and P.M. Nissom, “Experimental Optimisation of Various Cultural Conditions on Urease Activity for Isolated *Sporosarcina pasteurii* Strains and Evaluation of Their Biocement Potentials,” *Ecological Engineering*, vol. 109, no. 2017, pp. 65-75, 2017.

[21] V.K. Nathan, J. Vijayan and A. Parvathi, “Optimization of Urease Production by *Bacillus halodurans* PO15: A Mangrove Bacterium from *Poovar mangroves*, India,” *Marine Life Science and Technology*, vol. 2, pp. 194-202, 2020.



[22] T. Patil, A. Pendse and K. Aruna, “Optimization of Urease Production by *Bacillus megaterium* Tara26 Isolated from Marble Quarry Sample and Its Application in Reduction of Water Hardness,” *Indian Journal of Applied Research*, vol. 10, no. 4, pp. 50-57, 2020.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

The Effect of Urban Sprawl on Land Use Change in Mersin, Turkey

 Asuman AYSU ^{a,*},  Sebahat Sinem ÖZYURT ÖKTEN ^b

^a Department of Landscape Architecture, Faculty of Architecture, İskenderun Technical University, Hatay, TÜRKİYE

^b Department of City and Regional Planning, Faculty of Architecture, İskenderun Technical University, Hatay, TÜRKİYE

* Corresponding author's e-mail address: asuman.aysu@iste.edu.tr
DOI: 10.29130/dubited.885808

ABSTRACT

Urbanization processes are progressing rapidly all over the world and especially affect the planning processes of developing countries negatively. Rapid urbanization resulting from the demand of the increasing population prevents controlled growth and causes land use decisions to be taken without adequate analysis. In order to continue people's lives in a healthy and self-sufficient living environment, it is necessary to ensure the sustainable use of fertile soil and all natural resources. As a result of uncontrolled growth in these areas, irreversible damage occurs to natural resources. The aim of this study is to determine the distribution of the urban texture on the natural environment and the changing area uses in the 10-year period in Mersin, one of the developing cities. For this purpose, land uses are grouped under 4 main headings as settlement, agricultural lands, forest areas and unused areas. In the 20-year period between 1998 and 2018, it was determined that the amount of urban area doubled and the total forest area decreased by 2/3 in the study area, which was approximately 35.000 hectares. As a result, it was determined that urban development caused a serious loss of agriculture and forest areas, and thus, it was emphasized that the protection of natural areas should be considered in making urban plan decisions in order to ensure urban sustainability.

Keywords: Urban sprawl, land use, land transformation, Mersin

Kentsel Gelişimin Arazi Kullanımları Üzerine Etkisi- Mersin Örneği

ÖZ

Kentleşme süreçleri tüm dünyada hızlı bir şekilde ilerlemekte ve özellikle gelişmekte olan ülkelerin planlama süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Artan nüfusun talebi sonucunda ortaya çıkan hızlı kentleşme, kontrollü büyümeyi engellemekte ve alan kullanım kararlarının yeteri kadar analiz edilmeden alınmasına neden olmaktadır. Bu alanlarda kontrolsüz büyümenin bir sonucu olarak, doğal kaynaklar üzerinde geri dönüşü olmayan tahribatlar meydana gelmektedir. İnsanların sağlıklı ve kendilerine yeten bir yaşam ortamında hayatlarına devam edebilmeleri için verimli topraklarının ve sahip oldukları tüm doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı gelişmekte olan kentlerden Mersin örneğinde 10 yıllık süreçlerde kentsel dokunun doğal çevre üzerindeki dağılımı ve değişen alan kullanımının tespit edilmesidir. Bu amaçla arazi kullanımları, yerleşim, tarım arazileri, ormanlık alanlar ve kullanılmayan alanlar olmak üzere 4 ana başlık altında toplanmıştır. 1998-2018 yılları arasındaki 20 yıllık süreçte, yaklaşık 35.000 hektar olan çalışma alanında, kentsel alan miktarının iki katına çıktığı, toplam ormanlık alanın ise 2/3 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak kentsel gelişimin ciddi oranda tarım ve ormanlık alan kaybına yol açtığı belirlenmiş ve böylece kentsel sürdürülebilirliğin sağlanması için kentsel plan kararlarının alınmasında doğal alanların korunmasının gözetilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel gelişim, arazi kullanımı, arazi dönüşümü, Mersin

I. INTRODUCTION

Humans modify themselves on earth trying to adapt to conditions in various situations since the last ice age [1-2-3]. Many ecosystems are under pressure directly or indirectly under the influence of human beings [1-4]. Urban sprawl is used to mean unplanned development towards areas with low urban density. There are no basic municipal services in low density urban areas, and as a result of the development direction, services are shifted to these regions [5-6]. In the historical process, the population has increased in these areas depending on urban production and its effects are carried beyond borders with a spread of environmental problems [7-8].

Urban sprawl emerges as an area use, which is also used in the sense of uncontrolled development and is generally observed in industrialized countries [9]. This spread is closely related to the agricultural areas around the rapidly developing cities. The fertile agricultural lands in these regions are transforming into rapidly changing and transforming areas due to economic concerns. Urban sprawl has put pressure on water resources, forests and the areas surrounding urban areas. Loss of fertile soil has economic and ecological consequences. Besides, it decreases the self-feeding potential of countries and causes them to become dependent on the outside. Urban sprawl in agricultural areas has become a global phenomenon that concerns every country in the world. This situation causes the depletion of agricultural lands in many countries of the world, especially in developing countries, with the effect of the rapidly increasing population [10].

In the 1900s, 9% of the world's population lived in urban areas, this rate was 40% in 1980 and it increased to 50% in 2000 [8]. Today, 55% of the world's population is reported to live in urban areas. This ratio is projected to increase to 68% by 2050. [11]. Turkey's population was 71.5171 million in 2008 and increased to 82 003 882 in 2018. Moreover, while 75% of Turkey's population was living in cities in 2008, this proportion had risen to 92.3% in 2018.

In the historical process, the unplanned growth of urban cities called urban sprawl has gained the great interest of urban researchers. Urban growth poses many problems arising from the loss of fertile land. The impacts of urban growth can be approached in two parts, human quality of life and environmental conditions. The main factor affecting human quality of life is the increasing population in urban areas. Migration resulting from unemployment in rural areas and limited social facilities, increasing industrialization in cities, imbalance product prices in agricultural lands increase the population of urban areas. Basic needs such as infrastructure, transportation and social facilities are not enough for this growing population. In parallel with the increasing population, the need for living space has increased and usage area per capita has decreased in urban areas. The amount of living space per capita decreases the amount of green areas will be reduced and this will adversely affect people's quality of life. [7-12-13-14].

II. MATERIAL AND METHOD

A. STUDY AREA I

The research area consists of the central districts of Mersin (Akdeniz, Toroslar, Yenişehir, Mezitli) located at 32 56 'and 35 11' east longitudes, 37 26 'and 36 01' north latitudes in the east of the Mediterranean region. It has a coastal plain to the Mediterranean Sea and surrounded by the Taurus Mountains. According to the population, Mersin is the 10. crowded city of Turkey, besides according to the area, 9. largest city of Turkey with 15.853 km² area. Mersin is one of the fastest-growing regions of Turkey. In the 1870s it was an accident with 8047 inhabitants, 57 years later, in 1927, the population of the central district of the province of Mersin reached 47.000, thus becoming one of the important cities of the Mediterranean [15]. The population reaches 1.814.468 in 2018 [16].

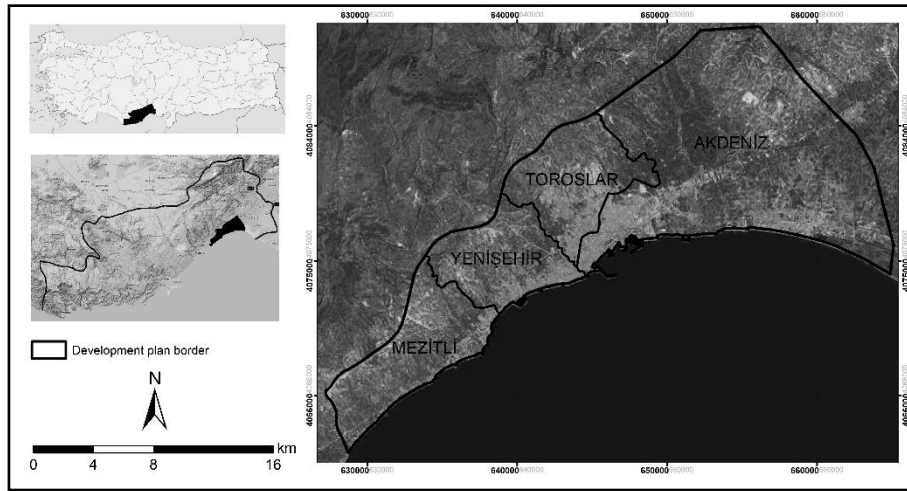


Figure 1. Location of study area

The city of Mersin was carrying a structure like an agricultural center at the beginning of the 1950s, it had an economic structure including domestic and foreign trade, industry, service and tourism sectors in time. In the development process, the economic, demographic, social, cultural and spatial structure of the city has also changed continuously. Mersin is a very important attraction in terms of tourism with its 320 km coastline and clean sea. Mersin has temperate climate conditions, fertile agricultural lands and large forest areas.

In the 1970s, the housing construction increased significantly started from the coastal band while transportation networks developing in this region. Mersin, which has developed in the positive a direction with the increase of industrial and commercial facilities around the Mersin-Adana highway, began to destroy its fertile lands. Today, it is observed that this development of the plain of the city is not healthy enough. This development, which destroyed thousands of ha of fertile agricultural land, brought about unhealthy urbanization and new environmental problems.

The post-1980 planning and implementation process did not produce decisions to direct and reduce this pressure. In particular, the pressure supported by the second housing development in the western development corridor has led to the opening of fertile agricultural land for housing use in some places. Plans produced in and around the city of Mersin have not considered agricultural areas as a part of urban life and urban economy, and agricultural potential has been pushed against the urban development alternatives. The transforming of agricultural areas to the settlement consumes the natural resources of the city and adversely affects its sustainability in the economic sense.

In 90's Mersin won the metropolitan status and divided three municipalities. The city of Mersin has changed its administrative status as a metropolitan area and it was divided into three sub-municipalities in terms of administrative and spatial [17]. In this period, new zoning plans came into force in the municipalities and the development of the second residence has continued to increase in the north and northwest of the city. The unplanned development effects that have continued since those days make a pressure on the fertile lands of Mersin.

When the research area of Mersin city center and its surroundings is examined, it can be said that agricultural areas are predominantly used. The favorable agricultural conditions of the Çukurova Region are valid for the Mersin region. 25% of the land in Mersin is composed of agricultural land. A significant portion of these agricultural areas is located in the vicinity of the city center and on the coastline. 83% of the research area is covered with agricultural areas. Most of the agricultural areas are mainly citrus fruits. The transformation of citrus orchards into residential areas for tourism purposes is a common occurrence in the region. The urban development of Mersin also plays an important role in the destruction of fertile lands.

This study has been prepared in order to determine the fertile lands occupied by the urban texture with the unhealthy urbanization that emerged as a result of this transformation and the new environmental problems that came with it. The future of the city of Mersin goes through the protection of agricultural areas. The agricultural vision in the Mersin region should aim to reverse this development.

B. LAND USE CHANGE CLASSIFICATION II

A geographical information system was used to determine land use change of the study area. Satellite images taken at 10-year time intervals (1998, 2008, 2018) were used for land-use calculations with the help of GIS (Geographic Information Systems). Landsat 5 dated 13/11/1998 satellite image was used for vector digitalization of year 1998, Quick Bird satellite image with 0.6m resolution was used for the year 2008 and Landsat 8 satellite view dated 05/11/2018 was used for the year 2018. Satellite image data converted to vector format by manually digitizing with correction by current environmental plans, satellite images and land studies. ArcGIS 14.1 program was used for the processing and classification of all these satellite image data. In the vector data, the intersecting and dissociating areas were fragmented and the transitions between uses were determined with the "intersect" command in ArcGIS 14.4.

III. THE RESEARCH FINDINGS

Land use changes were obtained by digitizing the satellite images of the years 1998, 2008 and 2018. Land uses were collected in 4 headings by comparing land uses in 10 year time period to determine the damaged lands; build-up area, farmland area, forestland area and unused area. The changes resulting from the classifications are shown in Figure 2.

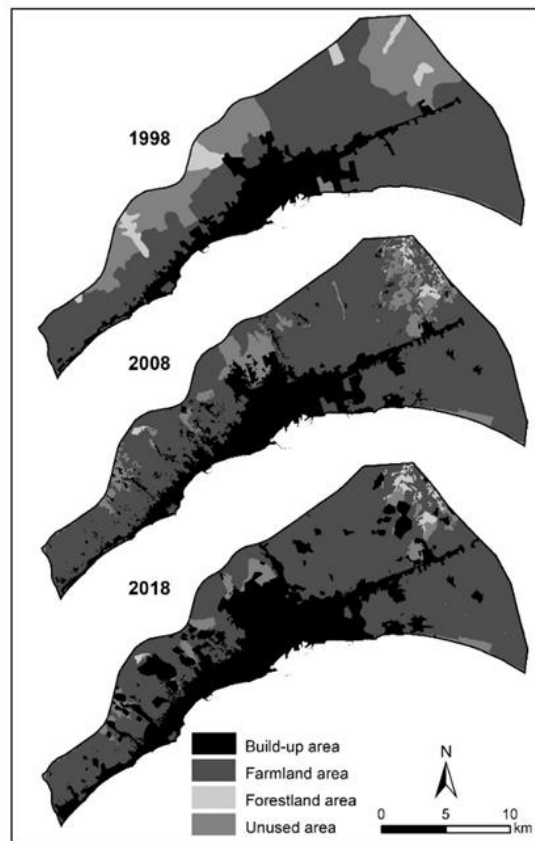


Figure 2. The land use distribution between 1998-2018.

Generally, the build-up area is seen as the most improved area especially in 2018 (Figure 2). Also, unused areas are transformed into other uses, farmland. Table 1 is prepared to explain land-use changes and each use conversion to another. The land-use changes divided into 10-year periods. Land changes and transformations for each use are expressed in the hectare unit for every ten years. As shown in the table, for each area “from” and “to” statements are used to signify the conversions. The purpose of this calculation is that there are gains and losses to the 10-year process specified for each use. In this context, “to” means losing and “from” means gaining land area for each use.

Table 1. Land use inter-domain changes between 1998 and 2018

	Build-up area	Farmland area	Forestland area	Unused area
1998	5 817,54	20 359,51	1 209,19	7 553,46
to build-up area	-	1 364,96	2,73	401,15
to farmland area	0	-	965,11	4 351,59
to forestland area	0	0	0	293,18
to unused area	0	834,04	126,98	-
from build-up area	-	0	0	0
from farmland area	1 364,94	-	0	834,04
from forestland area	2,73	965,11	-	126,98
from unused area	401,15	4 351,59	293,18	-
2008	7 586,38	23 477,21	407,55	3 468,56
to build-up area	-	2 721,64	2,38	1 016,78
to farmland area	0	-	137,82	783,53
to forestland area	0	115,31	-	92,46
to unused area	2,00	185,39	7,50	-
from build-up area	-	0	0	2,00
from farmland area	2 721,64	-	115,31	185,39
from forestland area	2,38	137,82	-	7,50
from unused area	1 016,78	783,53	92,46	-
2018	11 325,18	21 376,22	467,62	1 770,68

When Table 1 is examined that showing the area changes in Mersin city, it is seen that urban areas have increased 50% in the first 10 years and 50% in the second 10 years. In both intervals, it is seen that the most increasing area is from the transformation of the agricultural land. When the transformation process of agricultural lands is examined, it is seen that the areas lost have turned into residential areas. However, there is a remarkable point about agricultural areas. Besides to lost agricultural fields, the amount of land transformed into agricultural areas from empty areas is quite high. For this reason, it is observed that the total agricultural area has increased as a result of the 20-year period. In forest areas, the situation is more remarkable. Especially in the first 10 years, it is seen that the biggest loss of land has turned into agricultural land. As a result of 20 years, it is noteworthy that the land uses that have turned into forest areas are less. When the unused areas are examined, it is seen that more than half of the existing area has turned into agricultural land, especially in the first 10 years. The transformations continued in the second 10 years and the unused areas have largely transformed into different land uses (Figure 3).

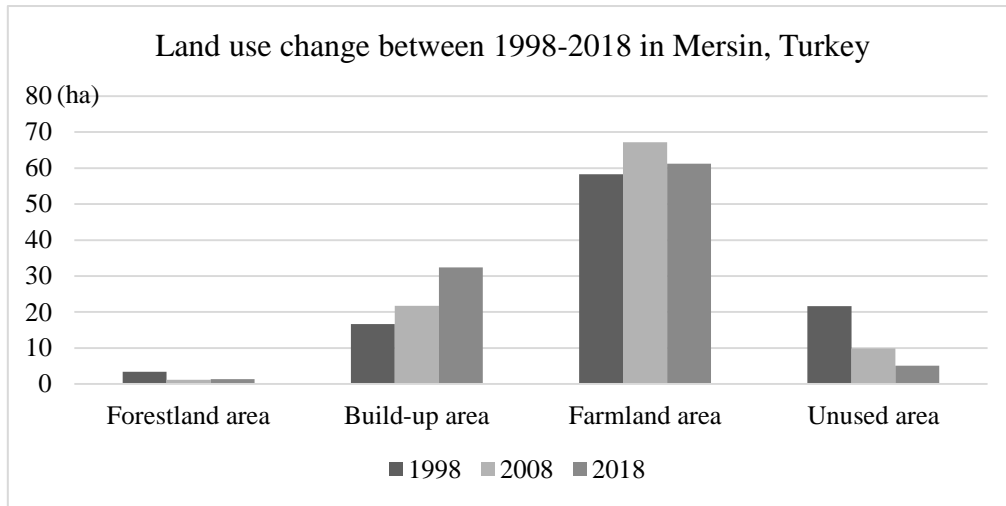


Figure 3. Land-use change between 1998-2018 in Mersin, Turkey

The findings of this study are given in various tables and figures. This study aims to reveal land-use changes in Mersin and to determine the destruction of fertile areas. First of all, farmland areas and forestland areas should be protected to ensure a sustainable environment with healthy and sufficient natural resources and be transferred to future generations. Besides, the built up areas should be planned away from the productive areas. For this purpose, the identified changes are interpreted as positive and negative according to their transformations. The definition of land-use conversions of the study area is given in Table 2.

Table 2. Land use conversions

1998-2018	build-up area	farmland area	forestland area	unused area
Build-up area	0	+	+	+
Farmland area	-	0	+	-
Forestland area	-	-	0	-
Unused area	-	+	+	0

When Table 2 is examined, (+), (-) and (0) marks are seen. (+) indicates that the change in this intersection is favorable in terms of efficient areas, (-) significance that there is a negative change in the productive area, and (0) expresses that there is no change in the area. The land-use change map generated according to Table 2 is given in Figure 4.

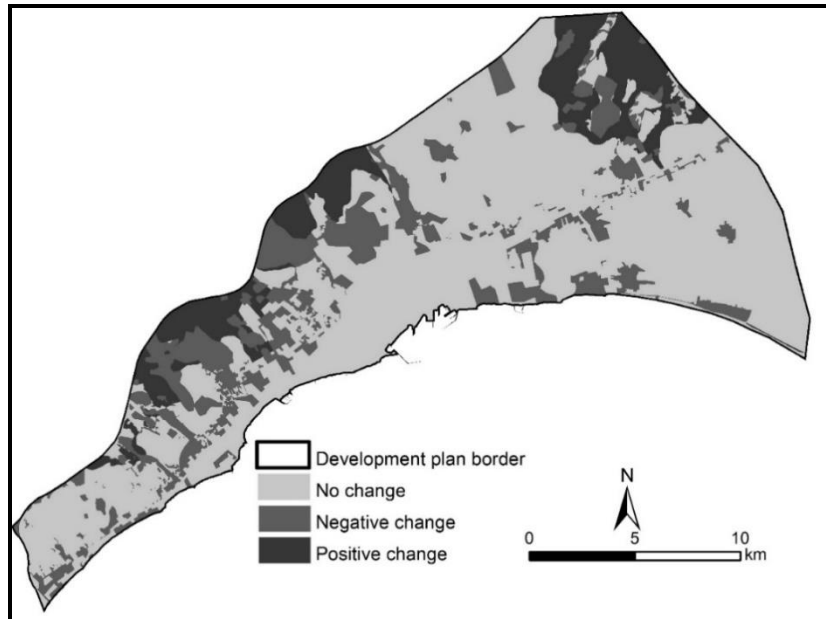


Figure 4. Land-use change in the research area

According to this figure, 12,51% of this area (4368,24 ha) changed positively, 19,60% of the land (6 849,53 ha) changed negatively and 67,89% of the land (23 721,93) preserves the current situation.

Table 3. Transformation ratios of land uses

1998-2018	Total	%
No change	23 721,93	67,89
Negative change	6 849,53	19,60
Positive change	4 368,24	12,51
Total	34 939,70	100

The results of the 20-year change examined are quite remarkable in a coastal city built on fertile lands like Mersin. Negative changes continue on the coastline of Mersin, which does not currently have agricultural land and has a second residence density. However, there is no change in the city center which has completed its development. As can be seen in Figure 3, the general changes in the city have taken place in the north and North West regions. Although there are negative changes in the north of the city, these are mostly highland places used in summer because this region is more mountainous than other places. Although this change in the plateau spaces may be due to the increase in the urban population, it is due to the tendency of the people who are accustomed to urban routines to concrete construction even in summer spaces. Negative and positive changes form a different blend in the most striking northwestern part of the city.

IV. CONCLUSION

As a result of the study, the transformation process that Mersin has undergone in the last 20 years regarding land use for agricultural areas, forested areas, residential areas and bare areas has been examined. In order to determine these changes, the land use distributions between 1998-2008-2018 were mapped and the rate of change of these distributions was calculated. According to Table 1 given in the research findings as a result of the calculations between 1998 and 2008, residential areas increased by 31.41%, agricultural areas increased by 15.31%, while forest areas decreased by 66.30% and other areas by 54.07%.

Residential areas increased by 49.28%, forest areas increased by 14.73% between 2008-2018, while agricultural areas decreased by 8.95% and other areas by 48.95%. In the twenty-year change between 1998 and 2018, the areas that showed the highest decrease are other areas of use with 76.55% and forest areas with a rate of 61.32%. In this case, residential areas and agricultural areas have increased. Housing areas increased by 94.67% and agricultural areas increased by 5%. As seen in Table 1, when the land cover changes over the 20-year period are examined, it is seen that there is a relationship between the change of agricultural areas and the change of residential areas. When the rates of change by years are examined, it is seen that the agricultural areas have increased, but it has been determined that the existing agricultural areas have disappeared in the process. If the increase in residential areas continues at this rate, it will pose a threat in agricultural areas as well as in forest areas and other areas of use, so urban development processes must be taken under control.

In this context, the following objectives and strategies should be put forward for agriculture;

- Developments in agricultural areas should be restricted, new developments should not be allowed, and plan decisions from the past should be changed.
- The agricultural areas in the periphery of the city should be protected and become part of urban ecology.
- The protection of agricultural areas to a certain extent is important for the employment of local people and also for the protection of local values.
- Public institutions and organizations (municipalities etc.) be aware of the threats posed by urban sprawl and take the necessary legal and administrative measures.
- The urban sprawl is an important threat to fertile lands that need urgent action.
- It is not too late to make the right plan decisions with increasing levels of population because of the presence of fertile land in Mersin.

V. REFERENCES

- [1] P. M. Vitousek, H. A. Mooney, J. Lubchenco and J. M. Melillo, "Human domination of Earth's ecosystems," *Science*, vol. 277, no. 5325, pp. 494-499, 1997.
- [2] E. C. Ellis and N. Ramankutty, "Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world," *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 6, no. 8, pp. 439-447, 2008.
- [3] H. Tian, K. Banger, T. Bo and V. K. Dadhwal, "History of land use in India during 1880-2010: Large-scale land transformations reconstructed from satellite data and historical archives," *Global and Planetary Change*, vol. 121, pp. 78-88, 2014.
- [4] C. F. Corvalan, S. Hales, T. McMichael, "Why do ecosystems matter to human health?" in *Ecosystems and Human Well-Being-Health Synthesis*, World Health Organization, France: WHO Library, 2005, pp. 12-26.
- [5] P. B. Cobbinah and C. Amoako, "Urban sprawl and the loss of peri-urban land in Kumasi, Ghana," *International Journal of Social and Human Sciences*, vol. 6, pp. 388-397, 2012.
- [6] P. K. Dabie, "Assessing the impact of urban sprawl on agricultural land use and food security in Shai Osudoku district," M.S. thesis, Coll. of Humanities, Sch. of Social Sciences, Dept. of Geography and Resources Development, Univ. of Ghana, Accra, Ghana, 2015.
- [7] N. E. McIntyre, K. Knowles-Yanez, D. Hope, "Urban ecology as an interdisciplinary field: differences in the use of 'urban' between the social and natural sciences" in *Urban Ecology*, J. M. Marzluff et. al., Eds. Boston, USA: Springer, 2008, pp. 49-65.

- [8] C. A. Bradley and S. Altizer, "Urbanization and the ecology of wildlife diseases," *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 22, no. 2, pp. 95-102, 2007.
- [9] D. B. Resnik, "Urban sprawl, smart growth, and deliberative democracy," *American Journal of Public Health*, vol. 100, no. 10, pp. 1852-1856, 2010.
- [10] W. M. Tarawneh, "Urban sprawl on agricultural land (literature survey of causes, effects, relationship with land use planning and environment) a case study from Jordan (Shihan Municipality Areas)," *Journal of Environment and Earth Science*, vol. 4, no. 20, pp. 97-124, 2014.
- [11] United Nations, "Urban and rural population growth and world urbanization prospects" in *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019, pp. 9-32.
- [12] J. Chadchan, R. Shankar, "An analysis of urban growth trends in the post-economic reforms period in India," *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 1, no. 1, pp. 36-49, 2012.
- [13] P. Gong, S. Liang, E. J. Carlton, Q. Jiang, J. Wu, L. Wang, J. V. Remais, "Urbanization and health in China," *The Lancet*, vol. 379, no. 9818, pp. 843-852, 2012.
- [14] P. A. Bhat, M. Shafiq, A. A. Mir, P. Ahmed, "Urban sprawl and its impact on land-use/land cover dynamics of Dehradun City, India," *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 6, pp. 513-521, 2017.
- [15] Republic of Turkey Ministry of Culture and Tourism. (2019, Jun 24). *Mersin* [Online]. Available: <https://mersin.ktb.gov.tr/TR-73136/mersin.html>
- [16] Turkish Statistical Institute (TUIK). (2019, Oct. 18). *Mersin provincial population* [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2018-30709>.
- [17] T. Ünlü, "Urban planning experience and formation of urban space in Mersin," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 22, no. 3, pp. 425-436, 2007.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yeniden İşlevlendirme Uygulamalarında Özgünlük Kayıplarının Araştırılması: Geleneksel Alanya Konutları Örneği

 Nazmiye Gizem ARI^a,  M. Elif ÇELEBİ KARAKÖK^{b,*}

^a Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Akseki MYO, Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Alanya, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazar: M. Elif ÇELEBİ KARAKÖK, e-posta adresi: elifcelebi@akdeniz.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.910812

ÖZ

Kent merkezlerindeki tarihi dokularda günümüzde rant marjları çok yükselmiş, tarihi yapılara turizm ve ticaret işlevleri verme eğilimi artmıştır. Yeniden işlevlendirme adı verilen bu uygulama aslında terk edilmiş ya da özgün işlevini devam ettirmesi mümkün olmayan yapıları, yeni bir işlevle kullanımını sağlayarak gelecek kuşaklara aktarmak için geliştirilmiş bir koruma yöntemidir. Ancak bu yöntem günümüzde sanki bir tasarım modeli gibi kullanılarak tarihi yapıların özgün değerlerinden çok fazla kayıplara neden olmaktadır. Koruma yasasındaki esneklik, sayısal nicelik ve şahıs mülkiyetlerinde olmaları gibi sebeplerle yeniden işlevlendirilerek özgünlük değerlerinden en çok kayıplar veren yapılar geleneksel konutlardır. Tarihi yapılar ve bu yapıların oluşturduğu tarihi çevre, bölgeye özgü fiziksel ve kültürel özellikler sonucu oluşmuş geleneksel mimari örneklerdir. Özellikle geleneksel konutlar bulunduğu bölgedeki günlük yaşam ve kültürü hakkında önemli veriler sunan tarihi belgelerdir. Bu nedenle diğer tarihi yapılar gibi geleneksel konut yapılarının da özgünlüklerinin korunması ve gelecek kuşaklara aktarılması önem arz etmektedir. Yeniden işlevlendirme ile özgün değerlerini yitiren tarihi çevrelerden birisi de Antalya'nın önemli turizm merkezlerinden birisi olan Alanya'dır. Bu nedenle bu çalışmada yeniden işlevlendirme ile restorasyonu yapılan geleneksel Alanya konutları çalışma alanı olarak seçilmiş, bu bölgedeki uygulamaların olumlu ve olumsuz yönleri ortaya konularak tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel Konut, Mimari Koruma, Yeniden İşlevlendirme, Özgünlük, Alanya.

Investigation of Loss of Originality in Re-Functioning Applications: The Case of Traditional Alanya Houses

ABSTRACT

In the historical textures of the city centers, the income margins have increased significantly and the tendency to give tourism and trade functions to historical buildings has increased. This practice, called re-functioning, is actually a protection method developed to transfer abandoned or useless functions to future generations by using them with a new function. However, this method is used as a design model today, causing much loss of the original values of historical buildings. Traditional houses are the structures that give the most loss of originality by re-functioning due to the flexibility in the law, numerical quantity and the fact that privately owned. Traditional houses are historical documents that provide important data about daily life and culture in the region where they are located. For this reason, it is important to preserve the authenticity of traditional residential buildings like other historical buildings. One of the historical circles that lost their original values through re-functioning is Alanya, which is one of the important tourism centers of Antalya. For this reason, traditional Alanya residences, which were restored by re-functioning, were chosen as the study area, and the positive and negative aspects of the applications were discussed.

Keywords: Traditional House, Architectural Preservation, Re-functioning, Originality, Alanya.

I. GİRİŞ

Geleneksel yapı, sanayi öncesi toplumlardaki yerel yapı ustalarının inşaat becerilerine ve geliştirdikleri bilgilere dayanarak taş, toprak, ahşap gibi doğadan elde edilen malzemelerle inşa edilen bir yapılaşma modelidir. İnşa edildiği coğrafyadaki halkın kültürüne, iklime, ulaşılan doğal malzemeye, topoğrafik düzene ve yaşam koşullarına göre çeşitlilik gösterir [1]. İnşa teknolojilerinin ait olduğu dönemlerde yapılmış olan geleneksel yapılar, aynı zamanda tarihi yapı niteliği taşırlar. Bu yapılar ait oldukları dönemin mekân, yapım sistemi, malzeme, bezeme vb. özelliklerinin birer belgesidirler. Geçmişin bilgi ve tecrübesini günümüze aktarırlar.

Geleneksel yapılar hem kamu hem sivil mimarlık yapıları olabilir. Ancak sayısal nicelikte birlikte mimari çeşitlilik en çok konut yapılarında görülür. Konutlardaki bu farklı biçimlenişler iklim, coğrafya ve ulaşılan malzeme gibi fiziksel; günlük yaşam ve aile yapısı gibi sosyal; gelenek, inanç ve töre gibi kültürel; tarım, hayvancılık, dokumacılık gibi sosyo-ekonomik faktörler etkisinde gelişmiştir [2]. Bu nedenle geleneksel konutlar, sanayi devrimi öncesi yaşamın ve kültürün aynası görevini görürler.

Ancak ülkemizde geleneksel konut yapıları koruma yasasındaki esneklik, sayısal nicelik ve şahıs mülkiyetinde olmaları gibi nedenlerle kullanıcıları tarafından çok fazla yapısal müdahaleye maruz kalmaktadırlar. Müdahalelerin niteliği ve niceliği, yapıların özgünlüğünü¹ bozarak tarihi belge niteliğini kaybetmesine ve bu nedenle geleneksel konutların kültür varlığı yasal koruma statüsünü alamamasına veya bu statüden çıkarılmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle geleneksel konut yapılarının özgünlüğünün² korunamaması günümüzde oldukça önemli bir sorun haline gelmiştir.

Kullanıcılar, eski teknolojiye göre yapılmış bu yapılara günümüz konfor koşullarını getirmek ve / veya buldukları bölgedeki yükselen rant değerlerinden daha fazla faydalanabilmek amacıyla, yapıların özgün mimari özelliklerini büyük ölçüde değiştirmektedirler. Rant değeri yükselen bölgelerdeki konutların yeniden işlevlendirilerek ticaret ya da turizm yapılarına dönüştürüldüğü çok sık görülmektedir.

Aslında yapıları, özgün işlevleri dışında kullanmak antik çağlardan günümüze kadar uygulanan bir yöntemdir [5]. Özgün işlevi ile varlığını sürdüremeyen yapıları farklı işlevlerle kullanma yöntemiyle, yapılar yıkılmaktan kurtulmuştur ve böylece eski yapılar günümüze kadar ulaşabilmiştir [6]. Ancak çağdaş koruma kuramlarına göre yeniden işlevlendirmede de esas amacın yapıyı özgün haliyle yaşatmak olduğu unutulmamalı ve yapının özgünlüğüne zarar verecek işlev ve müdahalelerden kaçınılmalıdır. Korunacak yapı için yeni işlev belirlenirken yapının kurgusu ile özgün yapım tekniğinin ve elemanlarının oluşturduğu mimari değerine olumsuz etki etmemesi için yapının mimari kimliği, kütleli bütünlüğü, bulunduğu çevre ve etkileşimde olduğu diğer kentsel mekanlarla ilişkisi detaylıca analiz edilerek değerlendirilmelidir. Yeni işlev, sürdürülebilirlik ve kullanılabilirlik açısından korumaya katkıda bulunmalıdır [7].

Geleneksel Alanya Konutları da bölgede her geçen gün yükselen rant marjları nedeniyle sahipleri ve yatırımcıların gözdesi haline gelmiştir. Birçok konutun yeniden işlevlendirme yöntemi ile turizm veya ticaret yapılarına dönüştürüldükleri görülmektedir. Yeni işlevlerin sahip olması gerektiği düşünülen günümüz konfor koşullarını sağlayan mekân ve tesisatlarla ilgili müdahaleler yapılmaktadır. Ancak

¹ Feilden ve Jokiletho özgünlüğü, "inşa edildiği ve zaman içinde yaşandığı ve yıprandığı haliyle maddi olarak orijinal veya orijinal bir miras kaynağına atfedilen" bir nitelik olarak tanımlamıştır. Özgünlük, yapının kendi zamanının gerçek bir ürünü olarak üretilen yaratıcı sürecin ve tarihsel zamandan geçişinin etkilerini içerir [3].

² Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi (ICOMOS), 1994 yılında yayınladığı Nara Özgünlük Belgesinde kültür varlıklarının özgünlüğünün içerdikleri bilgi kaynaklarına bağlı olduğunu belirtmiştir. Bu bilgi kaynaklarını da "tasarım ve biçim, malzeme ve nesne, kullanım ve işlev, gelenek ve teknikler, konum ve yerleşim, ruh ve anlatım ile tarihsel evrim olarak açıklamıştır [4]. Nara Özgünlük Belgesinde belirtilen bilgi kaynaklarına bakıldığında özgünlük kavramının çerçevesinin genişliği kolayca anlaşılabilir.

yeni işlevin sahip olması gerekenlere çok fazla odaklanıldığı, bu uğurda konutların özgünlüğünden önemli derecede kayıplar verildiği düşünülmektedir.

Bu nedenle, Alanya'daki geleneksel konutların özgün mekânsal ve yapısal nitelikleri incelenmiş, yeniden işlevlendirme uygulamalarındaki sorunlar tespit edilmiş ve tartışılmıştır. Böylece geleneksel konutların korunması çalışmalarında özgünlük değerlerini yok etmeden gelecek kuşaklara aktarılmasına ve sosyo - kültürel olarak sürdürülebilirliklerini sağlamaya katkıda bulunmak hedeflenmiştir.

II. YÖNTEM

Çalışma konusu geleneksel konutların yeniden işlevlendirme uygulamalarındaki özgünlük kayıplarının araştırılması olduğu için, elde edilecek verilerin hayata geçirilmiş uygulamalar üzerinden toplanmasına karar verilmiştir. Geleneksel konutların yeniden işlevlendirilmesi uygulamaları, özellikle turizm sektörünün ağır bastığı yerleşimlerde görüldüğü için, seçilen çalışma alanının da bir turizm bölgesi olması tercih edilmiştir. Uygulamaların bağlı oldukları şartları bir denge çerçevesinde değerlendirebilmek için de seçilen örneklerin aynı konumda olmaları gerektiği düşünülmüştür. Bu nedenle çalışmada bir turizm kenti olan Antalya'nın Alanya ilçesinin tarihi dokusundaki uygulamalar ele alınmıştır.

Bu kapsamda Alanya'da yeniden işlevlendirme yöntemi kullanılarak restore edilen 8 adet geleneksel konut yapısı incelenmiştir. Seçilen örneklerin yeni işlevlerinin farklı olmasına dikkat edilmiştir. Böylece hangi işlevin ne gibi değişikliklere neden olduğu da gözlemlenmek istenmiştir. Bu kriterler ışığında 2 adet ofis işlevli (Hasanağalar Konağı, Çırpanlı Konutu), 2 adet konaklama işlevli (Sezer Konutu, Şimşek Konutu), 2 adet kafe/restoran işlevli geleneksel konut (Durusoy Konutu, Sipahioğlu Konutu) ile 2 adet işlevi değiştirilmemiş geleneksel konut (Kök Konutu, Gürses Konutu) incelenmiştir.

Öncelikle restitüsyon projeleri üzerinden yapıların özgün mimari özellikleri tespit edilmiştir. Özgün plan şemaları, yapım tekniği ve malzeme, cephe karakteri, bezeme programı, renk, bahçe – peyzaj düzeni vb. özellikleri incelenmiştir. Ardından bu geleneksel konutların yeniden işlevlendirilerek kullanılan durumları analiz edilmiştir. Bu analizler yapıların restorasyon projelerinden ve yapının kendisinden elde edilen veriler ile yapılmıştır. Yeniden işlevlendirme öncesi ve sonrası özgünlük ve değişiklik durumu, karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Karşılaştırma yönteminin sağladığı veriler üzerinden hangi yapıda ne gibi özgünlük kayıplarının yaşandığı, yapılan değişiklikler, eklenen ve kaldırılan öğeler gibi olumsuz etkilerin yanı sıra günümüz konfor koşullarının sağlanması ve yapının kullanımının sürdürülmesi gibi olumlu etkiler de tartışılmıştır. Bu çalışmanın geleneksel konutların yeniden işlevlendirilmesi uygulamalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

III. ALANYA İLÇESİ'NİN TARİHİ VE KENTSEL GELİŞİMİ

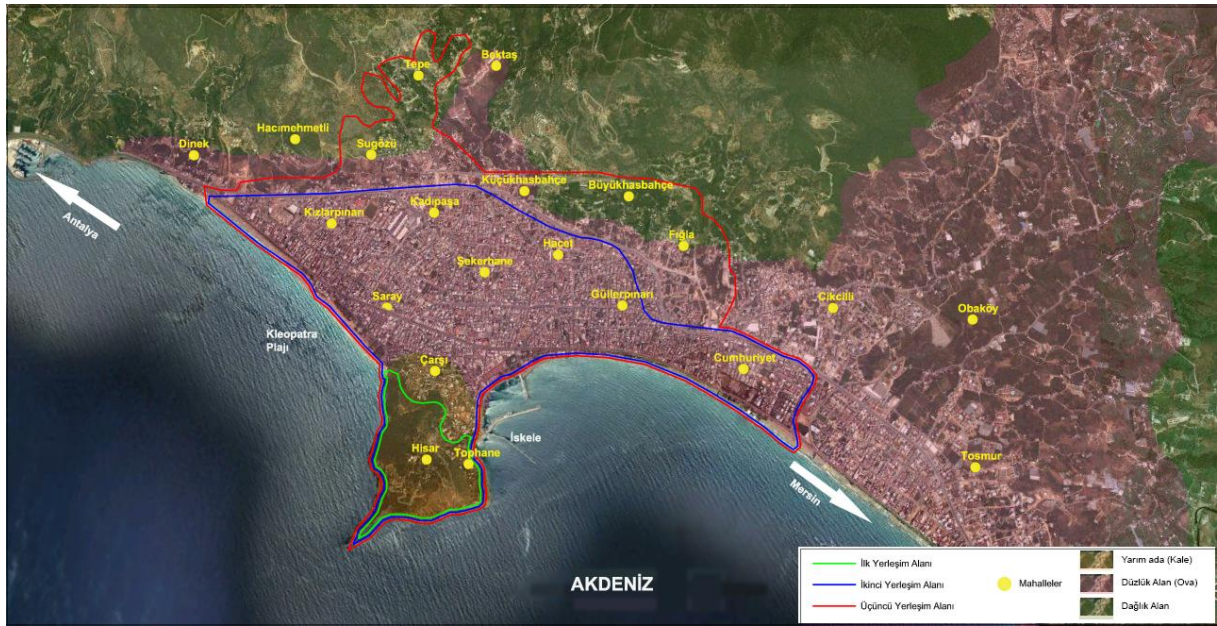
Alanya, Akdeniz Bölgesi'nde Antalya iline bağlı bir ilçedir. Kuzeyde Gündoğmuş, batıda Manavgat, doğuda Gazipaşa, kuzeydoğuda Konya ili ile komşudur. Antalya'nın yaklaşık olarak 135 km doğusunda, Akdeniz kıyısında konumlanmıştır (Şekil 1) [8]. Alanya'daki ilk yerleşim Toros dağları ile Akdeniz arasındaki düzlükte iken, zaman içerisinde kuzeydeki yamaçlara doğru gelişme göstermiştir. Kentsel gelişimini, iklim özellikleri de doğrudan etkilemiştir. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen Akdeniz iklimi, Alanya'nın oldukça tercih edilen ve sürekli büyüyen bir yerleşim merkezi haline gelmesinde rol oynamıştır. Bulunduğu coğrafya ve iklim özelliklerinin etkisiyle tarım

ve turizm sektörünün etkinliği baskın olarak görülmektedir. 1980’li yıllardan bu yana turizmin hızla geliştiği bir yerleşimdir [9].



Şekil 1. (a) Türkiye’de Antalya ili [8] ve (b) Antalya’da Alanya ilçesinin Konumu [9].

Şehir, gelişim düzenine göre incelendiğinde sosyo-ekonomik, kültürel ve tarihi değişikliklere dayalı üç dönüm noktası ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan birincisi şehrin sur duvarları içinden kuzeydeki düzlük alana yayıldığı 1860 öncesi yıllar, ikincisi gelişen turizm ile şehrin kuzey etekler boyunca yayıldığı 1960’lı yıllar, üçüncüsü ise 1960’lı yıllardan günümüze kadar olan dönemdir [9]. Alanya tarihi dönüm noktaları ile genişlediği üç bölgede “birinci, ikinci ve üçüncü” yerleşim alanları olarak gruplandırılmıştır (Şekil 2) [10].



Şekil 2. Alanya tarihsel yerleşim paftası [10].

A. BİRİNCİ YERLEŞİM ALANI

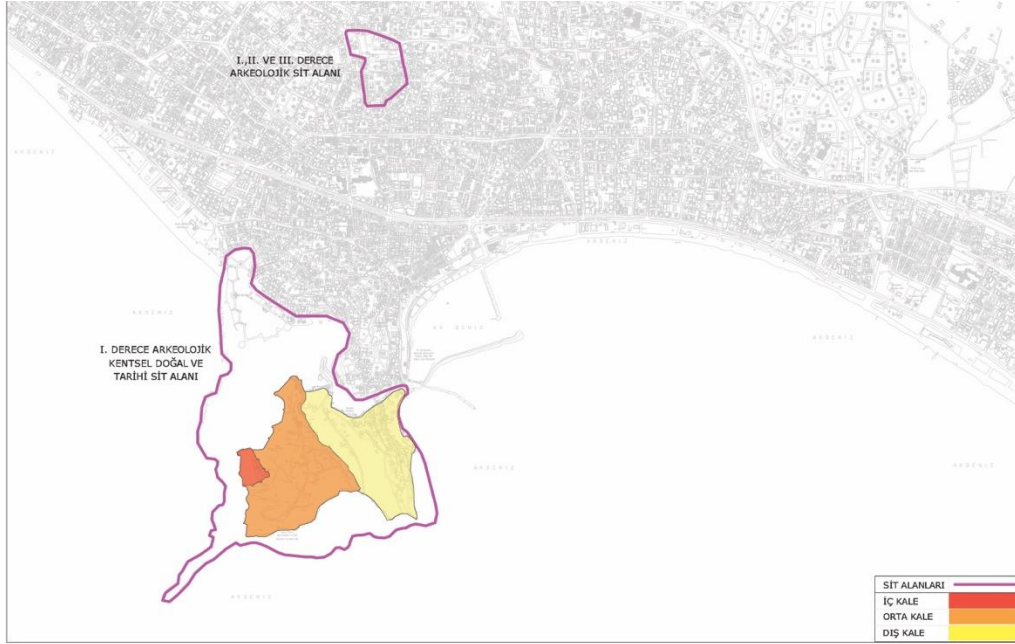
Birinci Yerleşim Alanı, surlarla tanımlı olan alandır (Şekil 2, yeşil renkle sınırlı alan). Bu alan şehrin en eski yerleşik alanıdır. Alanya Kalesi ve iki mahalleyi (Hisarçici ve Tophane) kapsamaktadır. Birinci derece arkeolojik, kentsel, doğal ve tarihi sit alanı olarak korunan Alanya Kalesi, 2000 yılından bu yana Dünya Miras Listesi’nin geçici listesinde yer almaktadır. Koruma çalışmaları tamamlanmış, Kızılkule-Tophane eksenini marina ve gemi müzesine dönüştürülmüş, bölgedeki anıtlar onarılmıştır.

Bu alanda 76 adet (39 adet anıtsal yapı, 27 adet konut ve 10 adet harabe) tescilli yapı bulunmaktadır. Geleneksel konutların çoğu özgün işlevinde kullanılmaktadır. Küçük bir kısmı ise kahve, lokanta ya da alışveriş birimine Dönüştürülmüştür. Konutların çoğunluğu restore edilmiştir [10].

B. İKİNCİ YERLEŞİM ALANI

İkinci Yerleşim Alanı, 1860'lar sonrası yerleşilmiş olan ve Çevre Yolu Caddesi ve Yarımada arasında kalan düzlük alandır (Şekil 2, mavi renkle sınırlı alan). Bu bölge yedi mahalleden oluşmaktadır (Çarşı, Kızlarpınarı, Kadıpınarı, Şekerhane, Saray, Hacet ve Güllerpınarı). Bölgede tescilli 73 kültür ve tabiat varlığı (5 anıt, 65 konut, 1 ticari yapı, 1 şelale, 1 mezarlık ve 1 mağara) mevcuttur. Ayrıca bölgede Geç Antik ve Roma kalıntılarını içeren bir üçüncü derece arkeolojik sit alanı vardır (Şekil 2).

Bölgedeki geleneksel evler, genellikle 1890- 1930 yılları arasında inşa edilmiştir. Ancak bu bölge 1860 sonrası bir gelişim alanı olduğu için, geleneksel konutlar yeni yapıların arasında kalmıştır. Yaklaşık olarak bölgedeki geleneksel konutların 20 adedi terk edilmiş, 20 adedinin üst katları konut işlevini sürdürürken alt katlar ticari amaçla kullanılmaktadır. Bu evlere kafe, restoran veya dükkân olarak yeniden işlev kazandırmaya yönelik genel bir eğilim söz konusudur. Yaklaşık 20 geleneksel konut da özgün işlevinde kullanılmaktadır. Geleneksel konutların yaklaşık 30 adedi restore edilmiştir (Şekil 3) [10].



Şekil 3. Alanya sit alanları ve tarihi yapılar paftası [10].

C. ÜÇÜNCÜ YERLEŞİM ALANI

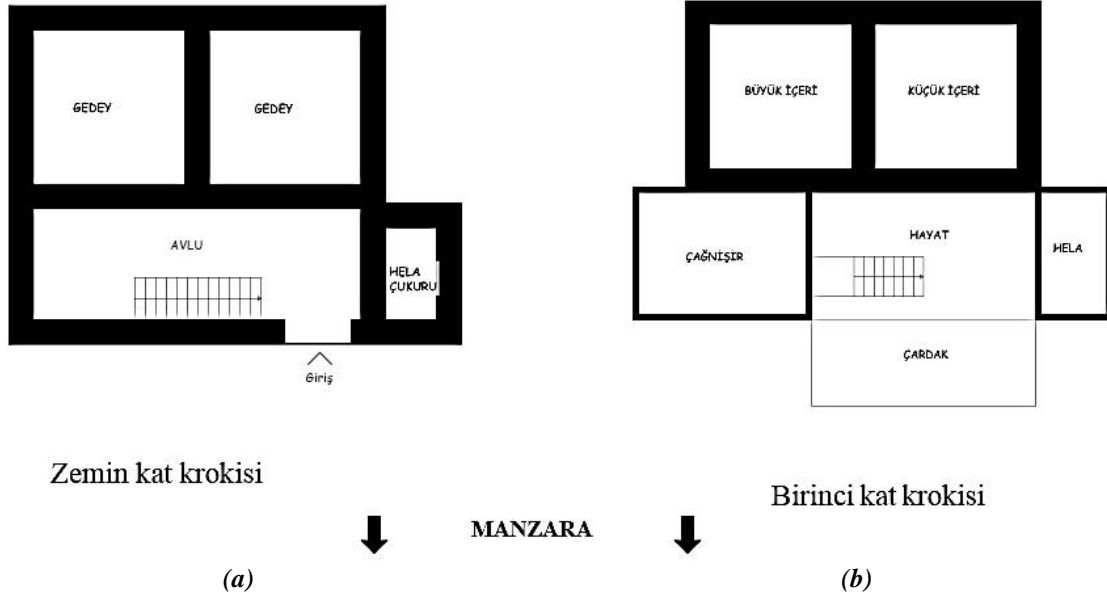
Çevre Yolu Caddesi ve ilçenin kuzey sınırları içinde kalan bölge, Üçüncü Yerleşim Bölgesi olarak adlandırılmıştır (Şekil 2, kırmızı renkle sınırlı alan). Üçüncü Yerleşim Bölgesi, dokuz mahalleden (Dinek, Hacımehmetli, Tepe, Sugözü, Küçükhasbahçe, Büyükhasbahçe, Fığla ve Cikkilli) oluşmaktadır.

Bölgede iki adet (1 anıt, 1 konut) tescilli yapı mevcuttur. Geleneksel teknikler ile inşa edilmiş birkaç konut olmasına rağmen, yalnızca bir tanesi yasalar tarafından korunmuştur [10].

IV. ALANYA GELENEKSEL KONUT MİMARİSİ ÖZELLİKLERİ

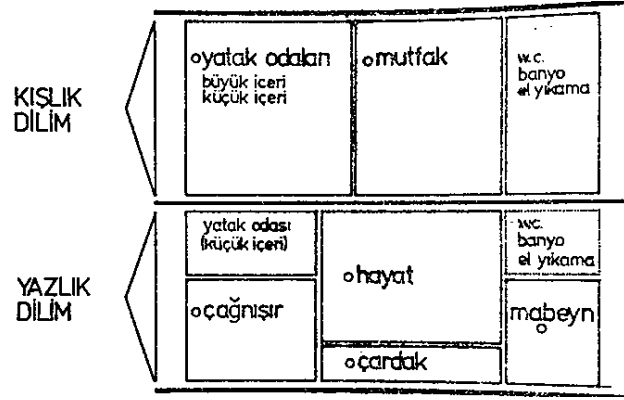
Sultan Birinci Alâeddin Keykubad'ın Alanya'yı fethinden sonra imar çalışmaları için birçok yapı ustası şehre getirilmiştir. 1221-1922 yılları arasında şehrin imarında çalışan Rum ve Türk yapı ustaları tarafından geleneksel Alanya konut tipi geliştirilmiştir.

Alanya geleneksel konutları genellikle iki katlıdır. Bölgenin eğimli yapısı nedeniyle belli bir kot seviyesinin altında kalan mekanlar oluşmuştur. Bu mekanlar çoğunlukla hayvan barınağı ya da fazla eşyaların depolandığı hacimler olarak kullanılmıştır ve "gedey" olarak adlandırılmıştır. Üst katlarda ise aile yaşamının geçtiği mabeyn, hayat, içeri (küçük/büyük), şahnişin (çağnişir) ve mutfak mekanları bulunur. Çağnişir denilen ve günümüz oturma odasına karşılık gelen mekân evlerin en kıymetli bölümüdür. Konut içinde yer alan eylemlerin gerçekleştirildiği hacimlerden hayat, çağnişir, mabeyn ve çardak hacimlerini manzara yönünde yer alan bir dilim içinde, ebeveyn yatak odası (büyük içeri), mutfak ve bazen küçük içeri hacimleri ise bir önceki dilimin gerisinde yer alan başka bir dilim içinde bulunmaktadır. Hela ve abdestlik hacimleri her iki dilim içinde de yer alabilmektedir. Ilıman iklimin etkisi ile kapalı mekanlar kadar açık ve yarı açık mekanlara da yer verilmiştir (Şekil 4) [11].



Şekil 4. Alanya geleneksel konutlarında mekanların yerleşim krokisi (a) Zemin kat planı ve (b) Üst kat planı.

Mevsimsel ayırım etkeninin ağırlığı göz önünde tutularak hayat, çağnişir, mabeyn, küçük içeri ve çardak hacimlerinin bulunduğu manzara yönündeki dilimi "yazlık dilim"; ebeveyn yatak odası (büyük içeri), mutfak ve bazen de küçük içeri hacimlerinin bulunduğu dilimi "kışlık dilim" olarak tanımlamak mümkündür (Şekil 5) [11].



Şekil 5. Alanya geleneksel konutlarının ortak özellikteki mekânsal dağılım şeması [10].

Yapım malzemesi olarak bölgede bulunabilen taş ve ahşap malzeme tercih edilmiştir. Alt katlarda ahşap hatıllı moloz taş duvar, üst katlarda ahşap bağdadi duvar teknikleri kullanılmıştır. Bağdadi duvarlar kırıktı siva ile sıvanmıştır. Manzara yönündeki dilim (yazlık dilim), genel olarak zemin kat boyunca yükselen taşıyıcı ahşap dikmeler üzerine ahşap karkas sistemde inşa edilmiştir. Bu bölüm ahşap elemanlarla kaplanmış veya kırıktı siva ile sıvanmıştır. Çatı genellikle eğimlidir ve alaturka kiremit ile örtülüdür. Diğer dilim (kışlık dilim), zemin ve üst katta taşıyıcı taş duvarlar (ahşap hatıllı, dışta sıvasız, içte sadece yaşama katında sıvalı) ve genellikle sıkıştırılmış killi toprak örtülü düz çatı (dam) olarak oluşmuştur [11].

Yapılarda uygulanan geleneksel yapım teknikleri, cephelerde de rahatlıkla gözlenebilmektedir. Zemin katlar moloz taş duvar ile inşa edilmiştir. Birinci katlarda manzaraya bakan cepheler bağdadi (yazlık dilim), yamaca bakan cepheler ise moloz taş (kışlık dilim) kullanılarak yapılmışlardır. Zemin katların ahır veya depo olarak kullanılmasından dolayı pencere sayısı az, küçük ve demir parmaklıdır. Bazı yapılarda ise pencere bulunmamaktadır (Şekil 6). Cephelerde süsleme, yapı elemanlarıyla sağlanmıştır. En dikkat çekici cephe birinci katın manzaraya bakan kısmıdır. Bu bölüm ahşap söveli, dört ayrı ahşap kapağı ve yöreye özgü demir parmaklıkları olan büyük pencereli kısımdır. Bazı yapılarda bu cephede yer alan pencerelerin üzerinde küçük boyutlu tepeli pencereleri yer alır. Farklı tekniklerle yapılmış pencere kapakları dikkat çeken bir diğer yapı elemanlarıdır [12].



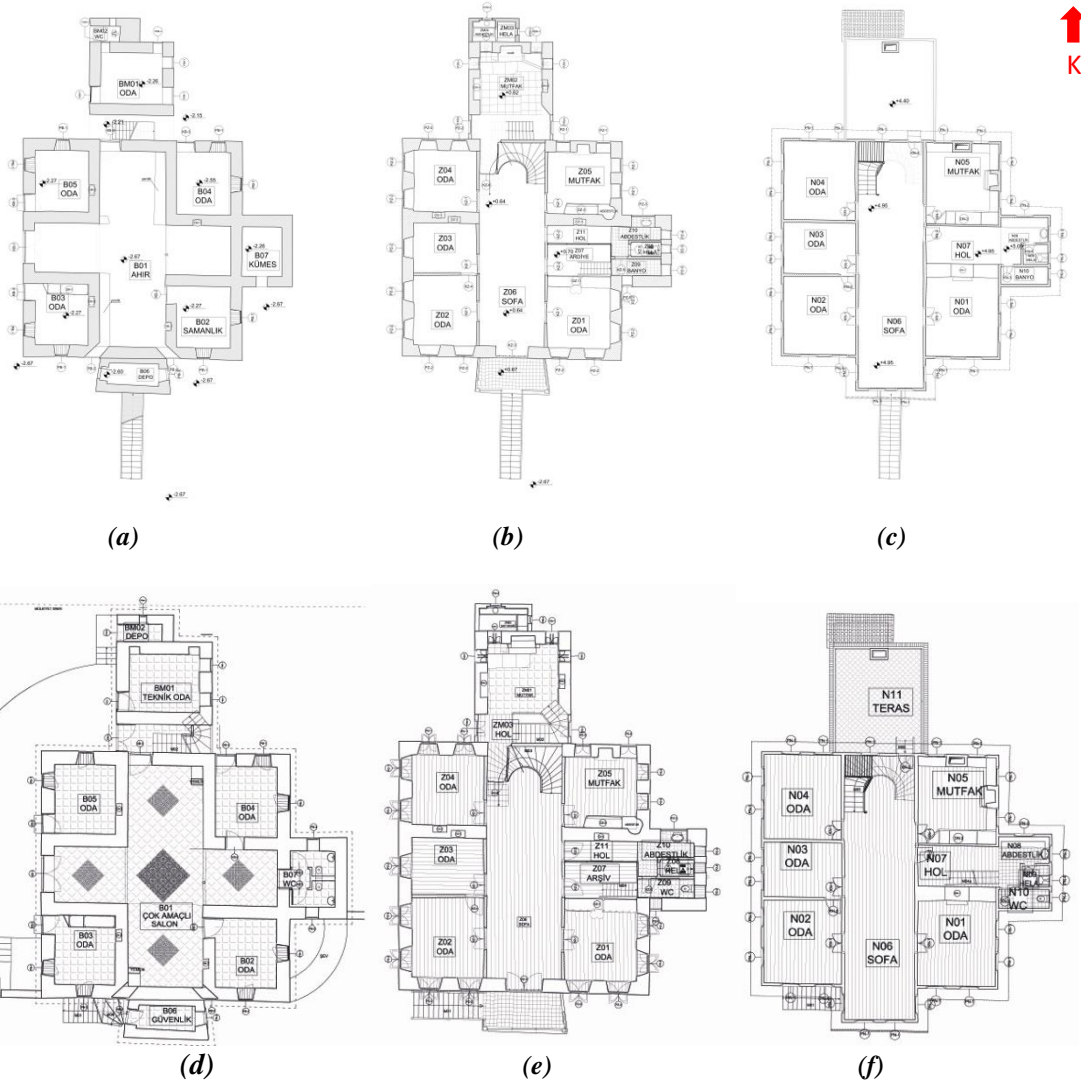
Şekil 6. Tarihi dokuyu oluşturan Alanya Geleneksel konutlarında cephelerin genel görünümü.

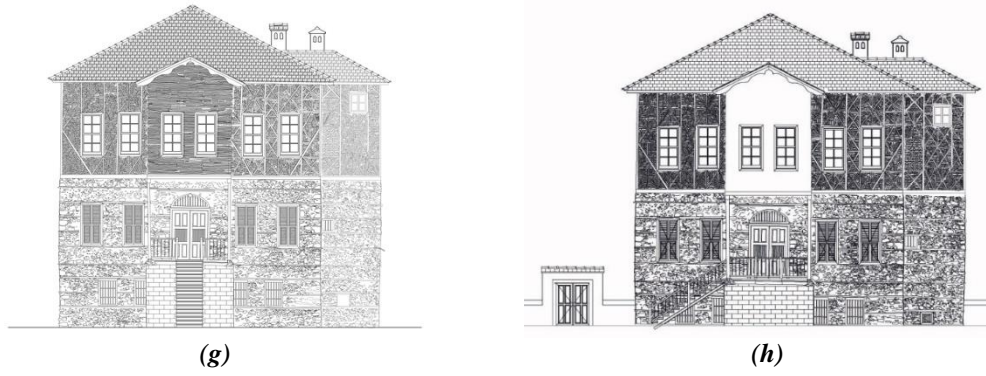
V. YENİDEN İŞLEVLENDİRİLEN GELENEKSEL ALANYA EVLERİ

İlçedeki farklı işlevlerde kullanılan geleneksel konutlar incelendiğinde bu yapıların konaklama, yeme - içme ve ofis işlevleri ile kullanıldıkları görülmektedir. Ofis olarak yeniden işlevlendirilen Hasanağalar Konağı ve Çırpanlı Konutu; konaklama amaçlı yeniden işlevlendirilen Sezer Konutu ve Şimşek Konutu; yeme - içme amaçlı yeniden işlevlendirilen Durusoy Konutu ve Sipahioğlu Konutu'dur. Bunların yanında işlevi değiştirilmeden restorasyonu yapılmış Gürses Konutu ve Kök Konutu da işlev değişikliğinin etkilerini belirlemek amacıyla diğer örneklerle beraber incelenmiştir.

A. HASANAĞALAR KONAĞI (256 ADA 56 PARSEL)- ALANYA KÜLTÜR MÜDÜRLÜĞÜ

İlk örnek ikinci yerleşim alanında bulunan, günümüzde Belediye tarafından, Kültür Müdürlüğü ofisi olarak kullanılan Hasanağalar Konağı'dır (Şekil 7-8).





Şekil 7. Hasanağalar Konağı (a) Restitüsyon-Zemin kat planı, (b) Restitüsyon-1. kat planı, (c) Restitüsyon-2. kat planı, (d) Restorasyon-Zemin kat planı, (e) Restorasyon-1. kat planı, (f) Restorasyon-2. kat planı, (g) Restitüsyon-Ön cephe, (h) Restorasyon-Ön cephe [13].

Yapının özgün plan şeması, iç sofalı plan tipindedir. Zemin kat, üst katlardan bağımsız bir bölümdür ve iki ana girişi vardır. Bazı mekanlarına da sokağa doğrudan açılan kendi girişleri vardır. Restitüsyon projesinde zemin katta 4 oda, 1 samanlık, 1 kümes, 1 depo ve bu mekanların ortasında kalan alanın ahır olduğu belirtilmiştir. Ancak geleneksel Alanya konut mimarisi göz önünde bulundurulduğunda ahırın → avlu, odaların → gedey olduğu düşünülmektedir. Arka bahçede bir hela ve tek hacimli ayırık nizamlı bir kütle vardır. Bu kütlelerin özgün işlevi ile bir bilgiye ulaşamamıştır. Birinci ve ikinci katlar konutun aile yaşamının olduğu bölümdür. Birinci kata giriş hem ön hem arka cepheden tek kollu bir merdiven ile sağlanmıştır. Birinci katta sofadaki iki kollu bir merdiven ile ikinci kata ulaşılmaktadır. Restitüsyon projesinde birinci katta 2 adet mutfak, 4 oda, 1 abdestlik, 1 ardiye, 1 hela ve sofa olduğu belirtilmiştir. Aynı katta birbirine çok yakın 2 mutfak olması pek doğru bir değerlendirme gibi gelmemektedir. Geleneksel Türk konutu mimarisi düşünüldüğünde dışarda kalan kütlelerin mutfak olma ihtimali daha yüksektir. İkinci kat planında 4 oda, sofa, 1 mutfak, 1 hela ve 1 abdestlik olduğu görülmektedir. Bu kattaki mutfağında yakın dönemdeki müdahalelerle odadan mutfağa dönüştürüldüğü düşünülmektedir.

Restorasyon çalışmalarında konutun iç duvarları korunmuş ve dolayısıyla iç sofalı plan şeması okunmaktadır. Sadece ana giriş merdiveninin yönü değiştirilmiştir. Koruma projelerine göre zemin katta odalar aynen korunmuştur. Depo → güvenlik, kümes → wc, ahır → çok amaçlı salon, dış mekânda kalan kütle → teknik oda, bu kütlelerin yanındaki hela → depo olarak yeniden işlevlendirilmiştir. Birinci katta mutfak ve odalar yine aynı işlevle değerlendirilmiştir. Ardiye → arşiv, hela + abdestlik → wc olarak yeniden işlevlendirilmiştir. İkinci katta işlevlerde değişiklik yapılmamıştır. Sadece dış mekânda kalan kütlelerin çatısı → teras olarak kullanılmıştır.

Yapının bozulan ve yıkılan kısımları, özgün yapım tekniği ve malzeme ile tamamlanmıştır. Zemin ve birinci katlarda ahşap hatıllı moloz taş duvar, ikinci katta ahşap çatkı tuğla dolgu duvar, çıkmada ise ahşap bağdadi duvar tekniği kullanılmıştır. Binanın ilk yapılışı esnasında ekonomik sebeplerden ötürü ikinci katının cephe duvarlarının sıvanamadığı bilinmektedir. Kent sakinleri tarafından bu sıvasız görünüşü ile belleklerde yer ettiği için üst kattaki çıplak tuğla görünümünü korunmuştur. Ancak ahşap bağdadi çıkmanın dış cephesi sıvanmış ve boyanmıştır.



(a)

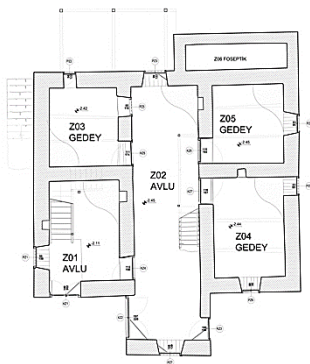


(b)

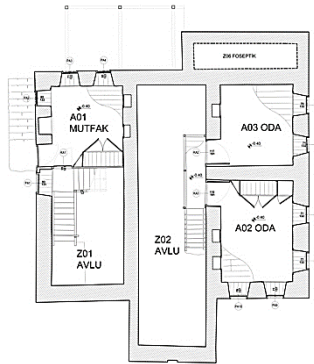
Şekil 8. Hasanağalar Konağı (a) Onarım öncesi ve (b) Onarım sonrası.

B. ÇIRPANLI KONUTU (244 ADA- 207 PARSEL)- DERNEK OFİSİ

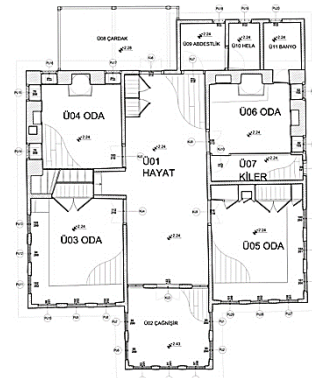
Ofis olarak işlevlendirilen diğer yapı, ikinci yerleşim alanında bulunan Çırpanlı Konutu'dur. Bu yapı günümüzde dernek ofisi olarak kullanılmaktadır.



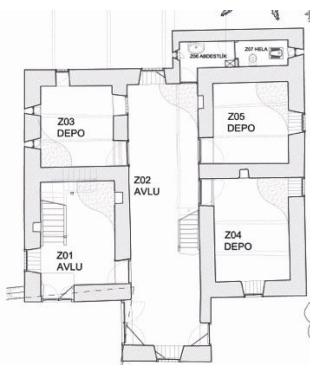
(a)



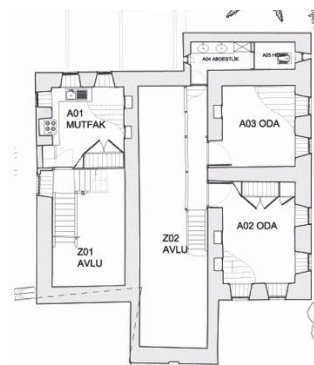
(b)



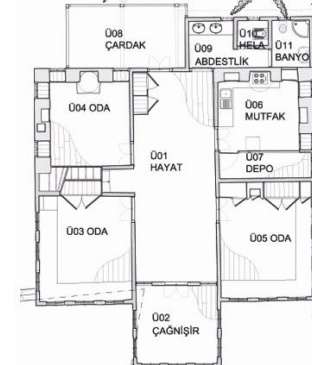
(c)



(d)



(e)



(f)

K



(g)



(h)

Şekil 9. Mustafâ Çırpanlı Konutu (a) Restitüsyon-Zemin kat planı, (b) Restitüsyon-1. kat planı, (c) Restitüsyon-2. kat planı, (d) Restorasyon-Zemin kat planı, (e) Restorasyon-1. kat planı, (f) Restorasyon-2. kat planı, (g) Restitüsyon-Ön cephe, (h) Restorasyon-Ön cephe [14].

Yapının özgün plan şeması, iç sofalı plan tipindedir. Zemin kat ve üstündeki iki kattan meydana gelmektedir. Zemin kat, hayvanlar ve depo mekanları içindir. Birinci ve ikinci katlar aile yaşamının geçtiği katlardır. Zemin katta 2 avlu, 3 gedey ve bir hela çukuru vardır. Yapıya önce küçük bir avludan girilir. Bu avludan da büyük bir avluya geçilir. Zemin kattaki tüm mekanlar büyük avluya açılır. Büyük avludaki bir merdiven ile üst kata çıkılır. Küçük avludaki bir merdiven ile de birinci kattaki mutfak mekanına ulaşılır. Birinci katta 2 oda, sofa ve hela çukuru bulunmaktadır. Ayrıca küçük avludan çıkılan mutfak bölümü vardır. Bu avludan sadece mutfığa çıkılması, mutfağın birinci kat kotunda planlanmasına rağmen ailenin yaşam alanından bağımsız olması ilginçtir. İkinci katta 4 oda, hayat, çaynişir, çardak, abdestlik ve hela bölümleri vardır. Restorasyon çalışmalarında konutun plan şeması büyük ölçüde korunmuştur. En önemli değişiklik arka cephede zemin ve birinci katlara wc kütlelerinin eklenmesi ile ikinci kattaki bir odanın mutfığa dönüştürülmesidir.

Restorasyon öncesinde yapının tüm cephesinin sıvalı ve boyalıdır. Sıva ve boyasının niteliğinden, yapının özgün mimarisine özgü olmadığı ve günümüze yakın bir dönemde yapılmış olduğu anlaşılmaktadır. Restorasyon uygulamaları sırasında söz konusu sıva ve boylar sökülmüş, yapının özgün cephesi ortaya çıkarılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 10. Mustafâ Çırpanlı Konutu (a) Onarım öncesi ve (b) Onarım sonrası.

C. SEZER KONUTU (401 ADA-1 PARSEL)- CENTAUERA BUTİK OTEL

Konaklama amaçlı yeniden işlevlendirilen örneklerden birincisi birinci yerleşim alanında bulunan Tophane mahallesindeki Centauera Butik Otel'dir (Şekil 11-12).



Şekil 11. Sezer Konutu (a) Restitüsyon-Zemin kat planı, (b) Restitüsyon-1. kat planı, (c) Restitüsyon-2. kat planı, (d) Restorasyon-Zemin kat planı, (e) Restorasyon-1. kat planı, (f) Restorasyon-2. kat planı, (g) Restitüsyon-Ön cephe, (h) Restorasyon-Ön cephe [15].

Yapının özgün plan şeması, dış sofalı plan tipindedir. Zemin kat ile üstündeki iki kattan meydana gelmektedir. Özgün planında zemin katta yapının girişinin olduğu avlu, ahır ve büyük bir sarnıç bulunmaktadır. Avludaki L planlı bir merdiven ile birinci kata ulaşılmaktadır. Birinci katta bir depo ve hela mekânı bulunmaktadır. Birinci kattan tek kollu bir merdiven ile ikinci kata çıkılmaktadır. İkinci katta büyük içeri, küçük içeri, mabeyn, sofa ve çağnişir mekanları yer almaktadır.

Otel olarak işlevlendirilen halinde konutun özgün plan şeması tamamen bozulmuştur. Giriş kattaki ahırın iç duvarları yıkılmış, bu mekâna resepsiyon, wc ve U planlı bir merdiven konulmuştur. Özgün

merdiven kaldırılmış ve hela çukuru ile birleştirilmiş, ikisinin kapladığı alana banyolu bir oda yapılmıştır. İkinci kattaki tüm iç duvarlar kaldırılmış, özgün plandaki sofa, depo ve hela mekanlarının kapladığı tüm alan banyolu iki oda haline getirilmiştir. Üçüncü kattaki tüm iç duvarlar kaldırılmış, özgün plandaki 2 oda, mabeyn ve çağnişirin kapladığı tüm alana mutfak, 2 adet banyolu oda, 1 oturma salonu yerleştirilmiştir. Ayrıca oturma salonunun giriş cephesine bakan kısmına bir teras çıkması eklenmiştir.

Alt katlarda ahşap hatıllı moloz taş kullanımı, manzaraya bakan üst katta ahşap bağdadi duvar tekniği uygulaması ile strüktür ve malzemede özgünlüğe saygı duyulmuştur. Ancak iç duvarların kaldırılması müdahaleleri ile, konutun özgün plan şemasının tamamen kaybedilmesine ve özgün strüktür – malzemeden büyük ölçüde kayıplara neden olduğu açıkça görülmektedir. Yapının otel işlevli plan şemasında artık dış sofalı plan tipini okumak mümkün değildir. Yapının cepheleri de yepyeni bir görünüm kazanmakla birlikte malzeme ve teknik açıdan özgün haline uyarlanmıştır.



(a)



(b)



(c)

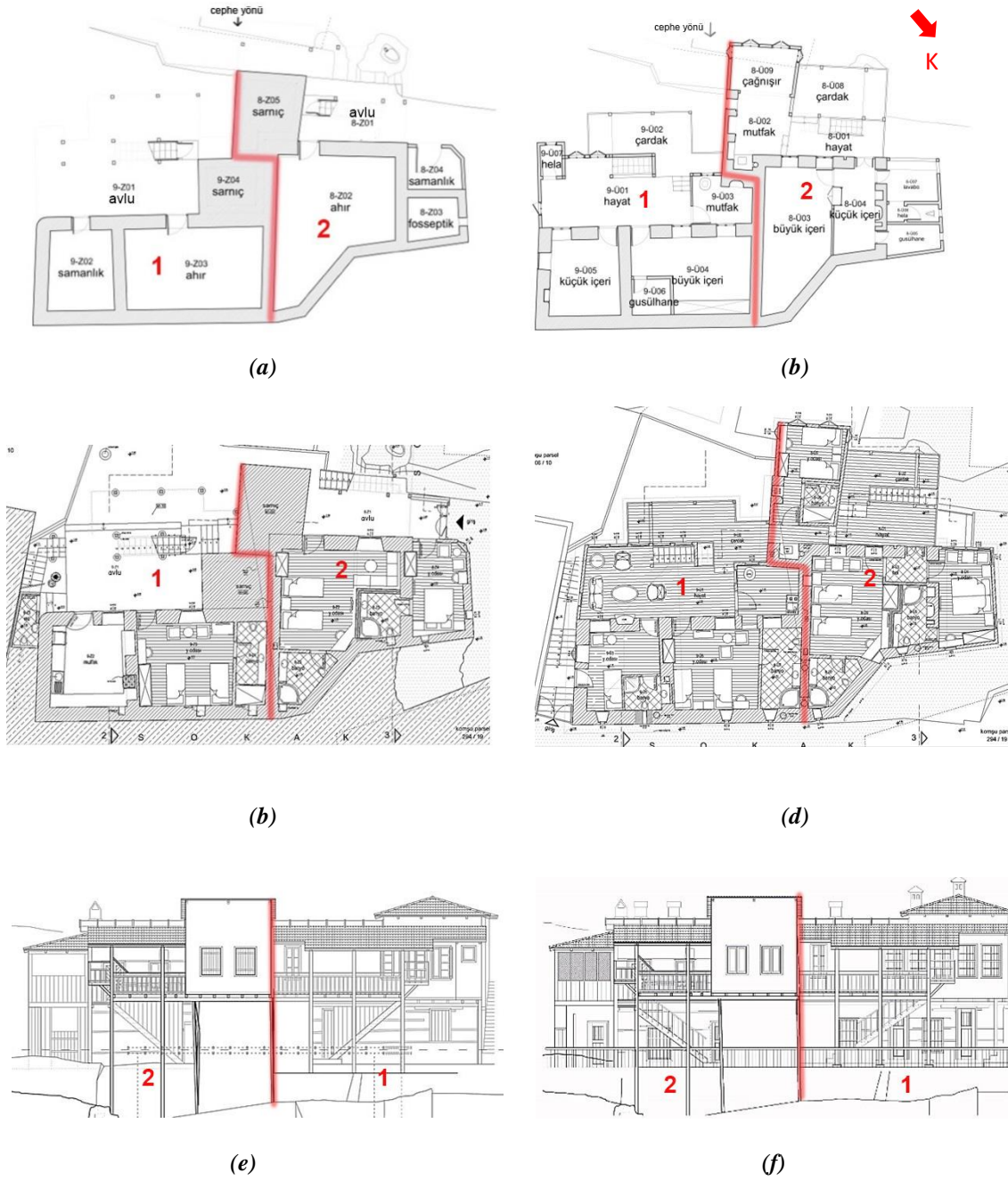


(d)

Şekil 12. Sezer Konutu (a) Onarım öncesi yan cephe, (b) Onarım sonrası yan cephe, (c) Onarım öncesi ön cephe, (d) Onarım sonrası ön cephe.

D. ŞİMŞEK KONUTU (406 ADA- 9 PARSEL)- VİLLA TURCA BUTİK OTEL

Birinci yerleşim alanındaki Tophane mahallesinden bir diğer örnek ise Villa Turca Butik Otel'dir (Şekil 13-14).



Şekil 13. Şimşek Konutu (a) Restitüsyon-Zemin kat planı, (b) Restitüsyon-1. kat planı, (c) Restorasyon-Zemin kat planı, (d) Restorasyon-1. kat planı, (e) Restitüsyon -Ön cephe, (f) Restorasyon-Ön cephe [15].

Yapının özgün plan şeması, dış sofalı plan tipindedir. Zemin kat ile üstündeki bir kattan meydana gelmektedir. Yapı bölge de birkaç örneği daha bulunan birleşik ev şeklinde iki adet dış sofalı konutun bitişik nizam inşa edilmesiyle oluşturulmuştur. Çizimlerdeki kırmızı hat, iki evin arakesitidir. Her iki evin özgün planında zemin katta bir avlu, bir sarnıç, bir ahır, 1 samanlık ve 1 fosseptik bölümü vardır. Üst katlarda ise hayat, çardak, mutfak, büyük içeri, küçük içeri, gusulhane, wc mekanları vardır. Sadece evlerden birisinde diğerinden farklı olarak çağnişir mekânı vardır.

Konutun otele dönüştürülmüş halinde 1 numaralı konutun zemin katındaki avlu ve sarnıç aynen korunmuştur. Ahır → banyolu odaya; samanlık → mutfak mekanına dönüştürülmüştür. Dönüşümde plan şeması korunmuştur. 2 numaralı konutun zemin katındaki avlu ve sarnıç korunmuştur. Ahır → banyolu odaya, samanlık ve fosseptik birleştirilerek →banyolu odaya, küçük içeri →yatak holü + banyoya dönüştürülmüştür. Dönüşüm sırasında plan şeması korunmamıştır. 1 numaralı konutun üst

katındaki küçük içeri → banyolu tek kişilik odaya, büyük içeri → banyolu iki kişilik odaya dönüştürülmüştür. Büyük içerideki gusülhane tamamen kaldırılmıştır. Mutfak mekânı korunmuş ancak içindeki özgün ocak kaldırılmıştır. Cepheye yansıyan wc kütesli de tamamen kaldırılmıştır. Çardak ve hayat mekanları korunmuştur. Dönüşümde plan şeması kısmen korunmuş, özgün iç duvarlardan yıkım yapılmamıştır. Buna karşılık banyo mekânı eklemeleri ve yapı elemanlarından kayıplar olmuştur. 2 numaralı konutun üst katındaki büyük içeri → banyolu odaya, çağnişir + mutfak → banyolu odaya, lavabo + wc + gusülhane → odaya, küçük içeri → banyo + yatak holüne dönüştürülmüştür. Çardak ve hayat mekanları korunmuştur. Özgün plan şeması bozulmuştur.

Yapının büyük bir kısmı yıkılmış, yıkılan kısımlar geleneksel yapım teknikleri ve malzeme ile tamamlanmıştır. Cephede kullanılan malzeme ve teknik özgün mimariyi yansıtsa da yeni işlev için tasarlanan ekler ve bu eklerin cepheye yansması sonucu yapıda bölgeye özgü cephesel özellikler görülememiştir.



(a)

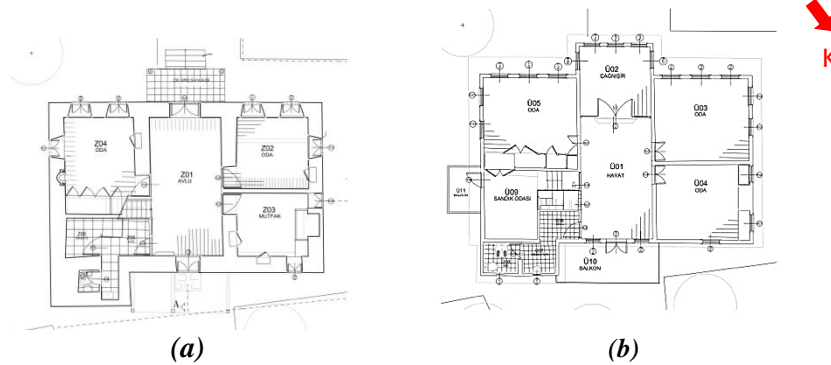


(b)

Şekil 14. Sezer Konutu (a) Onarım öncesi ön cephe, (b) Onarım sonrası ön cephe.

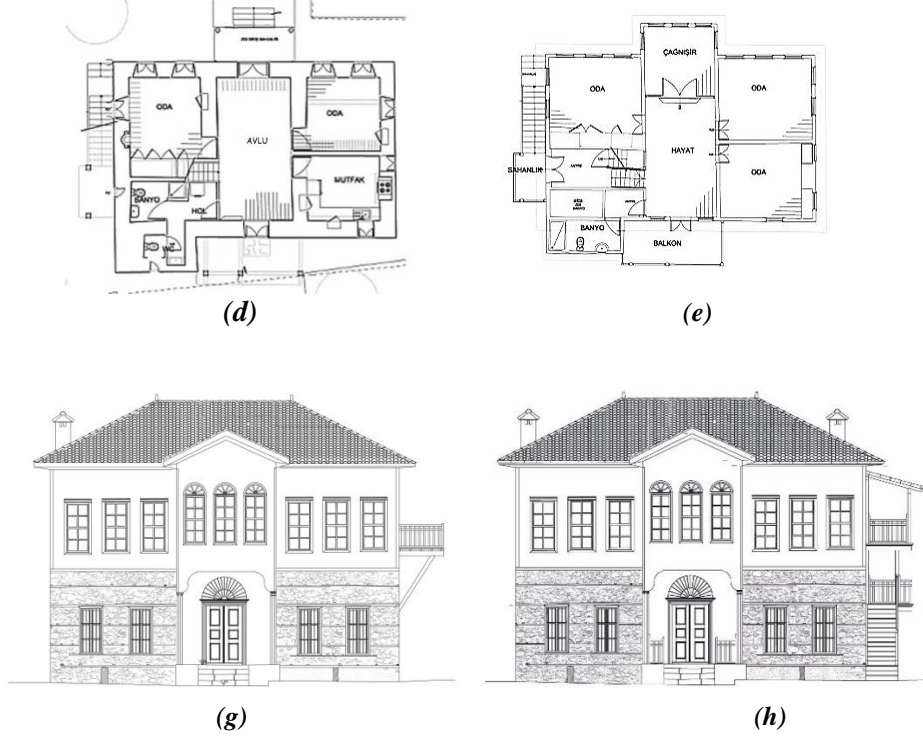
E. DURUSOY KONUTU (263 ADA- 5 PARSEL)- BİSTRO FLOYD CAFE

Kafe/restoran işlevi verilen yapılardan birincisi, ilk yerleşim alanı ile ikinci yerleşim alanı arasında yer alan Durusoy Konutu'dur. Günümüzde Bistro Floyd ismiyle hizmet vermektedir (Şekil 15-16).



(a)

(b)

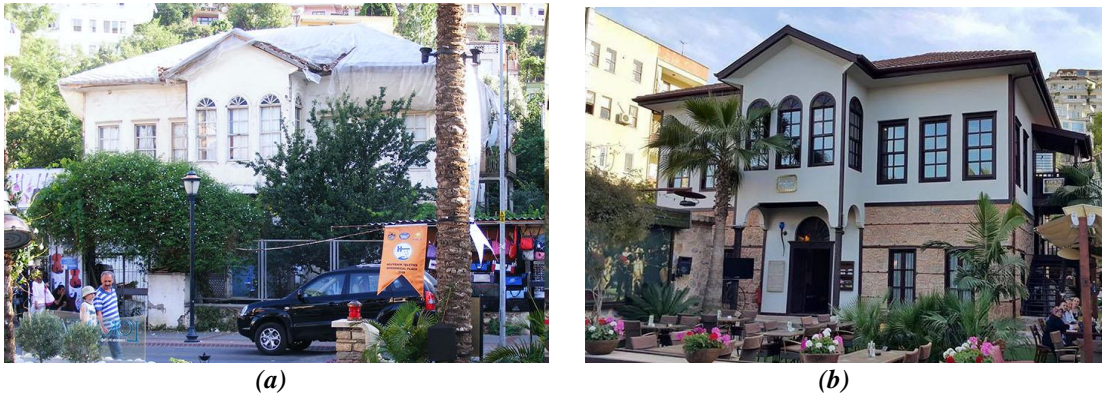


Şekil 15. Durusoy Konutu (a) Restitüsyon-Zemin kat planı, (b) Restitüsyon-1. kat planı, (c) Restorasyon-Zemin kat planı, (d) Restorasyon-1. kat planı, (e) Restitüsyon-Ön cephe, (f) Restorasyon-Ön cephe [14].

Yapının özgün plan şeması, iç sofalı plan tipindedir. Zemin kat ile üstündeki bir kattan meydana gelmektedir. Özgün planında zemin katta yapının girişinin olduğu avlu, mutfak, 2 oda ve wc bulunmaktadır. Üst katta 3 oda, sofa, sofanın bir kenarında çağnişir diğer ucunda çardak, 1 banyo ve merdivenle sahanlığında farklı kotta düzenlenmiş bir sandık odası bulunmaktadır.

Konutun kafeye dönüştürülmüş halinde giriş kat düzeni aynen korunmuştur. Üst kat plan şeması da büyük ölçüde korunmuştur. Yalnız üst kata yan cepheden ayrı bir merdiven ile giriş verilmiş, sandık odası → giriş holü haline getirilmiştir. Böylece alt ve üst kat birbirinden bağımsız olarak kullanılabilir hale getirilmiştir.

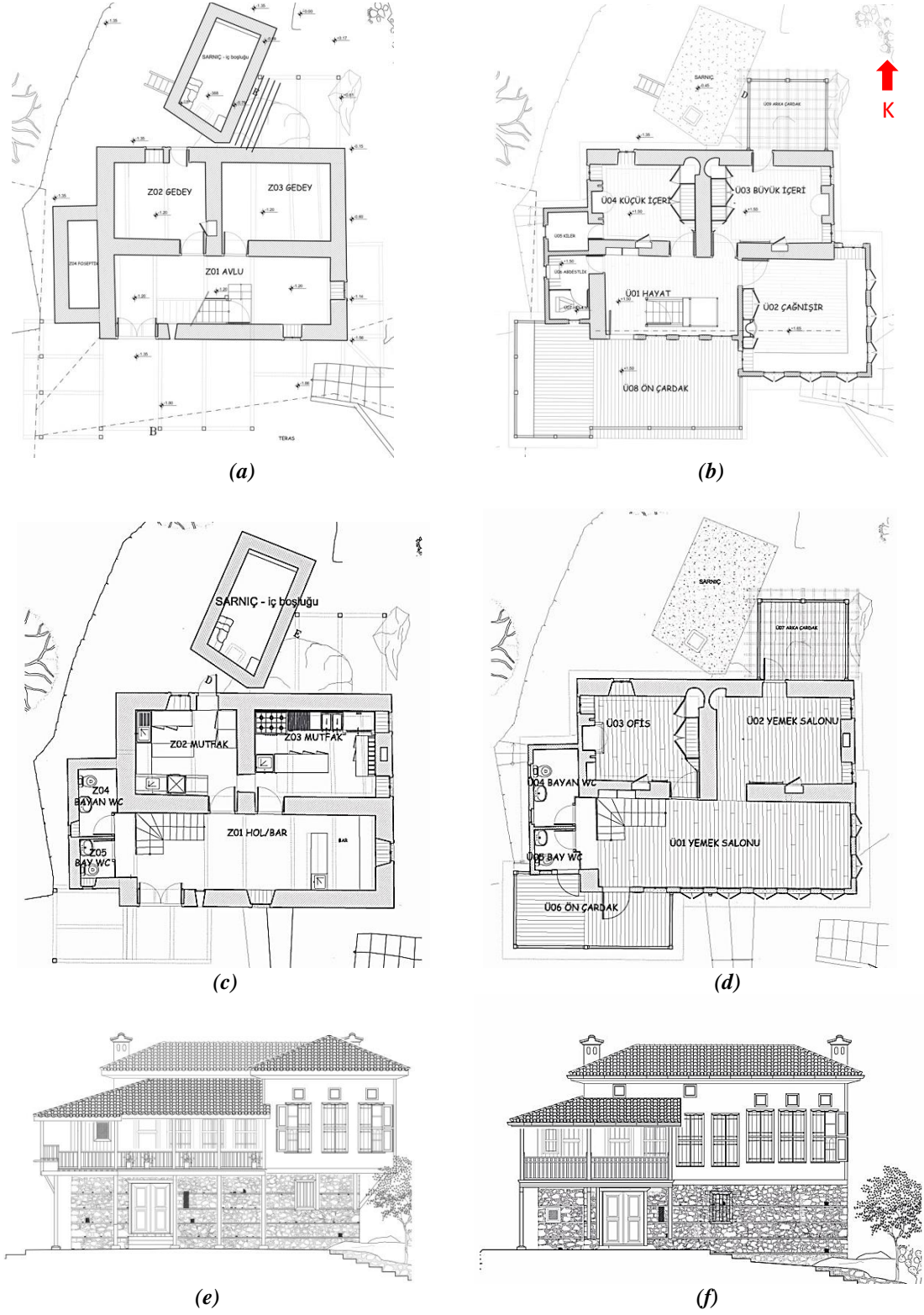
Yapım tekniği ve malzeme kullanımında yörenin özgün malzemeleri ve tekniği tercih edilerek mevsimsel ayırım gözetilmiştir.



Şekil 16. Durusoy Konutu (a) Onarım öncesi, (b) Onarım sonrası.

F. SİPAHIOĞLU KONUTU (308 ADA- 1 PARSEL)- GARDENIA RESTORAN

Restoran işlevi verilen diğer örnek, ilk yerleşim alanında yer alan ve Sipahioğlu Konutu'dur. Günümüzde Gardenia Restoran ismiyle hizmet vermektedir (Şekil 17-18).



Şekil 17. Sipahioğlu Konutu (a) Restitüsyon-Zemin kat planı, (b) Restitüsyon-1. kat planı, (c) Restorasyon-Zemin kat planı, (d) Restorasyon-1. kat planı, (e) Restitüsyon-Ön cephe, (f) Restorasyon-Ön cephe [14].

Yapının özgün plan şeması, dış sofalı plan tipindedir. Zemin kat ile üstündeki bir kattan meydana gelmektedir. Özgün planında zemin katta yapının girişinin olduğu avlu ve 2 gedey bulunmaktadır. Ayrıca yapıya yan cepheden bitişik bir fosseptik ve yapıdan ayrık nizamda bir sarnıç vardır. Üst katta büyük içeri ve buraya bağlı küçük bir çardak, küçük içeri ve buraya bağlı bir kiler, sofa (hayat) ve buraya bağlı çağnişir, büyük bir çardak, hela ve abdestlik mekanları vardır.

Restoran olarak işlevlendirilmiş halinde gedeyler → mutfak, avlu → bar, fosseptik → wc mekanlarına dönüştürülmüştür. İç duvarlarda yıkım ve ekleme yapılmamış, dolayısıyla zemin kat plan şeması korunmuştur. Sarnıca da hiç müdahale edilmemiştir. Üst katta küçük içeri → ofise dönüştürülmüş ve kiler mekânı ile arasındaki kapı boşluğu kapatılmıştır. Kiler → bayan wc haline dönüştürülmüştür. Büyük içeri ve sofa → yemek salonuna dönüştürülmüş, sofanın çağnişir bölümü kaldırılmış, sofaya bağlı çardak küçültülmüştür. Sonuç olarak üst kat planında her ne kadar dış sofalı plan tipi halen okunabilse de mekanların büyüklükleri ve bağlantıları çok fazla değiştirilmiştir.

Yapım tekniği ve malzeme açısından geleneksel doku ile devamlılık sağlanmaya çalışılsa da yeni işlevin gerekleri için planda yapılan zorlama müdahaleler cepheye yansiyarak yapıyı geleneksel konut görünümünden uzaklaştırmıştır.



(a)



(b)

Şekil 18. Sipahioğlu Konutu (a) Onarım öncesi, (b) Onarım sonrası.

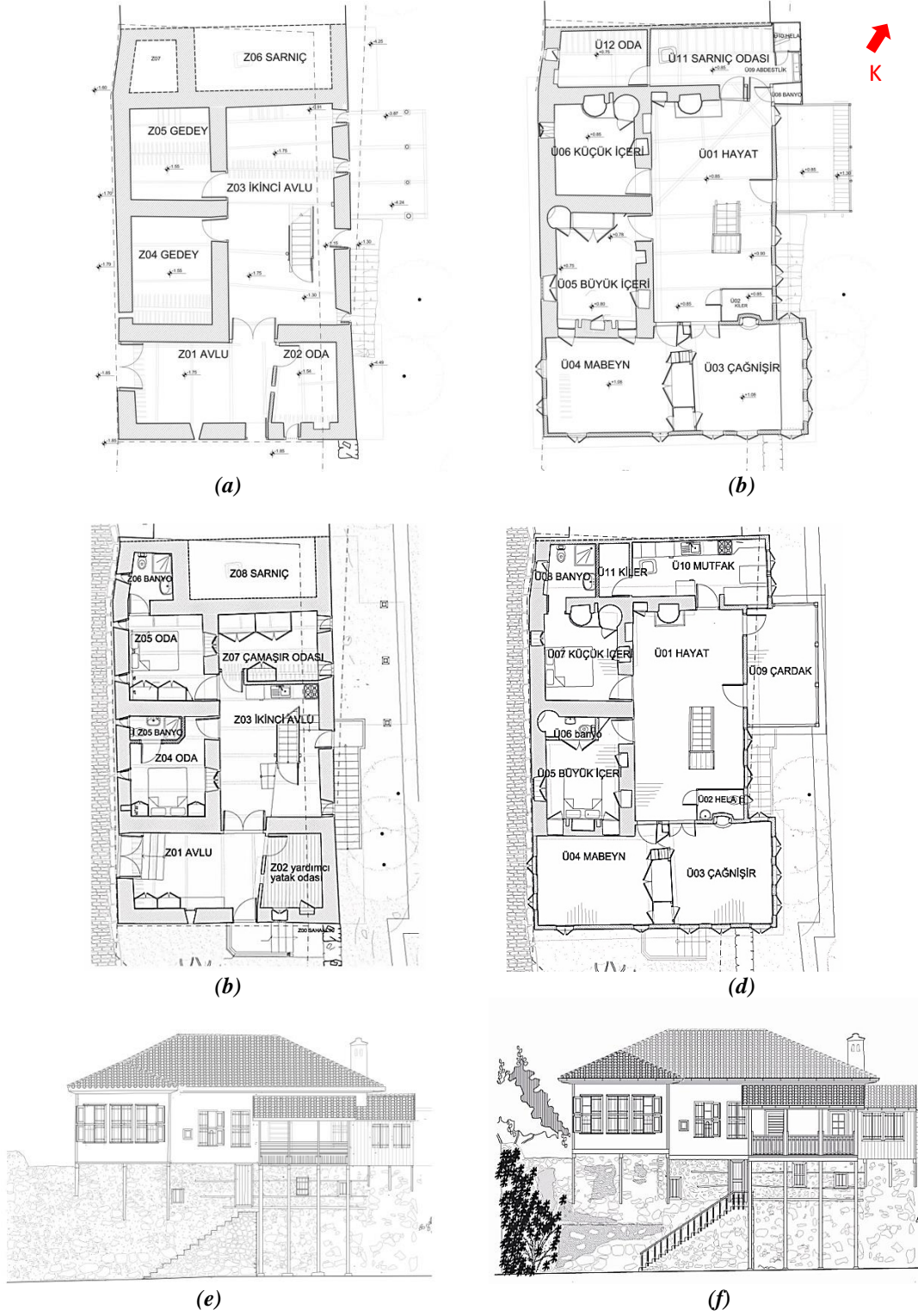
G. ALİ GÜRSES KONUTU (403 ADA- 2 PARSEL)

İşlev değişikliğinin geleneksel konutlar üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için, yine konut olarak kullanımının devam ettirilmesi hedeflenen restorasyon uygulamalarından iki örnek seçilmiştir.

Bu örneklerden birincisi birinci yerleşim alanında yer alan Ali Gürses Konutu'dur (Şekil 19-20). Ali Gürses Konutu, bulunduğu birinci yerleşim bölgesindeki konutların çoğunda olduğu gibi dış sofalı plan şemasına sahiptir. Zemin katta diğer konutlardan farklı olarak iki adet avlu vardır. Birinci avlu diğerine göre daha küçüktür, evin girişi bu avludan sağlanmaktadır, sadece bir oda ve ikinci avluya bağlantısı vardır. İkinci avlu oldukça büyüktür. Avluda üst kat ile bağlantıyı sağlayan tek kollu bir merdiven bulunur. İki gedey, bu avluya açılır. Ayrıca yapının yan cephesinde bitişik nizam bir sarnıç ile bir fosseptik bulunmaktadır. Üst katta sofa (hayat), mabeyn, büyük içeri, küçük içeri, çağnişir ve bir oda bulunmaktadır. Bu odanın içinde yine oda gibi ayrı bir kapalı mekân bölümü daha vardır. Hayat bölümünde bir hela ve çardak bulunmaktadır. Çardağa, dış mekândan tek kollu bir merdiven ile de çıkılmaktadır.

Özgün işlevi ile restorasyonu yapılan bu yapıda göze çarpan en önemli müdahale odaya dönüştürülen tüm mekanlara, banyo eklenmesidir. Zemin kattaki gedeyler → yatak odasına dönüştürülmüştür. Büyük gedeyin içine banyo mekânı eklenirken, hela çukuru → küçük gedeyin banyosu haline getirilmiştir. Büyük avlunun bir bölümü → çamaşır odası yapılmıştır. Üst katta büyük içeri → yatak odasına, sarnıcın içindeki odanın bir bölümü → yatak odasının banyosuna dönüştürülmüştür. Sarnıcın içindeki odanın kalan bölümü → kiler haline getirilmiştir. Sarnıcın üstündeki oda → mutfak mekanına

dönüştürülmüştür. Mutfaktan kilere bir kapı açılmıştır. Mutfak mekanının doğu cephesinde iki adet pencere açılmıştır. Büyük içeri → yatak odasına dönüştürülmüş, içine de banyo eklenmiştir. Mabeyn, çağnişir, hayat, hela ve çardak korunmuştur. Yapım tekniği ve malzemesi ile cephe özellikleri bakımından Ali Gürses Konutu, restorasyon sonrasında da Alanya'nın geleneksel konut mimarisini yansıtmaktadır.



Şekil 19. Ali Gürses Konutu (a) Restitüsyon-Zemin kat planı, (b) Restitüsyon-1. kat planı, (c) Restorasyon-Zemin kat planı, (d) Restorasyon-1. kat planı, (e) Restitüsyon-Ön cephe, (f) Restorasyon-Ön cephe [14].



(a)



(b)



(c)



(d)

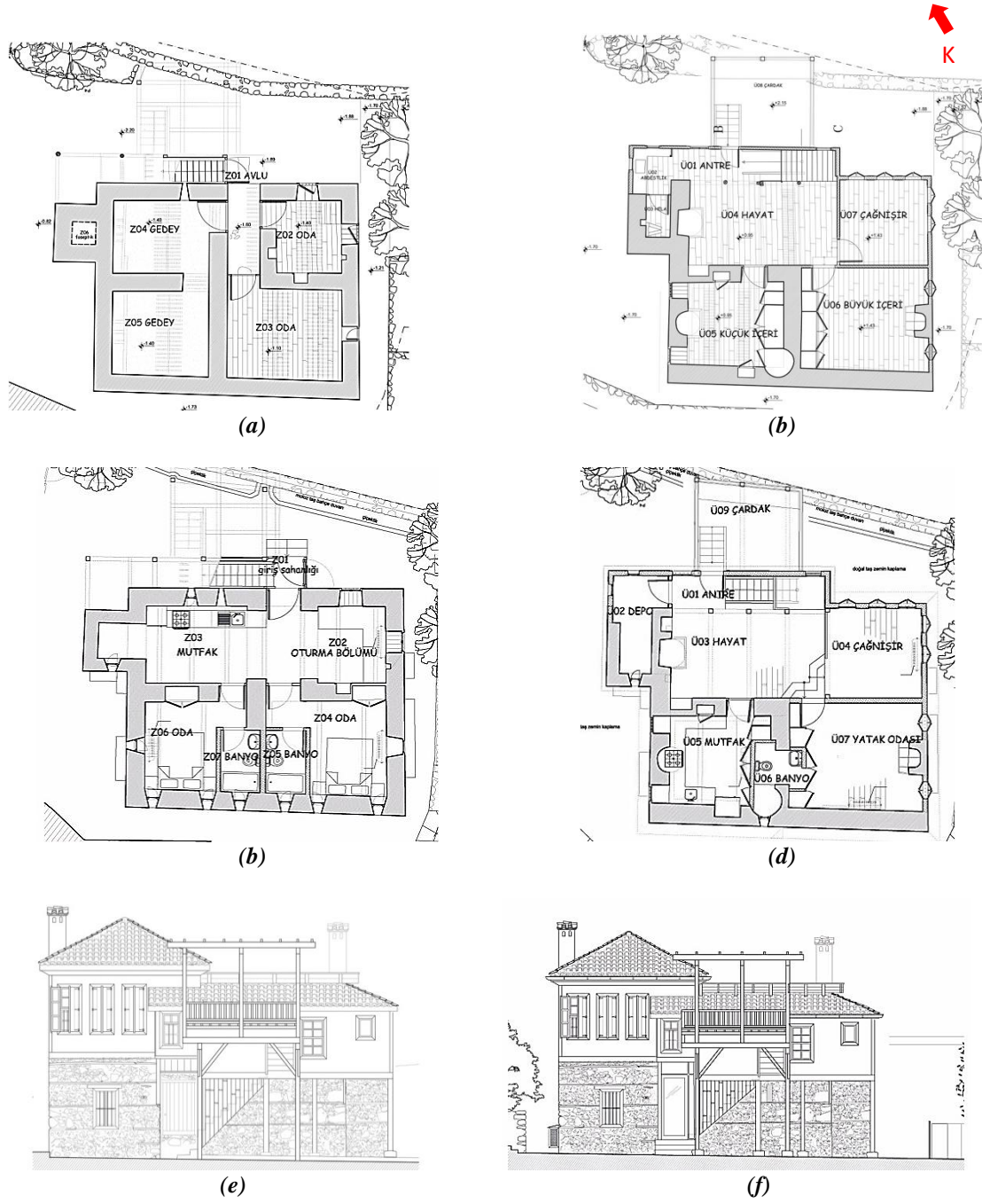
Şekil 20. Ali Gürses Konutu (a) Onarım öncesi ön cephe, (b) Onarım sonrası ön cephe, (c) Onarım öncesi arka cephe, (d) Onarım sonrası arka cephe.

H. NAZİF KÖK KONUTU (263 ADA- 70 PARSEL)

İşlev değişikliği yapılmadan onarıp kullanılan diğer geleneksel konut ise birinci yerleşim alanı ile ikinci yerleşim alanı arasında bulunan Nazif Kök Konutu'dur (Şekil 21-22).

Yapının özgün plan şeması, dış sofalı plan tipindedir. Zemin kat ile üstündeki bir kattan meydana gelmektedir. Özgün planında zemin katta avlu, 2 gedey, 2 oda ve bir hela çukuru vardır. Avludan 2 farklı merdivenle üst kata çıkılmaktadır. Üst katta hayat, hela, abdestlik, çağnişir, büyük içeri, küçük içeri ve çardak mekanları vardır. Avludan çıkılan merdivenler ile üst katta hayata ulaşılmaktadır.

Yapının restorasyondan sonraki halinde zemin katta gedeylerden birisi + hela çukuru → mutfak mekanına dönüştürülmüştür. Girişin yanındaki oda → oturma odasına, diğer gedey ve oda → 2 ayrı yatak odası haline getirilmiştir. Bu iki yatak odasının arasına, bu odalara hizmet veren 2 banyo yapılmıştır. Üst kattaki hela ve abdestlik birleştirilerek → depo yapılmıştır. Küçük içeri → mutfak, büyük içeri → yatak odası haline getirilmiştir. Küçük içeri ile büyük içeri arasında banyo yapılmış, banyo, yatak odasına hizmet etmektedir. Çağnişir ve çardak korunmuştur. Kullanıcı istekleri doğrultusunda yapılan tüm değişiklik ve onarımlar esnasında özgün teknik ve yapı malzemesi kullanılmıştır. Cephelerin özgünlüğü büyük ölçüde korunmuştur.



Şekil 21. Nazif Kök Konutu (a) Restitüsyon-Zemin kat planı, (b) Restitüsyon-1. kat planı, (c) Restorasyon-Zemin kat planı, (d) Restorasyon-1. kat planı, (e) Restitüsyon-Ön cephe, (f) Restorasyon-Ön cephe [14].



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 22. Nazif Kök Konutu (a) Onarım  ncesi saç yan cephe, (b) Onarım sonrası saç yan cephe, (c) Onarım  ncesi sol yan cephe, (d) Onarım sonrası sol yan cephe, (e) Onarım  ncesi  ardak, (f) Onarım sonrası  ardak.

VI. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Alanya'da ondokuzuncu yüzyılın başlarında çok sayıda geleneksel konut varken günümüze pek azı ulaşabilmififtir. Bu konutların birçoğu günümüz yaşam koşullarının hızına adapte edilmediği için ya terk edilmiştir ve da hatalı imar kararları, rant, bakımsızlık gibi nedenlerle yıkılmififtir.

Günümüze ulaşabilenlerin turizm sektörü üzerindeki çekici etkisi anlaşılmififtir, önce tescillenip sonra turizm ve ticaret işlevleriyle donatılarak restore edilmeye başlanmififtir. Ancak geleneksel konutların yapıldıkları dönemdeki sosyo-ekonomik durumu ve yaşam biçimini yansıtan tarihi belge niteliğinde oldukları halen tam olarak anlaşılamamififtir. Yeniden işlevlendirme adı altında yapılan değişiklikler

geleneksel konutların özgünlüklerinden kayıplar verilmesine neden olmuştur ve olmaya devam etmektedir.

Alanya'da yeniden işlevlendirilerek kullanılan geleneksel konutlar incelendiğinde, **ofis** amaçlı kullanılan konutların plan şemasının ve cephelerinin korunduğu ancak hayvanlar için ayrılan barınak bölümlerinin özgün iç mekân donatılarının yok edildiği görülmüştür. Konaklama amaçlı yani **butik otel** olarak yeniden işlevlendirilen konutlarda ise plan şemasının tamamen değiştirildiği anlaşılmaktadır. Bunun nedeni çok sayıda odaya ve her odada banyoya sahip olma çabasıdır. Ayrıca bütün odalara gün ışığı ve doğal hava sağlamak amacıyla cephelerdeki sağır duvarlarda pencereler açılmıştır. Bu müdahale, cephelerin de özgünlüğünü kaybetmesine neden olmuştur. Geleneksel konutlardan oluşan tarihi dokunun cazibesi nedeniyle bu yapılarda konaklamayı tercih eden turistlerin, plan ve cephe özgünlüğü tamamen bozulmuş konutlarda misafir edilmesi, ülkemiz açısından koruma ve turizm ikilemi arasında çelişkili bir durumdur. Plan şeması değiştirilirken yığma yapım tekniğinde inşa edilmiş olmaları nedeniyle hem bölücü hem taşıyıcı görevi bulunan iç duvarların tamamen kaldırılması, geleneksel konutları strüktürel açıdan da zayıflatmaktadır. **Restoran-kafe** olarak yeniden işlevlendirilen geleneksel konutlarda, mevcut mutfak mekanları genişletilmiş, mutfak sayısı artırılmış ve üst katlarda da bazı odalar mutfağa dönüştürülmüştür. Bu mekanlarda yoğun nem ve ısıya maruz kalan geleneksel yapım malzemelerinin de çeşitli bozulmalara açık hale geldiği düşünülmektedir. Ayrıca bu yapılarda ahşap malzemenin yapım sisteminin önemli bir bölümünü oluşturduğu düşünülürse, yangına karşı ciddi önlemlerin alınması gereklidir. Restoran olarak işlevlendirilen konutta aynı anda çok sayıda müşteriye yemek yeme imkânı sunma amacı ile geniş bir yemek salonu elde etme müdahalesi olmuştur. Bu nedenle bir oda, sofa ve merdiven boşluğu birleştirilmiş, merdiven başka bir yere taşınmış ve yemek salonunun önüne bir teras eklenmiştir. İç mekânda yapılan bu değişimler doğal olarak cepheye de yansımış, plan şeması ile cepheler de özgünlüğünü kaybetmiştir. Özgün işlevi değiştirilmeden yine **konut** işlevinde kullanılmak üzere restore edilmiş yapılar incelendiğinde ise her iki örnekte de bütün odalara banyo eklenmiş olduğu dikkati çekmektedir. Bu müdahale, kullanıcılarının aile yaşamlarında gerçekten böyle bir ihtiyaçları var mı yoksa günümüzde ya da gelecekte yapıyı otel olarak işletme fikrini mi taşıdıkları sorusunu akla getirmektedir. Cephelerde kısmen özgünlük korunmuş, yıkık kısımlarda geleneksele öykünen yeni tasarımlar yapılmıştır. Ancak tüm müdahaleler göz önünde bulundurulduğunda özgün işlevi ile kullanılacağı beyan edilen konutlarda da plan şeması ve cephe özgünlüğü korunmamıştır.

Alanya'da yeniden işlevlendirilen geleneksel konut yapılarının özgünlük açısından yapılan analizlerinden şu genellemeleri yapmak mümkündür. 2863 sayılı kanunun da verdiği yetkiyle geleneksel konut yapıları bir kabuk olarak kabul edilip, başta plan şemaları olmak üzere strüktür, malzeme, renk ve peyzaj gibi birçok özgün mimari özelliklerini kaybetmektedir. İncelenen örneklerden sadece kültür müdürlüğü ve bir dernek tarafından ofise dönüştürülen konutların özgünlüğü korunmuştur. Diğer işlevlerle donatılan bütün yapılar önemli derecede özgünlüklerini kaybetmişlerdir. Özgün işlevi ile kullanılmak üzere restore edilen konutlarda da otele dönüştürülenlerle aynı müdahaleleri görmek, geleneksel konutların özgün işlevleri ile kullanılmalarının dahi özgünlüklerini korumak için yeterli bir çözüm olmadığını göstermektedir.

Bu nedenle ülkemizdeki koruma ile ilgili yasal normların geleneksel konut yapılarını plan şeması, strüktür, malzeme, cephe, renk, peyzaj, yakın çevre, bulunduğu doku bütünü, kent ile ilişkisi vb. birçok yönden özgünlüğü ile korunmasını sağlayacak şekilde düzenlenmesi gerekir. Yeni verilen işlev her ne olursa olsun, yapıların özgünlüğüne zarar verilmemelidir. Yeniden işlevlendirmenin tarihi binaların yıkımdan kurtarılması için bir amaç değil, bir araç olduğu unutulmamalıdır. Özellikle otel, restoran gibi çok farklı plan düzenlemelerini gerektiren işlevler için boş parsellerde yeni yapı tasarımları düşünülmelidir. Nitekim tarihi çevrede yeni yapı tasarımı konusu, dünyada birçok tasarımcı ve korumacı mimarların beyin fırtınası yaptığı önemli konulardan birisidir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] E.F. Alioğlu. (1991). *Geleneksel yapı elemanları*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.scribd.com/document/433144255/GELENEKSEL-YAPI-ELEMANLARI>
- [2] D. Zeybekoğlu, “Edirne geleneksel konut mimarlığını etkileyen sosyo-kültürel faktörlerin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2005.
- [3] B.M. Feilden ve J. Jokilehto. (1998). *Management guidelines for world cultural heritage sites*. [Online]. Available: https://www.icrom.org/sites/default/files/2018-02/1998_feilden_management_guidelines_eng_70071_light_0.pdf
- [4] ICOMOS. (1994, Nov 1-6). *The Nara document on authenticity*. [Online]. Available: <https://www.icomos.org/charters/nara-e.pdf>
- [5] B. Eroğlu ve E. Yıldız, “Kültür mirasının sürekliliği için anıtsal binaların yeniden kullanılması bağlamında Ermenek Tol Medrese,” *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, s. 15, ss. 315-340, 2006.
- [6] D. Aydın ve E. Yıldız, “Yeniden kullanıma adaptasyonda bina performansının kullanıcılar üzerinden değerlendirilmesi,” *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 27, s. 1, ss. 1-22, 2010.
- [7] G. Urak, “Kullanımda değerlendirme: Ankara Kaleiçi restorasyon/işlevsel dönüşüm uygulamaları ve Ankara halkı,” *Hacettepe Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 1, ss. 45-62, 2002.
- [8] O. Atak ve A. Atak. (2019, 2 Ekim). *Antalya İli, Alanya İlçesi, Dim Çayı, kıyı koruma yapıları (mahmuz) 1/5000 ölçekli nazım imar planı plan açıklama raporu* [Çevrimiçi]. Erişim: https://webdosya.csb.gov.tr/db/antalya/duyurular/rapor_5000-20191002154230.pdf
- [9] Antalya Valiliği Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü. (2018). *Jeolojik - jeoteknik etüt çalışmaları*. [Online]. Available: <http://antalya.csb.gov.tr/jeolojik---jeoteknik-etut-calismalari-i-85709>
- [10] Ö. Göncü, “Alanya Hasanağalar konağı restorasyon önerisi,” Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Bölümü, ODTÜ, Ankara, Türkiye, 2012.
- [11] H. Şener, *Alanya’da Geleneksel Konutlar*, İstanbul, Türkiye: İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, 1984.
- [12] N. Hacıkura, “Alanya’da Müftüoğlu evi restorasyon projesi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [13] Mimar Şükran Ural, Arşivi, Alanya, 2012.
- [14] Yüksek Mimar Emine Cimrin Koçak, Arşivi, Alanya, 2018.
- [15] Alanya Belediyesi, Arşivi, Alanya, 2012.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Görme Engelliler için Akıllı Bileklik Tasarımının Değer Mühendisliği Yöntemi ile Maliyet Analizi

 Neslihan TOP ^{a,*},  Cengiz ELDEM ^a,  Orhan ERDEN ^a,  İsmail ŞAHİN ^a

^a Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: neslihan.top@gazi.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.872518

ÖZ

Ürün tasarımı sürecinde, üretim maliyetini ve satış fiyatını sistematik bir şekilde belirlemek amacıyla geleneksel maliyet belirleme yöntemlerine alternatif olarak hedef maliyetleme yöntemi kullanılmaktadır. Hedef maliyetleme, müşteri beklentilerine uygun olarak belirlenen temel ihtiyaç ve bileşenler değiştirilmeksizin kalite arttırmada etkisi olmayan faaliyetlerin elenerek maliyetin en aza indirilmesi uygulamalarını kapsamaktadır. Hedef maliyet ile müşteriler tarafından değerli görülen faaliyetlere ait maliyet tablolarının oluşturulması ve gerekli iyileştirme çalışmalarının yapılması değer mühendisliği uygulamaları kapsamındadır. Bu çalışmada, görme engelli bireylerin bağımsız olarak yer ve yön tayin edebilmesi için tasarlanan akıllı bileklik tasarımının hedef maliyet analizi, değer mühendisliği uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen verilere göre ürüne ait bileşenlerin müşteri değerleri doğrultusunda elde edilen hedef maliyet sonuçları tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Değer mühendisliği, hedef maliyetleme, ekonomik tasarım

Cost Analysis of Smart Wristband Design for the Visually Impaired with the Value Engineering Method

ABSTRACT

In the product design process, target costing method is used as an alternative to traditional cost determination methods in order to determine the production cost and sales price systematically. Target costing covers the practices of minimizing the cost by eliminating the activities that have no effect on quality improvement without changing the basic needs and components determined in accordance with customer expectations. Creating cost tables for activities deemed valuable by customers with target costs and performing necessary improvement studies are within the scope of value engineering applications. In this study, the target cost analysis of the smart wristband design, which is designed for the visually impaired individuals to determine the location and direction independently, was carried out with value engineering applications. According to the data obtained as a result of the analysis, the target cost results obtained in line with the customer values of the components of the product were discussed.

Keywords: Value engineering, target costing, economic design

I. GİRİŞ

Geleneksel maliyetleme yöntemi, firmada piyasaya çıkarılacak bir ürünün üretim maliyetinin üzerine firma giderleri ve kârının eklenmesi ile satış fiyatının tespit edilmesidir [1, 2]. Yeni bir ürün geliştirme sürecinde, ürün maliyetini sistematik bir şekilde belirleme ve istenilen oranda kâr elde ederek piyasadaki rekabet ortamında başarılı olabilmek amacıyla farklı maliyet belirleme yöntemleri kullanılmaktadır. Yüksek kalite bir ürünü, minimum maliyet ve en uygun özellikler ile piyasaya çıkarma sürecinde kullanılan yöntemlerden biri hedef maliyetlemedir [3]. Hedef maliyetleme yöntemi ile müşteri beklentilerini karşılayan, gelişen teknolojiye uygun ve değişken çevresel koşullarda varlığını sürdürebilecek ürünlerin ortaya çıkışı mümkün olmaktadır. Bu durum, geleneksel maliyetleme yöntemlerinin geçersiz kalmasına sebep olmuştur [4].

Bir ürünün maliyetleri çoğunlukla tasarım sürecindeki kararlarla ortaya çıkmaktadır. Kullanılacak malzeme ve üretim yöntemleri, ürün bileşen sayısı ve fonksiyonları gibi faktörler üretim maliyetinin temelini oluşturmaktadır. Tasarım aşamasında, hedef maliyetleme ve değer mühendisliği uygulamaları ile üretim sonrası oluşacak maliyet hesaplaması yanımlarının önüne geçilebilmektedir. Değer mühendisliği uygulamalarında öncelikle müşteri talep ve ihtiyaçları sıralanarak ürün fonksiyon şeması oluşturulmaktadır. Bu fonksiyonlara uygun maliyetleme tabloları yapılarak ürün pazara sunulmaktadır. Değer mühendisliği uygulamaları sürecinde ürün maliyetini ideal tasarıma göre minimize etmek mümkün olmaktadır [5].

Hedef maliyetleme ilk olarak Model T'nin geliştirilmesi aşamasında Henry Ford tarafından kullanılmıştır [6]. Daha sonra, Japonya'da Toyota firması tarafından geliştirilmiş ve hedef maliyetleme kavramı ortaya atılarak bu kavram Japon yazarlar tarafından literatüre kazandırılmıştır [7]. Japon firmalarının genel prensibi, teknolojinin beklentilerini karşılayan yenilikçi ürünleri, pazar beklentilerine uygun maliyetlerde ortaya koymak ve gerekli iyileştirmeleri üretim öncesindeki tasarım aşamalarında sağlamaktır [8].

Hedef maliyetleme yöntemiyle yeni bir ürün geliştirmede, maliyeti minimuma indirebilecek tüm fikirler ortaya atılarak tüketici beklentilerini karşılayan ürünlerin ortaya çıkışını sağlayacak stratejik bir süreç izlenmektedir [6, 9]. Hedeflenen maliyet, henüz tasarım aşamasındayken kontrol altına alınmaktadır [10]. Tasarım, mühendislik, ar-ge ve pazarlama gibi süreçlerde uygulanmaktadır [5].

Bu çalışmada, görme engelli bireyler için tasarlanan bir akıllı bilekliğin maliyet analizi hedef maliyetleme yöntemiyle değer mühendisliği uygulamaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen kullanıcı ihtiyaçlarına uygun fonksiyon şeması oluşturularak bu aşamada ihtiyaç duyulan bileşenlere ait tahmini maliyetler listelenmiştir. İşlem sonucunda elde edilen değer endeksi tablosu ile bileşen maliyetlerinde yapılması gereken iyileştirmeler değerlendirilmiştir.

II. DEĞER MÜHENDİSLİĞİ

Hedef maliyetleme ile piyasaya çıkarılacak olan bir ürüne değer katan fonksiyonların belirlenmesi gereklidir. Ürün alım ve satım aşamasında tüketiciler tarafından algılanan, değerli görülen faaliyetler belirlenerek ürüne eklenmektedir. Belirlenen faaliyetler, maliyet stratejisi sürecinde kilit nokta olarak benimsenerek doğru maliyet hesabı gerçekleştirilmektedir [5]. Bu aşamadaki uygulamaların tümü değer mühendisliği kavramı içerisinde yer almaktadır. Değer mühendisliği, bir ürünün fikir oluşumundan tasarım ve üretim aşamalarına kadar devam eden süreçte yapılan tüm faaliyetlerin incelenip analiz edilmesini sağlayan uygulamaların tümünü kapsamaktadır [11].

Değer mühendisliği, hedef maliyetleme sürecinde farklı tüketici beklentilerinin minimum maliyet ile karşılanmasını sağlayan uygulamaların tümüdür. Değer mühendisliğinde, talep ve maliyette ideali yakalamak, iş sürecinde değer yaratmak esastır [12]. Bu aşamadaki uygulamalar, düzenli olarak takip edilmesi ve sonlandırılmaması gereken sonsuz bir döngüyü içermektedir [12].

Değer mühendisliği, ürünün performansını etkilemeden maliyeti optimize etmeyi sağlayan ve tüketiciye yaratıcı fırsatlar sunan uygulamalar bütünüdür [13, 14]. Bu uygulamalar ile gerçekleştirilen tüm faaliyetler, ortaya çıkarılan değeri maksimuma çıkarmaktadır [15]. Değer mühendisliği ile sistematik bir süreç izlenerek ürün kalitesi artırılırken potansiyel maliyetin azaltılması esas alınmaktadır [16]. Değer mühendisliğinde hedef maliyete ulaşmak için üç aşamalı bir süreç takip edilmektedir. Bu aşamalar şu şekildedir [16]:

- Kavramsal tasarım: Ürünün kavramsal tasarımı sürecinde belirlenen tüketici ihtiyaçları ve piyasa beklentisine uygun fonksiyonların oluşturulmasıdır.
- Proje geliştirme: Ürün tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde, belirlenen hedeflere uygun iyileştirmeleri kapsamaktadır.
- Değerlendirme: Üretim sürecinde kullanılan malzeme ve teknolojilere yönelik iyileştirmelere yönelik düzenlemeler yapılmaktadır.

Proje yönetimi süreçlerinde kullanılan bir yöntem olarak değer mühendisliği, proje kapsamı ve bağlamı, kısıtlayıcı özellikler, üretim maliyeti ve ek ödemelerle ilgili bir düzenleme gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bir yöntemdir [11]. Proje kaynaklarını doğru kullanmak ve verimi maksimumda tutmak amacıyla kısa bir zamanda iş kalitesi ve maliyetlerin gereksiz artmasını engellemektedir [11].

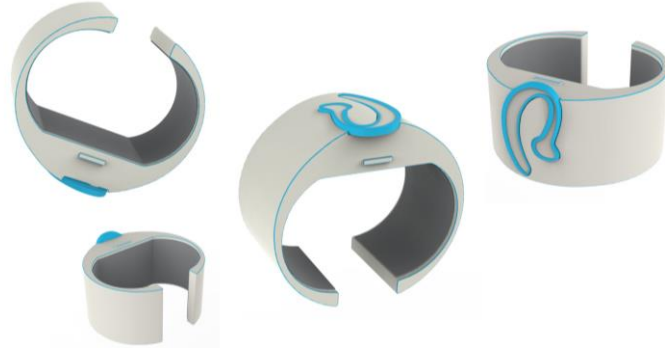
Değer mühendisliği uygulamaları kapsamında, tasarım fonksiyonlarının yanı sıra bakım, tüketim ve işletme faaliyetlerine ait giderler üzerinde de düzenleme ve iyileştirmeler yapılmaktadır. Belirlenen temel ihtiyaç ve fonksiyonlar değiştirilmeden sistemi karmaşık hale getiren fonksiyon ve bileşenler üzerinde sadeleştirmeler gerçekleştirilmektedir. Ürün kalitesinin artırılmasında etkisi olmayan etmenler kaldırılarak belirlenen sorunlara uygun ideale en yakın tasarımın ve üretim teknolojilerinin seçilmesidir [11].

III. AKILLI BİLEKLİK TASARIMI

Dünyadaki görme engelli birey sayısı ve bu bireylerin yaşamış olduğu sorunlar düşünülerek farklı ürünler geliştirilmiş olsa da olumsuz çevre koşulları, engelli bireyler düşünülmeden yapılandırılmış alanlar, diğer bireylerin davranışları gibi faktörler bu ürünlerin kullanımını kısıtlamaktadır. Görme engelli bireylerin karşılaştıkları sorunların en başında şüphesiz ki kentsel yaşama katılım gelmektedir. Toplumdaki her bireyin olduğu kadar görme engelli bireylerin de sosyal yaşamını bağımsız sürdürme hakkı vardır ancak engelli bireyler düşünülmeden düzenlenen şehir planları bu hakları kısıtlamaktadır [17]. Görme engelli bireylerin kentsel yaşama katılımında başlıca yaşadıkları sorunlar şu şekildedir [18]:

- Kaldırımların gereğinden fazla yüksek yapılması,
- Arabaların kaldırımlara park edilmesi,
- Yollardaki ağaçların düzensiz konumlandırılması,
- Görme engelliler için ayrılmış sarı yürüme bandının belli bir noktada bitmesi,
- Trafik ışıklarında ve duraklarda sesli uyarı sisteminin bulunmaması,
- Yollardaki rampa ve engeleler,
- Kent mobilyalarının engelli bireyler düşünülmeden tasarlanmış olması

Bu çalışma kapsamında görme engelli bireyler için geliştirilen akıllı bileklik tasarımı (Şekil 1) sonar sistem teknolojisiyle çalışmaktadır. Bu sistemde, ultrasonik sensörler kullanılarak görme engelli birey ve çevresindeki cisimlerle arasındaki mesafe ses dalgalarıyla ölçülmektedir. Sonar sistem, yarasaların avlanmak için kullandığı yöntemden esinlenerek geliştirilmiştir. Yarasalar karanlıkta yönlerini bulabilmek için insan kulağıyla duymanın mümkün olmadığı frekanslarda, yüksek titreşimli ses dalgaları yaymaktadır. Yayılan ses dalgaları, çarptıkları yerden geri dönen sinyallerle aradaki mesafeyi ölçerek o alanın bir anlamda üç boyutlu haritasını çıkarmaktadır.



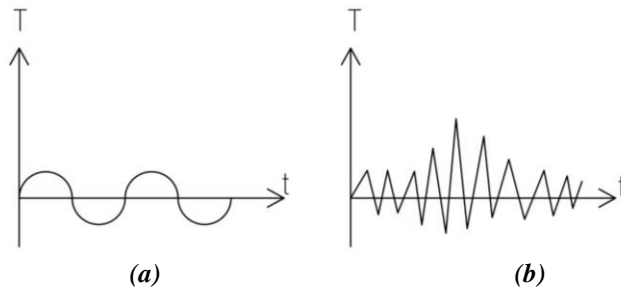
Şekil 1. Ürün üç boyutlu modeli

Görme engelli birey, akıllı bileklik ile yolda yürürken ultrasonik sensörlerden çıkan ses dalgası karşıdaki engellere çarpıp geri dönerek mesafe okuyucu ile arada kalan alanı taramaktadır (Şekil 2). Daha sonra, servo motorlar ile engelin uzaklık durumuna göre birey uyarılarak nesne ya da engeller uzakta ise şiddeti ve sıklığı az bir titreşimle, engel yakında ise daha sık ve şiddetli bir titreşim ile uyarılmaktadır.



Şekil 2. Ürün çalışma prensibi

Görme engellilerin dokunma duyusu üzerindeki hassasiyetleri düşülerek, engellere karşı titreşimli uyarı verilmesi bireyin yer ve yön bulmasını kolaylaştırmaktadır. Cisimler yakınsa daha güçlü ve kısa aralıklı titreşimlerle, uzak ise daha uzun aralıklı titreşimlerle kullanıcıyı uarmaktadır (Şekil 3). Titreşimlerle uyarının yetersiz kaldığı durumlarda ya da kapalı mekânlarda kullanıcıyı engellere karşı bluetooth kulaklık ile sesli olarak uarmaktadır. Batarya kullanım süresi bireyin bilekliği aktif kullanım durumuna göre değişebilirken, bataryanın kalan kullanım süresiyle ilgili sesli uyarılar bluetooth kulaklık ile sağlanmaktadır.



Şekil 3. Titreşim grafikleri: (a) Kullanıcı engele uzak olduğunda hissedilen titreşim, (b) Kullanıcı engele yakın olduğunda hissedilen titreşim

Akıllı bileklik tasarımıyla görme engelli bireyler hem yerdeki hem de göğüs hizasındaki engelleri algılayabilmektedir. Tasarımı ile kullanıcının her koşulda kullanabileceği bir aksesuar görünümünde olması görme engellilerin diğer bireylerden ayrıştırılmasını engellemektedir. Ayrıca, kullanıcı bilekliği her koşulda üzerinde taşıyacağı için düşürme ya da kaybetme gibi riskleri diğer ürünlere oranla çok daha azdır. Baston gibi alışagelmış yön bulma ürünlerinin yaşattığı, yolda üzerinden araç geçmesi ya da diğer bireylerin bastona çarpması gibi riskleri barındırmaz.

IV. DEĞER MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMASI

A. ÜRÜN BİLEŞEN VE FONKSİYONLARINA AİT MALİYETLER

Bu çalışmada görme engelli bireylerin yer ve yön bulmada yaşadıkları sorunlar düşünülerek ultrasonik sensörlerle çalışan, engellere karşı görme engelli bireyi titreşim ve ses ile uyaran akıllı bileklik tasarımının minimum maliyet ile üretimini sağlayacak değer mühendisliği uygulaması gerçekleştirilmiştir. Akıllı bileklik tasarımının değer mühendisliği açısından değerlendirilmesi sürecinde öncelikle, ürüne ait temel bileşen ve fonksiyonlara belirlenerek bu bileşenlere ait maliyet tablosu oluşturulmuştur. Akıllı bileklik tasarımını meydana getiren bileşenler; ultrasonik sensör, batarya, mesafe okuyucu kart, servo motor, bluetooth kulaklık ve plastik gövde şeklindedir. Bu bileşenlere ait fonksiyonlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Akıllı bileklik tasarımı fonksiyon analizi

Bileşen Tanımı	Fonksiyon	Adet
Ultrasonik sensör	Alanın üç boyutlu haritasını çıkarmak	2
Batarya	Şarj etmek	1
Mesafe okuyucu kart	Yer yön tayininde mesafe okumak	1
Servo motor	Titreşimi sağlamak	1
Bluetooth kulaklık	Sesli komutlar göndermek	1
Plastik gövde	Ana iskeleti oluşturmak	1

Fonksiyon analizindeki bileşenlerin yaklaşık ve tahmini maliyetleri listelenerek toplam maliyet değeri 980 TL olarak belirlenmiştir. Örneğin, iki adet ultrasonik sensör maliyeti 240 TL ve toplam maliyetteki oranı % 24,5 iken, bluetooth kulaklık maliyeti 320 TL ve toplam maliyetteki oranı % 32,6’dır. Diğer bileşenlerin maliyet değeri ve toplam maliyetteki oranı Tablo 2’de verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Akıllı bileklik tasarımı bileşen maliyetleri

Bileşen Tanımı	Maliyet (TL)	Yüzdellik Değer (%)
Ultrasonik sensör (2 adet)	240	24,5
Batarya	100	10,2
Mesafe okuyucu kart	45	4,6
Servo motor	35	3,6
Bluetooth kulaklık	320	32,6
Plastik gövde	240	24,5
TOPLAM	980	100

Akıllı bileklik tasarımı sürecinde görme engelli bireylerle yapılan görüşmelere istinaden belirlenen bileklik kullanımındaki kritik parametreler; güvenlik, ergonomi, sesli komut, şarj süresi, hijyen ve estetikdir. Bu parametrelere önem durumuna göre 1 ila 5 arasında bir puan verilmiştir. 5 puan, özelliğin müşteriler açısından çok önemli olduğunu gösterirken, puan değeri 5’ten 1’e doğru azaldıkça

parametre önemi azalmaktadır. Ürün parametrelerine ait puanlamalar ve bu puanlara göre belirlenen hedef maliyetler Tablo 3'te gösterilmiştir. Parametrelere verilen puan değerinin toplam puan değerine bölünmesiyle parametrelerin toplam maliyetteki oranları elde edilmiştir.

Tablo 3. Ürün parametre önem oranı ve hedef maliyet payı

Parametre	Puan Değeri	Parametre Önem Oranı (%)	Hedef Maliyet Payı (TL)
Güvenlik	5	23	225,4
Ergonomi	4	18	176,4
Sesli komut	3	14	137,2
Şarj süresi	4	18	176,4
Hijyen	4	18	176,4
Estetik	2	9	88,2
TOPLAM	22	100	980

Ürüne kullanımında kritik görülen parametrelere etki eden bileşenler ve bu bileşenlerin parametrelere etki yüzdesi oranları Tablo 4'te verilmiştir. Örneğin, güvenlik faktörüne ultrasonik sensör % 30, batarya % 15, mesafe okuyucu kart % 25, servo motor % 20 ve bluetooth kulaklık bileşeni % 10 etki etmektedir.

Tablo 4. Ürün parametre-bileşen etki oranları

	Ultrasonik sensör (%)	Batarya (%)	Mesafe okuyucu (%)	Servo motor (%)	Bluetooth kulaklık (%)	Plastik gövde (%)
Güvenlik	30	15	25	% 20	10	
Ergonomi					40	60
Sesli komut		20	20		60	
Şarj süresi		100				
Hijyen					30	70
Estetik					20	80

B. ÜRÜN PARAMETRE VE BİLEŞEN İLİŞKİSİNİN MALİYET DEĞERLENDİRMESİ

Akıllı bileklik tasarımı bileşenlerinin kritik görülen tasarım parametrelerine etki oranlarına göre belirlenen yüzdelik payları Tablo 5'te verilmiştir. Örneğin ultrasonik sensörün güvenlik parametresi üzerindeki etkisi % 30'dur. Güvenlik faktörünün toplam etki oranı olan % 23 içerisindeki ultrasonik sensör payı ise % 6,9'dur.

Tablo 5. Ürün parametrelerine göre bileşen payları

	Toplam etki oranı (%)	Ultrasonik sensör (%)	Batarya (%)	Mesafe okuyucu (%)	Servo motor (%)	Bluetooth kulaklık (%)	Plastik gövde (%)
Güvenlik	23	6,9	3,45	5,75	4,6	2,3	
Ergonomi	18					7,2	10,8
Sesli komut	14		2,8	2,8		8,4	
Şarj süresi	18		18				
Hijyen	18					5,4	12,6
Estetik	9					1,8	7,2
TOPLAM	100	6,9	24,25	8,55	4,6	25,1	30,6

Tablo 5’te belirlenen ürün bileşen ve tasarım parametresi etki değerlerinin toplam maliyet içerisindeki karşılığı Tablo 6’da verilmiştir. Bu tabloya göre her bir bileşenin hedef maliyet değeri belirlenmiştir. Örneğin toplam maliyet olan 980 TL içerisindeki güvenlik faktörünün etki payı % 23 ve maliyet değeri 225,4 TL’dir. Buna göre; güvenlik parametresi için % 30 etki değerine sahip ultrasonik sensör maliyeti 67,62 TL, % 15 etki değerine sahip batarya maliyeti 33,81 TL, % 25 etki değerine sahip mesafe okuyucu kart maliyeti 56,35 TL, % 20 etki değerine sahip servo motor maliyeti 45,08 TL ve %10 etki değerine sahip bluetooth kulaklık maliyeti ise 22,54 TL olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Ürün fonksiyon hedef maliyetinin belirlenmesi

	Ultrasonik sensör	Batarya	Mesafe okuyucu	Servo motor	Bluetooth kulaklık	Plastik gövde	Toplam hedef maliyet
	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)	(TL)
Güvenlik	67,62	33,81	56,35	45,08	22,54		225,4
Ergonomi					70,56	105,84	176,4
Sesli komut		27,44	27,44		82,32		137,2
Şarj süresi		176,4					176,4
Hijyen					52,92	123,48	176,4
Estetik					26,46	61,74	88,2
Bileşen hedef maliyet	67,62	237,65	83,79	45,08	254,8	291,06	980

Değer mühendisliği sonucu belirlenen bileşen maliyet yüzdesinin maliyet oranına bölünmesiyle her bir bileşen için değer endeksi elde edilmiştir (Tablo 7). Bu işlem sonucunda, değer endeksinin 1’e yakın bir değerde olması beklenmektedir. 1’den az değer endeksine sahip bileşenler hedef maliyetin üstünde olan maliyetleri belirtirken, 1’den büyük olan endeksler ise seçilen bileşen değerinin hedef maliyetin altında olduğunu ve müşteri beklentilerini tam olarak karşılamayacağını ifade etmektedir.

Tablo 7. Değer endeks tablosu

Bileşen	Başlangıç Maliyeti (%)	Değer Müh. Bileşen Maliyeti (%)	Değer Endeksi	Sonuç
Ultrasonik sensör	24,5	6,9	0,28	Maliyet azaltılmalı
Batarya	10,2	24,25	2,37	Geliştirme
Mesafe okuyucu	4,6	8,55	1,85	Geliştirme
Servo motor	3,6	4,6	1,27	Tatminkâr
Bluetooth kulaklık	32,6	25,1	0,76	Tatminkâr
Plastik gövde	24,5	30,6	1,24	Tatminkâr
TOPLAM	100	100		

V. SONUÇLAR

Ürün tasarımı sürecinde verilen kararlar üretim maliyetini belirleyici unsurlardır. Tasarımın geometrisi, barındırdığı bileşen sayısı, kullanılması planlanan malzemeler ve üretim teknolojileri üretim maliyetini oluşturmaktadır. Bu aşamada, geleneksel maliyetle hesaplama yöntemlerinin aksine, sistematik bir süreç takip etmek adına hedef maliyetleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile hedeflenen kullanıcı kitlesinin beklentileri sınırlayıcı özellikler olarak belirlenerek gereksiz bileşenler tasarımdan uzaklaştırılmaktadır. Hedef maliyetleme yöntemi ile değer mühendisliği uygulamaları

kullanılarak ürün maliyet analizleri gerçekleştirilmektedir. Değer mühendisliği ile ürün bileşen fonksiyonları ve maliyetleri müşteri istekleri doğrultusunda belirlenen parametrelerin önem durumuna göre revize edilmektedir. Bu çalışmada, görme engelli bireylerin yer ve yön bulmada yaşadıkları sorunlar düşünülerek ultrasonik sensörlerle çalışan, engellere karşı görme engelli bireyi titreşim ve ses ile uyararak bir akıllı bileklik tasarlanmış ve maliyet analizi değer mühendisliği uygulamaları ile gerçekleştirilmiştir. Görme engelliler akıllı bileklik tasarımının değer mühendisliği uygulaması sonucu elde edilen maliyet tablosu ile tasarım aşamasında belirlenen bileşen maliyetleri tablosu karşılaştırılmıştır. Bu bileşenlerden ultrasonik sensör maliyetinin düşürülmesi gerektiği tespit edilirken, batarya ve mesafe okuyucu kart maliyetlerinin müşteri beklentileri doğrultusunda arttırılabileceği belirlenmiştir. Servo motor, bluetooth kulaklık ve plastik gövde maliyetleri ise değer endeks tablosuna göre tatminkâr bulunmuştur.

VI. KAYNAKLAR

- [1] İ. Titz ve A. C. Çetin, “Karar almada geleneksel maliyet yönetimi yaklaşımında yaşanan gelişmeler ve stratejik maliyet yönetimi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Birimler Fakültesi*, c. 5, s. 2, ss. 121-138, 2000.
- [2] Z. Akal, *Toplam Kalite Yönetimi ve Performans Ölçme ve Değerlendirme Sistemleri*. Ankara, Türkiye: MPM Yayınları, 1993.
- [3] G. A. Kaya, “Hedef maliyetleme,” *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 20, s. 1, ss. 313-332, 2010.
- [4] O. Savaş, “Hedef maliyet yönetim sisteminin başarısını etkileyen faktörler üzerine Türk hazır giyim sektöründe bir araştırma,” *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, s. 20, ss. 183-201, 2003.
- [5] İ. Yıldıztekin, “Hedef maliyetlemede ürün fiyatını belirleme,” *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 23, s. 2, ss. 29-51, 2009.
- [6] S. Aksoylu ve Y. Dursun, “Pazarda rekabetçi üstünlük aracı olarak hedef maliyetleme,” *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 1, s. 11, ss. 357-371, 2001.
- [7] T. Hiromoto, “Another hidden edge: Japanese management accounting,” *Harvard Business Review*, vol. 66, no. 4, pp. 22, 1988.
- [8] Z. Türk, “Geleceğin maliyetlerinin kontrolünde yeni bir yaklaşım: Hedef ve kaizen maliyetleme,” *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 14, s. 1, ss. 199-214, 1999.
- [9] T. Berry and A. Ahmed, “The consequences of inter-firm supply chains for management accounting,” *Management Accounting*, vol. 75, no. 10, 1997.
- [10] M. Karahan, “Hedef maliyetleme: Halı işletmesinde bir uygulama,” *Electronic Journal of Social Sciences*, c. 17, s. 65, ss. 366-382, 2018.
- [11] H. Tohidi, “Review the benefits of using value engineering in information technology project management,” *Procedia Computer Science*, vol. 3, no. 2011, pp. 917-924, 2011.
- [12] A. Ögüt, R. İraz ve M. Zerenler, “Değer mühendisliği (value engineering) uygulamalarının fonksiyonel etkinlik açısından işletmelerin somut ve soyut varlıklarına yönelik olası etkileri,” *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, c. 7, s. 13, ss. 51-68, 2007.

- [13] A. Numanoğlu ve O. Erden, “Ev tipi set üstü gazlı ocaklarda maliyet ve kalite iyileştirme amaçlı bir değer mühendisliği uygulaması,” *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 87-98, 2019.
- [14] A. Chougule, A. K. Gupta and S. Patil, “Application of value engineering technique to a residential building-case study,” *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, vol. 1, no. 12, pp. 2349-2163, 2014.
- [15] Y. Beşorak, “Otomotiv sanayiinde değer mühendisliğinin proje yönetimine uygulanması,” *V. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2005, ss. 351-356.
- [16] U. Ibusuki and P. C. Kaminski, “Product development process with focus on value engineering and target-costing: A case study in an automotive company,” *International Journal of Production Economics*, vol. 105, no. 2, pp. 459-474, 2007.
- [17] M. A. Dal, “Görme engelliler için bir mobil yön yardım cihazı tasarım ve uygulaması,” Yüksek Lisans Tezi, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [18] E. Ünal ve H. Yüce, “Görme engelli bireyler için mobil uyarı sisteminin geliştirilmesi,” *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, c. 29, s. 3, ss. 102-110, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

SSLChain: Blokzincir Yöntemiyle Sunucu-İstemci Arası Güvenli Web Haberleşmesi

 Durdu ÖZDEN ONAR ^{a,*},  Resul KARA ^b

^a Bilgisayar Mühendisliği ABD, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: durduozden42@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.866319

Öz

Blokzincir teknolojisi adını bitcoin ile duyurmuş olsa da yapabilecekleri sadece kripto para ile sınırlı kalmayıp birçok teknolojide kullanılabilir. Blokzinciri, sürekli büyüyen bir veri yapısı olup dağıtık bir mimariye sahiptir. İşlemler değiştirilemez, yapılan işlemleri ve bir önceki bloğun adresi bloklara yazılır. Blokzinciri merkezi bir sistem olmayıp ağa katılan tüm katılımcıların zincirde bir halka olarak yer almasını sağlar. Bu çalışmada; günümüzde web sayfalarında istemci ve sunucu arasında iletişim kurmada kullanılan SSL/TLS işlevini yerine getirecek yeni bir yöntem olan blokzincir kullanılarak güvenli bağlantı önerilmiştir. Sunucu-istemci arasındaki anahtar paylaşımının yönetilmesinde blokzincirinin görev alacağı şekilde tasarım yapılmıştır. Bu durumda zincire yeni bir halka dahil edilerek güvenliğin artırılması kolaylaşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Blokzinciri, SSL, Güvenlik, Dağıtık mimari, SSLChain

SSLChain: Client-Server Secure Web Communication With Blockchain Method

ABSTRACT

Although the term blockchain has been heard with bitcoin, it can be used in many technologies, not just crypto money. Blockchain has a distributed architecture and is a constantly growing data structure. Data blocks cannot be changed, each block has its own data and the previous block's address data. Blockchain does not have a centralized system, it ensures that all participants participating in the network are included in the chain as a link. In this paper; Secure connection has been proposed using a new method, blockchain, instead of SSL / TLS, which is used to communicate between client and server on web pages. It is designed to be used as a blockchain in the management of key sharing between server and client. In this case, it becomes easier to increase security by including a new link in the chain.

Keywords: Blockchain, SSL, Security, Distributed architecture, SSLChain

I. GİRİŞ

İletişim kurma eğilimi insanın temel ihtiyaçları arasında yer alır. Kayda alınan tarihsel olaylardan da anlaşılacağı üzere insanlığın bir süre sesli iletişim kurmadan sadece el kol ve yüz ifadeleri ile iletişim kurduklarını belirlense de bir süre sesli iletişim ardından sesli ve yazılı iletişimi kullandığı anlaşılmıştır. İnsan yapısında iletişim kurma içgüdüünü taşıdığı gibi mahremiyeti de birlikte taşımıştır. Mahremiyet kelimesi farklı zamanlarda farklı anlamları üzerine yüklesse de temelinde gizliliği betimler. “Mahremiyet” kelimesi kendisine akademik metinlerde “kişinin kendisine ilişkin bir alanın olması, kendi başına kalabilmesi, yalnız kendisinin bildiği ve sadece kendi istediği kişilerle paylaştığı özel bilgi ya da niteliklerine ilişkin doğal, insani bir hak” gibi tanımlar bulmuştur [1]. İnsanların en temel manada iletişimlerini mahremiyet altına alma konusunu değerlendirecek olursak sözle iletişim kuran iki kişinin iletişimlerini 3. kişilerden gizlemek için 3. kişilerin duymayacağı bir şekilde konuşmaları gerekir. Bununla ilgili iletişimdeki kişiler çeşitli yöntemler geliştirebilir. Temel amaç iletişim kuran kişiler arasında kesintisiz bir aktarım gerçekleştirmesini sağlamalarıdır. Aktarılan bilgilerin yetkisiz kişilerce erişilmesini engellemek aktarılan verilerin tamamının doğru şekilde anlaşılmasını sağlamak ve aktarılanların değiştirilmeden karşıya ulaştırılmasıdır [2]. Yöntemi nasıl olursa olsun iletişim sırasında gönderilen bilgi gizli, bütünlüğünü yitirmemiş ve erişilebilir olmalıdır. En ilkel yöntemden en gelişmiş yöntemeye kadar hepsinde bu kurallar geçerlidir.

1960’lı yıllarda ortaya çıkan ve 1990’lı yılların sonunda günümüze kadar aktif bir şekilde kullanılan internet ile birlikte iletişim teknikleri de dijitalleşmiş ve internet bir iletişim aracı haline gelmiştir [3]. İnternette iletişim ise belirli kurallara bağlanmış ve protokoller geliştirilmiştir [4]. Günümüzde bu protokolleri bilinçli ya da bilinçsiz olarak çok aktif bir şekilde kullanıyoruz. Bunların en başında gelen ise Hyper Text Transfer Protocol (HTTP) protokolüdür. HTTP, internette sunucular ve son kullanıcılar arasında bilgilerin nasıl aktarılacağına dair kurallar ve yöntemleri düzenleyen uygulama katmanında çalışan bir iletişim protokolüdür. Web sitesi görüntülemek ve üzerinde çeşitli işlemler yapmak için kullanılır [5]. İstemci sunucu arası metin transferi protokolüdür. İletişim sırasında herhangi bir şifreleme söz konusu değildir. Oluşan bu açığın kapatılması için Hyper Text Transfer Protocol Secure (HTTPS) protokolü geliştirilmiş iletişim şifreli hale getirilmiştir.

2018 yılında Uluslararası IEEE veri madenciliği konferansında yayınlanan ‘Certificate Transparency Using Blockchain’ makalesinde IBM’in Hyperledger Fabric blockchain platformunda herhangi bir sertifika otoritesinden sertifika onayı almaksızın blokzincirinde sertifikayı üretmiştir [13].

Bu çalışmada HTTP’nin güvenli versiyonu olan HTTPS’e alternatif bir sistem önerilmiştir. Ağda sadece istemci sunucunun paydaş olmadığı genel ağdaki paydaşların da iletişimdeki şifrelemeye katıldığı blokzinciri teknolojisi kullanılarak güvenli HTTPS bağlantısına alternatif güvenli bir HTTP + blokzinciri güvenliği önerilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. SSL/TLS YÖNTEMİ

Netscape tarafından 1994 yılında çıkarılan Secure Sockets Layer (SSL) diğer ismi ile Transport Layer Security (TLS) güvensiz ortamda verinin sunucu ve istemci arasında şifreli/güvenli bir şekilde haberleşmesini sağlamak için geliştirilen bir protokoldür [6]. Önceden bir şifreleme algoritması ile şifrelenerek ve sadece gönderilen alıcının çözebileceği, uygulama katmanı ile taşıma katmanı arasında bulunan verinin kriptografik işlemlerden geçerek istemciye ulaşmasını sağlar. Veriyi şifrelemek için genel anahtar veya diğer adıyla açık anahtar (public key), şifrelenen veriyi çözmek için özel anahtar veya diğer adıyla gizli anahtar (private key) kullanılır.

HTTP protokolündeki iletişimi SSL/TLS ile şifrelediği için protokolün yeni adı HTTPS olmuştur. İstemci bir sunucuya erişmek istediğinde ilk olarak alan adının sertifikasını alır ve ulaşmak istediği sunucunun asıl gitmek istediği yer olduğu kesinleşmiş olur. İnternet üzerindeki iletişim bir mektuplaşmaya benzetilirse; gelen bir postanın doğru göndericiden geldiğinin bir kesinliği olamaz ya da gönderilen mektubun yolda üçüncü kişiler tarafından okunmayacağına bir garantisi olamaz. Bunun sebebi, içeriğinin herkesin anlayacağı bir şekilde gönderilmiş olmasıdır. İnternet ortamındaki web sayfalarının transferi için de aynı durum söz konusudur.

SSL/TLS'in ortaya çıkış motivasyonunda karşılıklı güven eksikliği vardır. İstemci bir istekte bulunmak istediğinde karşıdaki kişinin ulaşmak istediği kişi olup olmaması güvensizliği bir sertifika ile aşmaya çalışılmıştır. Sunucunun isteğe cevap olarak ortak anahtarı ile birlikte sertifika sunar. Fakat sertifikanın da doğrulanması gereklidir. Sertifikanın ispatlanması için bir veya daha fazla sertifika yetkilisinden oluşan güvenilir kuruluşlara ihtiyaç duyulur [7].

SSL sertifikaları, çok sayıda güvenli kuruluş tarafından sağlanmaktadır. SSL 'de anahtar uzunluğu en az 256 bit kullanılarak güvenli istemci-sunucu haberleşmesi gerçekleştirilebilir [8].

İstemci bağlanmak istediği sunucuya Transmission Control Protocol (TCP) 443 portu üzerinden istek gönderir. Sunucunun yapılandırılmasına göre bu port değiştirilebilir ancak varsayılan port numarası 443'tür. Sunucu, istemcinin bu isteğine karşılık alan adına tanımlı sertifikasını istemciye gönderir. İstemci sertifikayı üreten kurumunun sağladığı servisler ile sertifikayı doğrular. Sunucudan gelen sertifika ile birlikte açık anahtar da alınmış olur. Sertifikanın geçerlilik kontrolleri tamamlandıktan sonra, istemci, oturum için ürettiği iletişimde kullanılacak anahtarı sunucudan gelen açık anahtar ile şifreleyerek sunucuya gönderir. İstemci tarafından oluşturulan bu anahtar artık oturum boyunca iletişimde kullanılır. Sunucu istemciden gelen şifrelenmiş metni kendi gizli anahtarı ile açarak oturumdaki anahtarı elde etmiş olur. Bu aşamadan sonra istemci ve sunucu karşılıklı iletişimlerinde bu anahtarı kullanırlar.

B. BLOKZİNCİR YÖNTEMİ

Blokzincir; kayıtların tutulduğu ve kayıtların herkes tarafından izlendiği merkezi olmayan dağıtık veritabanı yapısıdır. Literatürdeki adı "Blockcahin" olup dilimize blokzincir olarak yerleşmiştir. Ekonomide meydana gelen 2008 yılındaki finans krizi sonucu dijital para olarak bilinen Bitcoin ortaya çıkmıştır. Blokzincir ilk kimliği tam olarak belli olmayan Satoshi Nakamoto isimli biri tarafından "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" başlıklı makalede ortaya çıkmıştır [9]. Bitcoin hiçbir merkezi otoriteye bağlı olmadan arada aracı bir banka olmadan katılan herkese açık olan ve tamamen ağ üzerinden yönetilen dağıtık bir yapıdır. Bu da tam olarak Blokzinciri yapısını oluşturmaktadır. Ancak yapabilecekleri bununla sınırlı olmayan, günümüz teknolojileri uygulamalarının geliştirilmesi ve daha önce hiç kullanılmayan alanlara uygulanmasını sağlamıştır. Blokzinciri tamamen güvensiz ortamda meydana gelen kişiler arasında güveni sağlar. Blokzincir kullanımı için ortamın bu ihtiyacı hissetmesi gerekir. Blokzinciri sanal para yanında, sağlık, eğitim, oy kullanma, tedarik zinciri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanı şeffaf ve merkezi olmayan yapısının anlaşılmasıyla farklı sektörlerde kullanılarak geniş bir yelpazeye sahip olmuştur [10]. Teknoloji, dağıtılmış bir defter yapısına ve konsensüs sürecine dayanmaktadır.

Blokzinciri temel olarak kayıtlar arasında mutlak bir bağın olduğu ve kopyalarının ağdaki tüm katılımcılara dağıtıldığı bir veri tabanıdır. Merkezi otoriteye ihtiyaç yoktur, tüm katılımcıların doğrulama yapabildiği bir dağıtık defter teknolojisi ortaya çıkar. Bir merkeze bağlı olmayan ağların, ağa saldırı olması durumunda sadece ilgili düğümü etkisiz hale getirip sistemin çökmesi engellenir [11].

İnternette haberleşmede güvenli bağlantı oluşturmanın bilinen en yaygın yöntemi sertifika kullanarak bağlantı oluşturmaktır. Bir otoriteden sertifika almanın belirli maliyetleri vardır. Dahası sertifikalar her ne kadar güvenli olursa olsun çeşitli saldırılara maruz kalmaktadır. Bu çalışmada herhangi bir

elektronik sertifika kullanmadan güvenli bir HTTP bağlantısı oluşturmak için blokzinciri gücünden faydalanılmıştır.

Literatürde blokzincir aracılığı ile güvenli bağlantıyı oluşturacak bir tarayıcı yazılımı ya da eklentisi mevcut değildir. Blokzinciri ile güvenli HTTP bağlantısını yapacak bir tarayıcının olmayışı dışarıdan harici bir uygulama ile yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bu uygulama ileride tarayıcılar için ilham oluşturup blokzinciri için uygun tarayıcıların geliştirilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Önerilen yöntem SSL teknolojisine alternatif oluşturduğu için adına SSLChain denilmiştir.

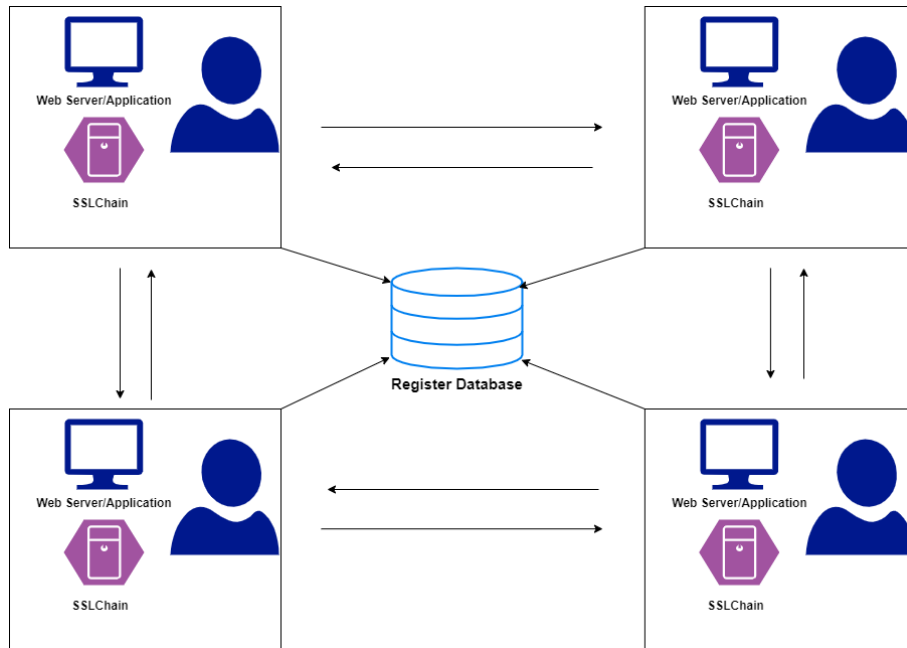
III. BLOKZİNCİRİ İLE SUNUCU-İSTEMCİ İLETİŞİMİ

Bu kısımda sunucu ile istemci arasında SSL/TLS ile güven oluşturma yöntemine alternatif olarak önerilen, blokzincir yönteminin kullanıldığı ve adına SSLChain dediğimiz yöntemin detayları verilmiştir.

A. SSLCHAIN ÇALIŞMA ADIMLARI

SSLChain, blokzinciri kullanılarak oluşturulacak güvenli bağlantıda blokların yönetiminden sorumlu bir çekirdek uygulamadır. Bu uygulama güvenli bağlantıyı sağlayacak bir P2P ağı ile merkezi olmadan çalışacak bir uygulamadır. HTTP protokolü üzerinden güvenli bir iletişim için önerilen yöntemi kullanan uygulama ağa katılacak tüm düğümlerde yüklü olması gerekir. Uygulama, mevcut tarayıcıların blokzinciri varsayılan olarak desteklememesi nedeniyle geliştirilmiştir. Güvenli bir iletişim için sunucuda çalışacak uygulamanın da blokzincir ile güvenli iletişime uyarlanması gerekmektedir. Mevcut sunucu sistemlerinde çalışan bir uygulamada uygulamayı geliştiren taraf, iletişimin güvenliğinden kendini sorumlu hissetmez. Bunun yerine bu görevi sunucuda geliştirilmiş uygulamalar ve tarayıcılar üstlenir. Bu çalışmaya konu olan güvenli iletişimi gerçekleştirecek uygun tarayıcı olmadığı gibi güvenli iletişimde sunucuda bu iletişim için bir aksiyon gerçekleştirmeyecektir. Bu görev uygulama geliştiriciye düşmektedir. İletişimin çekirdeğinde yer alacak SSLChain uygulaması yine HTTP üzerinde hizmet vereceğinden bir web servis olarak geliştirilmiştir.

Önerilen SSLChain yönteminin çalışma yapısı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. SSLChain çalışma yapısı

SSLChain ağına bağlı düğümlerin HTTP üzerinden iletişim kurabilmesi için rest web servis olarak geliştirilmiştir. REST (Representational State Transfer), 2000 yılında Roy Fielding tarafından doktora tezinde tanıtılmış ve tanımlanmıştır. REST, dağıtık sistemler tasarlamak için kullanılan bir mimari tarzıdır [12]. REST, istemci ile sunucu arasında HTTP/HTTPS protokolünün kullanılarak XML, JSON veya özelleştirilmiş formattaki verilerin aktarılmasını sağlayan bir mimaridir. REST mimarisini kullanan servislere ise RESTful servis denir.

Bir rest web servis geliştirmek için günümüzde birçok yazılım geliştirme dili mevcuttur. Aynı zamanda bu yazılım dilleri ile geliştirilmiş çok fazla framework bulunmaktadır. SSLChain için Java ile geliştirilmiş Springboot frameworku kullanılmıştır.

B. SSLCHAIN BLOK İÇERİĞİ

Bu çalışma kapsamında oluşturulan blokzinciri ile güvenli HTTP bağlantısı ekosisteminde her düğümden kullanıcının bilgisi dahilinde bilgisayarında çalışacak ve SSLChain sistemine dahil olacak blokların alınmasından ve gönderilmesinden sorumlu bir uygulama bulunur. Kullanıcılar her ne kadar kendi bilgisayarlarında çalışan uygulamayı bilseler dahi gelen giden veriler hakkında bilgi sahibi olamazlar. Gelen/giden blokların düğümlerde sabit disklere kaydedilmesi öngörülmemiştir. Bunun yerine düğümlerin belleklerinde tutulur. İletişim kuran iki düğüm oturumu bitirdiği anda bellekten silinir. Blokları sabit diske kaydedip sürekli olarak saklanması iletişim esnasında hassas verilerin olmasından dolayı daha sonra şifrelenmiş blokların içeriklerinin tespit edilmesi ihtimaline karşılık blokların silinmesi öngörülmüştür. Blokların içeriği önemli ölçüde transfer edilen verileri tutacak olsa da istemciye ve sunucuya ait veriler, oturuma ait veriler ve diğer verilere de sahip olacaktır. SSLChain blok yapısına Şekil 2’de yer verilmiştir.



Şekil 2. SSLChain blok yapısı

Şekil 2’de yer alan blok yapısı, bağlantı sırasında istemci ile sunucu arasında transfer edilecek bloğu ifade etmektedir.

Kaynak Bilgisayar: İstemci-sunucu arasında gerçekleşecek şifreli veri alışverişinde bloğu gönderen kişinin bilgilerinin tutulduğu alandır.

Hedef Bilgisayar: İstemci-sunucu arasında şifrelenmiş blok transferinde istek yapılacak ya da cevap verilecek düğümü ifade etmektedir.

Bloğun Amacı (Request/Response): Veri transferi sırasında isteğin ya da cevabın niteliğini belirleyen istemcinin ya da sunucunun bu alana göre cevap verme şekillerini değiştiren bir alandır. Bu alan anahtar paylaşımı sırasında anahtar paylaşımı, veri iletimini sırasında ise istek veya cevap olarak değişecektir.

Blok İndeksi: Blokzinciri teknolojilerinde tüm zincirler tek bir örüntü üzerinde ilerlemektedir. Ancak SSLChain’deki bloklar oturum boyunca tutulup daha sonra yok edileceğinden ağdakilerin tamamını tek bir zincire bağlanmaması gerektiği öngörülmüştür. Bu alan her bir oturum için oturum kimlik alanı olarak öngörülmüştür.

Blok Verisi: İstemci-sunucu arasında gerçekleşecek veri transferi sırasında asıl verinin yani ekranlarda kullanılacak verilerin bloklarda tutulduğu alandır.

Blok Özet Verisi: Standart blokzinciri teknolojilerinde kullanılan blokların benzersizliğini sağlayan alanların doğruluğunu teyit etmek için kullanılır. Bu alan oluştururken yine blok içerisinde yer alan blok verisi, kendinden önceki blok özet verisi ve data alanlarının SHA-256 özetleme algoritması ile özetlenmesi ile oluşur.

Kendinden Önceki Blok Özet Verisi: Blokların birbirini bağlanması ve doğrulama için kullanılan alandır. Her bir blok yaratılırken önceki bloğun özet değeri alınarak bloğa eklenir.

Zaman Damgası: Blok oluşturulduğu anda oluşturulan veridir. Blok özeti oluşturulurken karmaşıklığı yükseltmek ve zaman bilgisini tutmak için kullanılmıştır.

IV. BULGULAR

Önerilen yöntemi kullanan restful servisinin işlevselliğini belirlemek için bir web sunucu ve 4 istemciden oluşan bir ağ oluşturulmuştur. Ağda saldırgan bir istemci tarafından trafik elde edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar paylaşımı sırasında asimetrik şifreleme için AES algoritması 2048 bit anahtar uzunluğuyla kullanılmıştır. Anahtar istemci tarafından ortak anahtarı şifreleyip tekrar sunucuya göndermek için kullanılmıştır. Ortak anahtar için RSA algoritması 256 bit anahtar uzunluğu ile kullanılmıştır.

Saldırgan istemcinin haberleşme trafiğini elde edebilmesine rağmen verileri elde edemediği görülmüştür.

Oluşturulan ağda SSLChain ile sertifika ücreti ödemeksizin güvenli bağlantı kurulabilmiştir. Bağlantı sırasında uygulamanın hem avantajı hem de dezavantajı olan husus düğümlerin sayısının artmasıdır. Düğümlerin sayısının artması hem daha fazla düğümden doğrulama yapılması hem de her düğüm ile bilgi alışverişine olanak sağladığından çok fazla bekleme süresine sebep olmuştur.

Sistemin performans testi için sunucu rolüne bir bilgisayar, istemci olarak çalışacak dört terminalin olduğu bir ağ oluşturulmuştur. Aynı ağ bağlantısında gerçekleştirilen testte ağlar arası gecikme göz

ardı edilmiştir. Çalışan uygulama sadece anahtar paylaşımı ve basit bir istek ve cevaptan oluşturulmuştur. Uygulama içinde veritabanı sorgu gecikmesi olmamıştır. Tomcat uygulama sunucusunun ve kullanılan SpringBoot frameworkunun ortalama gecikme süreleri Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. 1 sunucu ve 2 istemciden oluşan ağ gecikmeleri

1 sunucu ve 2 istemciden oluşan ağ			
	Açık anahtarın üretilmesi ve düğümlere dağıtılması	Gizli anahtarın sunucuya iletilmesi	İsteklerin cevaplanması
sunucu	12ms	-	8ms
istemci-1	-	5ms	9ms
istemci-2	-	5ms	9ms

Tablo 2. 1 sunucu ve 3 istemciden oluşan ağ gecikmeleri

1 sunucu ve 3 istemciden oluşan ağ			
	Açık anahtarın üretilmesi ve düğümlere dağıtılması	Gizli anahtarın sunucuya iletilmesi	İsteklerin cevaplanması
sunucu	14ms	-	11ms
istemci-1	-	5ms	12ms
istemci-2	-	5ms	12ms
istemci-3	-	5ms	12ms

Tablo 3. 1 sunucu ve 4 istemciden oluşan ağ gecikmeleri

1 sunucu ve 4 istemciden oluşan ağ			
	Açık anahtarın üretilmesi ve düğümlere dağıtılması	Gizli anahtarın sunucuya iletilmesi	İsteklerin cevaplanması
sunucu	16ms	-	12ms
istemci-1	-	5ms	15ms
istemci-2	-	5ms	15ms
istemci-3	-	5ms	15ms
istemci-4	-	5ms	15ms

Yeni düğümlerin eklenmesi ile gecikmelerin doğrusal artış göstermediği sadece düğüm başına sunucuda her istemci için oluşturulan thread maliyetinin eklenmiş olduğu görülmüştür. Geniş ölçekli ağlarda her istemciye erişmek, açık anahtarı ve blokları dağıtmak maliyetli olacağından istemci grupları oluşturularak blokları dağıtmak daha sürdürülebilir olacaktır.

V. SONUÇ

Güvenli web istemci-sunucu haberleşmesi için önerilen blokzinciri teknolojisine dayalı SSLChain yöntemi HTTP bağlantılarının SSL/TLS sertifikaları kullanmadan verilerin güvenli bir şekilde

gönderilip alınmasını sağladığı görülmüştür. Ağdaki istemci sayısının artışının isteklerin cevaplanma zamanına olan etkisi incelenmiştir. Önerilen yöntemin kullanımı ile uygulama geliştiriciler ve uygulama sunucular için alternatif bir güvenli el sıkışma yöntemi elde edilmiştir.

Blokzincir yönteminin uygulanmasında ağdaki her istemciye erişim zaman gecikmelere yola açacağından önerilen yöntemin yüksek düğüm yoğunluğuna sahip ağlarda kullanımı için istemci ve sunucuyu içerisine alacak alt gruplar oluşturmaya yönelik yeni çalışmalara yol açabilecektir.

VI. KAYNAKLAR



- [1] S. G. Dedeoğlu “Özgürlük, mahremiyet, demokrasinin değeri ve bilişim toplumunda maruz kaldığı tehditler,” *Journal of Yasar University*, c. 9, s. 34, ss. 5889–5891, 2014.
- [2] M. Işık, *İletişim Bilimine Giriş*, 4. baskı, Konya, Türkiye: Eğitim Yayınevi, 2018, ss. 150-220.
- [3] B. Segal “A short history of Internet protocols at CERN,” *CERN Computer Newsletter No.2001-001 In Section 'Internet Service'*, ss. 1-3, 1995.
- [4] A. Shiranzaei ve R. Z. Khan “Internet protocol versions,” *2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, IEEE, New Delhi, Hindistan, 2015, ss. 397-400.
- [5] A. Goldberg, R. Buff ve A. Schmitt “A comparison of HTTP And HTTPS performance,” *Computer Measurement Group (CMG98) International Conference*, New York, ABD, 1998.
- [6] A. Çakmak “Web güvenliğinde SSL/TLS kriptografik protokolü: açıklıklar, saldırılar ve güvenlik önlemleri,” Yüksek lisans tezi, Bilgi Güvenliği Mühendisliği ve Kriptografi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Şehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [7] C. Brubaker, S. Jana, B. Ray, S. Khurshid ve V. Shmatikov “Using Frankencerts for Automated Adversarial Testing of Certificate Validation in SSL/TLS Implementations,” *2014 IEEE Symposium on Security and Privacy*, IEEE, Berkeley, CA, USA, 2014, ss. 114-129.
- [8] D. Wagner ve B. Schneier “Analysis of the SSL 3.0 protocol,” *The Second USENIX Workshop on Electronic Commerce*, Oakland, Kaliforniya, 1996.
- [9] S. Nakamoto, “Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system,” ss. 1-8, 2008. [HTTPS://bitcoin.org/bitcoin.pdf](https://bitcoin.org/bitcoin.pdf) (Erişim Tarihi: 08.10.2020)
- [10] J. A. Jaoude ve R. G. Saade “Blockchain applications – usage in different domains,” *IEEE Access*, c. 7, ss. 45360-45381, 2019.
- [11] E. Karaarslan ve M. F. Akbaş “Blokzinciri tabanlı siber güvenlik sistemleri,” *Uluslararası Bilgi Güvenliği Mühendisliği Dergisi*, c. 3, ss. 16-21, 2017.
- [12] R. T. Fielding “Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures,” Doktora tezi, Bilgi ve Bilgisayar Bilimleri, Kaliforniya Üniversitesi, Irvine, Kaliforniya, 2000.
- [13] D. S. V. Madala, M. P. Jhanwar ve A. Chattopadhyay “Certificate transparency using blockchain,” *IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, Singapore, Singapore, ss. 71-80, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Derin Öğrenme Modellerinde Mahremiyet ve Güvenlik Üzerine Bir Derleme Çalışması

 Gülsüm YİĞİT ^{a,*},  Ayşe KALE ^b

^a Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kadir Has Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

^b Bilgisayar Mühendisliği, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Beykent Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gulsum.yigit@khas.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.864635

ÖZ

Son dönemlerde derin öğrenmedeki devrim niteliğindeki gelişmeler ile birlikte yapay zekaya yönelik beklentiler gün geçtikçe artmaktadır. Konuşma tanıma, doğal dil işleme (NLP), görüntü işleme gibi birçok alanda etkin bir şekilde uygulanabilen bir araştırma alanı olan derin öğrenme klasik makine öğrenmesi ile karşılaştırıldığında daha yüksek başarı göstermektedir. Derin öğrenme ile geliştirilen modellerde eğitim ve tahminleme sırasında büyük miktarda veri kullanılmakta ve kullanılan veriler kişisel verilerden oluşabilmektedir. Bu verilerin işlenmesi sırasında kişisel verilerin korunması kanununa (KVKK) aykırı olmaması oldukça önemlidir. Bu nedenle verilerin gizliliği ve güvenliğinin sağlanması oldukça önemli bir husustur. Bu çalışmada, derin öğrenme modelleri geliştirilirken yaygın kullanılan mimariler verilmiştir. Verilerin gizliliği ve güvenliğini artırmak için literatürde yaygın olarak karşılaşılan güvenli çok partili hesaplama, diferansiyel mahremiyet, garbled devre protokolü ve homomorfik şifreleme araçları özetlenmiştir. Çeşitli sistem tasarımlarında kullanılan bu araçların yer aldığı güncel çalışmalar taranmıştır. Bu çalışmalar, derin öğrenme modelinin eğitim ve tahminleme aşamasında olmak üzere iki kategoride incelenmiştir. Literatürdeki çeşitli modeller üzerinde uygulanabilen güncel saldırılar ve bu saldırılardan korunmak amacıyla geliştirilen yöntemler verilmiştir. Ayrıca, güncel araştırma alanları belirlenmiştir. Buna göre, gelecekteki araştırma yönü kriptografik temelli yöntemlerin karmaşıklığının azaltılması ve geliştirilen modelin güvenilirliğini belirlemek için çeşitli ölçme ve değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi yönünde olabilir.

Anahtar Kelimeler: Derin Öğrenme, Güvenli Çok Partili Hesaplama, Diferansiyel Mahremiyet, Homomorfik Şifreleme, Garbled Devreler Protokolü.

A Review Study on Privacy and Security in Deep Learning Models

ABSTRACT

With the advanced progress in deep learning in recent times, expectations of artificial intelligence are increasing day by day. Deep Learning, a research area, applied effectively in many areas such as speech recognition, Natural Language Processing (NLP), and image processing, shows higher success than classical machine learning algorithms. Large amounts of data are employed during the training and prediction stages of deep learning models, in which the data may consist of the user's sensitive data. Therefore, it mustn't contradict the principle of protecting personal data while training and predicting. Consequently, it is crucial to ensure the privacy and security of data. In this study, various deep learning architectures are described. The widely used cryptographic tools applied to preserve the privacy and security of data are summarized. These are homomorphic encryption, differential privacy, secure multi-party computation, and garbled circuits. Recent works considering the privacy and security of deep learning models are examined under two different categories: train stage and

prediction stage. In addition, the attacks against deep learning models and techniques for protection against these attacks are reviewed. Finally, open research areas are determined. Reducing the complexity of cryptographic-based models and developing evaluation methods to determine the model's privacy and security stand out as future research areas.

Keywords: Deep learning, Secure multiparty computation, Differential privacy, Homomorphic encryption, Garbled circuits protocol.

I. GİRİŞ

Teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi ve artan internet kullanımı ile birlikte her gün çok büyük miktarda ses, görüntü, metin gibi farklı türlerde veriler üretilmektedir. Bu veriler üzerinde son dönemlerde devrim niteliğinde iyileşmeler kaydeden derin öğrenme yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Ses, görüntü ve metin verilerini sınıflandırma, görsel ve metin soru cevaplama sistemleri, oyun oynama, makine çeviri yöntemleri de dahil olmak ve bu alanlarla sınırlı olmamak üzere çeşitli önemli ve sık karşılaşılan problemlerde çözüm olarak kullanılmaktadır. Derin öğrenme modellerinin doğruluk başarısı verinin büyüklüğü ile doğru orantılıdır.

Derin öğrenmenin birçok alanda kullanımının artması ile birlikte klasik makine öğrenmesine göre daha yüksek performanslı sonuçlara ulaşılmıştır. Derin öğrenme modelinin eğitiminde kullanılan eğitim verileri kişilerin konum bilgileri, sosyal medyadan toplanan ses, görüntü, video verileri vb. olmak üzere kişisel bilgilerden oluşmaktadır [1-4].

Derin öğrenme modellerinin eğitiminde hassas veri kullanıldığında çeşitli gizlilik sorunları ile karşılaşılabilir. Örneğin, sosyal medyadaki milyonlarca kullanıcının görüntü, mesaj ve video verileri gizlilik problemleri ile karşı karşıyadır. Bu verileri tutan şirketlerin verileri ne kadar süre ile tuttukları bilinmediğinden sosyal medya kullanıcıları verilerin silindiğinden hiçbir zaman emin olamamaktadır. Ayrıca, bu verilerin ne amaçla kullanılacağı kullanıcılar tarafından kontrol edilememektedir.

Bu çalışmada, Bölüm 2’de, literatürde yaygın bir şekilde kullanılan derin öğrenme mimarileri verilmiştir. Derin öğrenme temelli modellerde en çok kullanılan kriptografik araçlar Bölüm 3’te özetlenmiştir. Bölüm 4’te, derin öğrenme mimarileri kullanılarak geliştirilen modellerde güvenliği ve gizliliği sağlamak üzerine literatürde yer alan çalışmalar eğitim ve tahminleme sırasında olmak üzere iki kategoride özetlenmiştir. Bölüm 5’te ise derin öğrenme modelleri üzerinde uygulanan saldırılar incelenmiş ve bu saldırılara yönelik tasarlanan literatürdeki korunma yöntemleri verilmiştir. Gelecekteki araştırma yönleri Bölüm 6’da incelenmiş ve çalışmanın sonuç bölümü Bölüm 7’de bulunmaktadır.

II. DERİN ÖĞRENME

Derin öğrenme mimarilerinin yapısı temel olarak girdi ve çıktı katmanları ve bu katmanların arasında bulunan gizli katmanlardan oluşmaktadır. Çeşitli veri türleri üzerinde uygulanabilen bu mimarilerin temel çalışma mekanizması bir katmandan elde edilen çıktı vektörünün takip eden katmanın girdisi olarak işlenmesidir.

A. KONVOLÜSYONEL SİNİR AĞLARI (CNN)

Konvolüsyonel sinir ağları (CNN) yüz tanıma, resim sınıflandırma, nesne belirleme gibi bilgisayarla görü problemleri başta olmak üzere çeşitli problemler üzerinde uygulanan bir derin öğrenme

mimarisidir [1, 2, 5]. Tek katmanlı sinir ağı modellerine kıyasla CNN mimarisi ile oluşturulan modeller daha yüksek performans değerlerine ulaşmaktadır. CNN ağı genel olarak üç farklı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde bir veya daha fazla konvolüsyon işlemi gerçekleştirilir. Konvolüsyon katmanı, konvolüsyonel sinir ağlarının ilk katmanıdır. Konvolüsyon işleminin ilk değişkeni x girdisi ve ikinci değişkeni w kernel matrisidir. Kernel matrisi, girdi üzerinde konvolüsyon işlemi yapılarak dolaşır ve sonuçlar bir öznitelik haritasını oluşturur. Farklı kernel matrisleri ile konvolüsyon işlemi tekrarlanır ve her oluşturulan öznitelik haritası bir özellik türünü tespit eder. Bu aşamada öznitelik haritasının gerçek giriş verisine göre boyutunu korumak için piksel ekleme yöntemleri uygulanabilir ve sonrasında doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu (ReLU, Tanh, Sigmoid vb.) ile bir aktivasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamada amaç doğrusallık problemini ortadan kaldırarak sistemin tek bir perceptron gibi davranmasına engel olmaktır.

İkinci bölümde ise bir havuzlama fonksiyonu ile önceki aşamanın çıktısı değiştirilir. Havuzlama fonksiyonu, çıktının yakınlarındaki bilgilerin bir özeti olacak şekilde (maksimum havuzlama, ortalama havuzlama, L2- Norm havuzlama vb.) değiştirilmesini temel alır. Farklı boyutlardaki girdileri işleyebilmek için önemli bir aşamadır ve girdi boyutundan bağımsız olarak aynı boyutta bir özet haritası elde edilir. Temelde havuzlama katmanı bir örnekleme işlemidir.

Üçüncü aşama ise tam bağlantı katmanı olarak adlandırılır ve önceki bölümlerin çıktıları, her bir nöronun tüm nöronlara bağlı olduğu tam bağlantılı bir sinir ağına tabi tutulur. Tam bağlantı katmanı konvolüsyonel sinir ağlarının sonuna eklenen bir katman olup öğrenme işleminin yapıldığı önceki aşamaların skor sonuçlarını optimize etmek için kullanılır.

B. ÖZYİNELEMELİ SİNİR AĞLARI (RNN)

Okunan bir yazı kendisinden önce gelen her kelimenin anlaşılmasıyla bir anlam ifade etmektedir. Yapay sinir ağları kendisinden önce gelen bilgilerden çıkarım yapma kabiliyetine sahip değildir. Yapay sinir ağlarında karşılaşılan bu probleme Özyinelemeli Sinir Ağları (RNN) ile cevap bulunabilmektedir. Son dönemlerde RNN ile geliştirilen uygulamalar robotik, el yazısı tanıma, ses tanıma, müzik oluşturma ve diğer birçok temel görev için kullanılmaktadır [3,4,6,7]. Ayrıca, DNA verileri üzerinde gerçekleştirilen biyomedikal uygulamalarda [8,9], makine çevirisi sistemlerinde [10], metin sınıflandırma [11] gibi önemli NLP problemlerinde kullanılabilir.

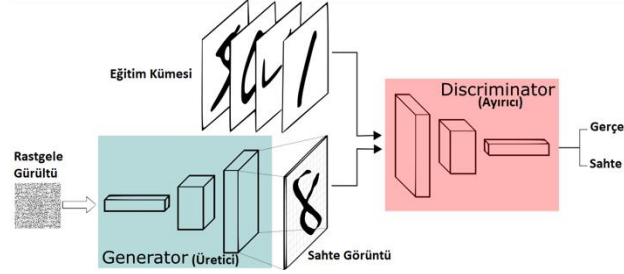
RNN ağlarında karşılaşılan en önemli problemlerden biri kaybolan gradyan problemidir. Genellikle çok eskiye dönük verilerden çıkarım yapmak gereken görevlerde ortaya çıkmaktadır. Ağın üzerinde ileri yönlü bir geçiş ile bir tahmin üretilir. Kayıp fonksiyonu ile elde edilen tahmin değeri karşılaştırılarak bu değer için bir hata değeri hesaplanır. Geriye dönük yayılımda hesaplanan bu hata değerinin kullanılmasıyla nöronların gradyan hesaplaması yapılır. Geri yayılım sırasında gradyan değerinin küçülüp 0'a yakınsaması durumunda modelin öğrenme gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Karşılaşılan bu problemi ele alan uzun-kısa vadeli bellek ağları (LSTM) [12] ve kapılı tekrarlayan hücreler (GRU) geliştirilmiştir. LSTM ve GRU ağları bilgi akışını düzenleyebilmek için RNN'lerden farklı olarak kapı mekanizmalarına sahiptirler. LSTM unutmaya, girdi ve çıktı kapıları olmak üzere üç kapıya sahiptir. GRU ise sıfırlama ve güncelleme kapıları ile RNN'deki gradyan problemlerine çözüm sağlamaktadır.

C. ÇEKİŞMELİ ÜRETİCİ AĞLAR (GAN)

Derin öğrenme alanında son dönemlerde yaygın kullanılan derin öğrenme mimarilerinden bir diğeri de Çekişmeli Üreticili Ağlar (GAN)'dır [13]. Bu ağlar, resimden resim elde edilmesi ve insan yüzü üretimi [14,15], insan-insan etkileşimi modellenmesi [16], yara dokularının görselleştirilmesi [17] ve yapay tıbbi veri üretimi [18] gibi birçok alanda uygulanabilmektedir. GAN ağları oyun senaryosu ile temeli atılmış bir derin öğrenme tekniğidir. Bu mimaride, Şekil 1'de görselleştirildiği üzere bir üretici ağ ve bir üretici ağın rakibi, ayırıcı ağ bulunur. Üretici tıpkı bir oto kodlayıcı gibi çalışarak veri

kümesinin dağılımına benzer ancak rastgele bir vektör ile sahte veri üretir. Ayırıcı ağ ise eğitim kümesinin örnekleri ve üretici ağın ürettiği örnekleri karşılaştırır ve bir olasılık değeri hesaplar. Bu olasılık değeri üretici ağın ürettiği örneğin eğitim setinden olma olasılığıdır.

GAN mimarisi ile öğrenme bir ödül teorisi ile gerçekleşir. Bu teoride, bir v fonksiyonu ayırıcı ağın ödül fonksiyonudur. Üretici ağın ödül fonksiyonu ise $-v$ 'dir. Her iki taraf da alacağı ödülü büyütmeye odaklıdır.



Şekil 1. Çekişmeli Üretici Ağ (GAN) modeli [25]

GAN ağında eğitime rastgele bir gürültü ile başlanır ve üretici ayırıcıyı ürettiği verinin gerçek olduğuna ikna etmeye çalışır. Ayırıcı, gelen örnekleri sahte veya gerçek olarak sınıflandırarak üreticiyi veri setine uygun örnekler üretmesi için eğitir. Üretici de ayırıcıyı seçicilik konusunda eğitir ve her bir aşamada üretici ve ayırıcı birlikte eğitilmiş olur. Bu süreçte veri setinden küçük örnekler alınarak ayırıcı ağda stokastik gradyan azaltma uygulanarak geri yayılım algoritması ile ağırlıklar eğitilir. Bir yakınsama noktasına ulaşıncaya kadar oyun devam eder. Yakınsama noktasına yaklaştıkça üreticinin örneklerinin de gerçek veriye benzerliği artar. Böylece, öğrenme süreci gerçekleştirilmiş olur. Tüm bu süreçler boyunca üretici ve ayırıcı, üretip ayırt etme işlemini kurnalsız olarak gerçekleştirir.

III. KRİPTOGRAFİK ARAÇLAR

Derin öğrenme modellerinde kullanılan girdi ve elde edilen tahmin verilerinin güvenliğini ve gizliliğini güvence altına almak için çeşitli kriptografik temelli yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kriptografi, bir metni bir anahtar ile şifreleyerek metni anlaşılabilir hale getiren ve şifrelenmiş metni tekrar şifresiz bir forma dönüştürülebilir yöntemlerin incelendiği bir bilim dalıdır. Simetrik şifreleme ve asimetrik şifreleme olmak üzere iki temel şifreleme tekniği bulunmaktadır.

Simetrik Şifreleme: Metni şifreleyen gönderici ve şifreli metni tekrar şifresiz metne dönüştürebilen alıcının aynı anahtara sahip olması durumudur. Hem alıcı hem de göndericinin sahip olduğu anahtar hem şifreleme hem de şifre çözümü sırasında kullanılmaktadır.

Asimetrik Şifreleme: Simetrik şifrelemenin aksine metnin şifrelenmesi ve şifre çözümü süreçlerinde alıcı ve göndericinin farklı anahtarlara sahip olması durumudur. Şifrelemede <açık anahtar> ve şifre çözümlemede <gizli anahtar> adı verilen (<açık anahtar, gizli anahtar>) anahtar çifti kullanılmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde, derin öğrenme modellerinde veri güvenliği ve gizliliğini sağlamak için literatürde yaygın olarak uygulanan kriptografik temelli yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.

A. HOMOMORFİK ŞİFRELEME

Homomorfik şifreleme algoritması, şifreleme ve şifre çözümü sırasında farklı anahtar kullanımına sahip asimetrik şifreleme temelli bir yöntemdir. Bu işlemler sırasında <açık anahtar (pk), gizli anahtar

(sk)> çifti kullanılmaktadır [26]. Şifreli metinlerin üzerinde şifre çözümü işlemi yapmadan çeşitli hesaplamalar yapabilen çeşitli problemler üzerinde yaygın kullanılan bir yöntemdir.

Homomorfik şifreleme üç olasılıksal polinom zamanlı algoritmadan oluşmaktadır. Bunlar, (1) anahtar üretme, (2) şifreleme ve (3) şifre çözümü işlemleridir.

Anahtar üretme: Gen (Üretici) güvenlik parametresi 1^k olan genel <açık anahtar (pk), gizli anahtar (sk)> çifti $(pk, sk) \in K \times K$ 'dir.

Şifreleme: Şifreli metin C, $E : K \times M \rightarrow C$ olduğu gibi açık anahtar K ve bir mesaj M ile elde edilir.

Şifre çözümü: Şifreli metin C ve gizli anahtar K kullanılarak şifresiz metin M elde edilir.
 $D : K \times C \rightarrow M$.

Şifreleme $E_{pk}(M)=C$, şifre çözümü $D_{sk}(C)=M$ ile gösterilebilir. Bu teknik ile $(pk,sk) \leftarrow \text{Gen}(1^k)$ olmak üzere toplama (+) ve çarpma (·) işlemleri üzerinde bütün k, m_1, m_2 değerleri için aşağıdaki işlemler yapılabilir.

$$E_{pk}(m_1) \cdot E_{pk}(m_2) = E_{pk}(m_1 + m_2) \quad (1)$$

Homomorfik şifreleme, şifreli metinler üzerindeki hesaplama yapabilmesinden dolayı çeşitli Güvenli Çok Partili Hesaplama (SMPC) protokolünün tasarımında, şifrelenmiş veri tabanlarındaki sorgularda, anonim veri toplama gibi önemli uygulama alanlarında kullanılabilir.

B. OBLIVIOUS TRANSFERİ PROTOKOLÜ

Oblivious Transferi Protokolü, 1981'de geliştirilen iki taraflı bir şifreleme protokolüdür [19]. Tablo 1'de görülen işlevselliğe sahip olan Oblivious Transferi, gönderen ve alıcı olmak üzere iki taraftan oluşmaktadır. Gönderenin iki girdisi x_0, x_1 ve alıcının ise girdi verisi olarak σ biti bulunmaktadır. Bu protokolünün çıkışında alıcı x_σ 'yi öğrenmektedir, ancak hangi mesajı aldığına dair olan σ biti hakkında hiçbir bir veriye ulaşamamakta ve gönderici ise hiçbir bilgi öğrenememektedir.

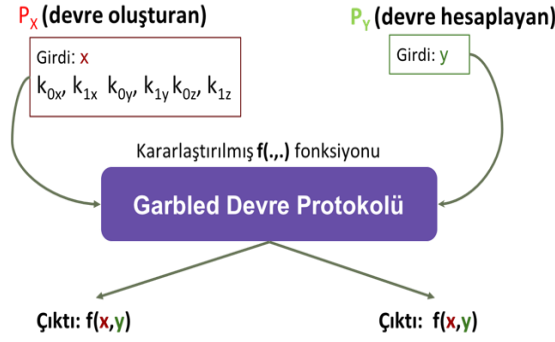
Tablo 1. Oblivious transferi protokolü

	Gönderen	Alıcı
Giriş	x_0, x_1	σ
Çıkış	\perp	x_σ

Oblivious transferi protokolü Yao milyonerler problemi, küme eşitlik testleri (DNA dizilimleri ile ebeveynlik testi), SMPC içeren protokoller ve garbled devreler protokolü gibi çeşitli kriptografik yöntemlerin geliştirilmesinde temel bir araç olarak kullanılmaktadır [20-23].

C. GARBLED DEVRELER PROTOKOLÜ

Garbled devreler protokolü, iki taraflı güvenli hesaplama protokolleri geliştirilirken her problem üzerinde uygulanabilen matematiksel genel bir yaklaşımdır [24]. Güncel literatürdeki derin öğrenme temelli modellerde verilerin gizliliği ve güvenliğini artırmak amacıyla kullanılan kriptografik araçlardan biridir.



Şekil 2. Garbled devreler protokolü temel çalışma mekanizması.

Garbled devreler protokolü, x ve y girişleri olan sırasıyla P_X, P_Y tarafları üzerinden yürütülmektedir. Şekil 2’de Garbled devreler protokolü mekanizmasının temel prensibi verilmiştir. Buna göre, giriş-çıkış verileri olarak $\{0,1\}$ değerlerine sahip NAND, AND, XOR-NOR, OR, NOT kapılarından oluşan bir devre olarak oluşturulabilen $f(.)$ fonksiyonunu hesaplayabilmektir. Taraflardan biri buradaki işlevin hesaplanması için devreyi oluştururken, diğer taraf ise oluşturulan devreyi hesaplamaktadır.

Şekil 2’de olduğu gibi genel olarak, P_X kararlaştırılmış fonksiyon olan f ’in şifreli halini kullanır. P_Y ise hesaplama veya P_X girdisi hakkında herhangi bir şey öğrenmeyen devrenin hesaplayıcısı olarak tanımlanabilir. Bu hesaplamada her girdi kapısı için bir Oblivious Transferi protokolü uygulanır.

Bu protokolde takip edilen adımlar aşağıda özetlenmiştir.

Taraflar: P_X (garbled devreyi oluşturan taraf) ve P_Y (garbled devreyi hesaplayan taraf)

Girdi: $P_X = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ ve $P_Y = \{y_0, y_1, \dots, y_n\}$ verilerine sahiptir.

Çıkış kapısı her iki tarafın girdilerini herhangi bir üçüncü kişi veya birbirlerine sızdırmadan $f(x_i, y_i)$ fonksiyonunu değerlendirir. Burada $i = \{1, 2, \dots, n\}$ ’dir.

Protokol:

- Tarafların veriler üzerinde hesaplaması için kararlaştırdıkları f fonksiyonu ilk olarak bir mantıksal devreye dönüştürülür ve her bir kapıda şifrelemede kullanılmak üzere rastgele anahtarlar üretilir.
- Üretilen rastgele anahtarların mantıksal ifadesi ile şifreleme dizgesi değiştirilerek bir doğruluk tablosu oluşturulur.
- P_X oluşturduğu doğruluk tablosunun karıştırılması ile elde edilen tabloyu ve kendi şifrelenmiş girdisini P_Y ’e gönderir.
- P_Y, P_X ’in karıştırılmış girdilerini ve garbled devreyi alır. Gönderilen veriler karıştırılmış bir şekilde ve şifreli olmasından dolayı P_Y devredeki giriş değerlerinin hangi girdi bit değerlerine karşılık geldiğini bilememektedir.
- Devredeki doğru girişi seçmek için P_Y girdisinin her bir değeri için P_X ile Oblivious Transferi protokolü yürütülür.

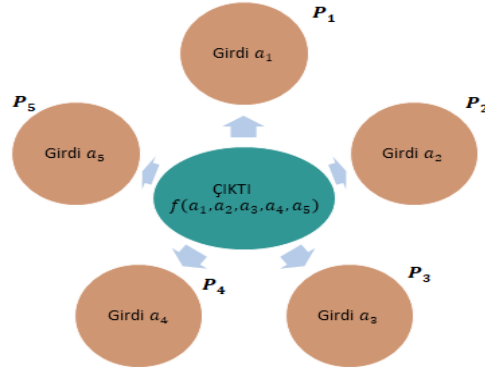
Sonuç:

- Yürütülen her bir Oblivious Transfer Protokolü sırasında P_X, P_Y ’nin gönderdiği her bir bit değerine karşılık gelen rastgele bir dizesini gönderir. Oblivious Transferinin çalışma prensibinden dolayı taraflar arasında veri sızdırılması mümkün değildir. Dolayısıyla, P_X, P_Y ’nin herhangi bir girdi değerini öğrenemez.

- P_Y , girdi bit değerlere karşılık gelen rastgele dizisini almayı bitirdiği zaman P_Y tarafı devreyi hesaplayabilmek için gereken bütün verilere sahiptir. Böylece, P_Y tarafı devreyi hesaplayarak elde ettiği hesaplama sonucunu P_X tarafı ile paylaşır.

D. GÜVENLİ ÇOK PARTİLİ HESAPLAMA (SMPC)

Derin öğrenme modelleri eğitim verisine sahip çoklu katılımcıların olması durumunda her bir katılımcının verisinin başka herhangi bir katılımcı ile paylaşılmaksızın genel bir derin öğrenme modeli eğitilebilir [25-27]. Bu tür eğitim süreçlerinde çok partili derin öğrenme modellerinde gizlilik sorununun azaltılmasına yönelik önemli bir ilerlemenin olduğu görülmektedir.

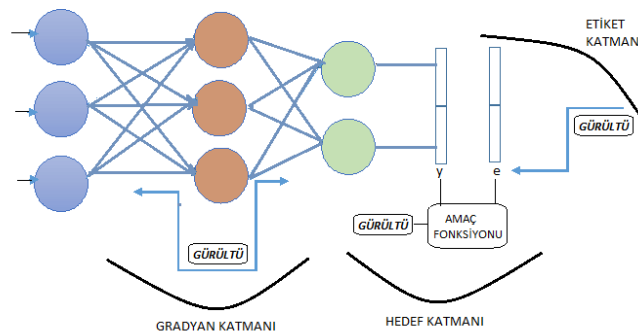


Şekil 3. SMPC çalışma mekanizması

Güvenli Çok Partili Hesaplama (SMPC), güvenilir merkezi bir otoriteye ihtiyaç duyulmadan katılımcılar arasında verilerin gizlilik ve güvenliğinin sağlanması ile ortak kararlaştırılmış bir fonksiyon hesaplama protokollerini konu almaktadır (Şekil 3). Bu yaklaşımın arkasında yatan temel prensip katılımcıların kişisel verileri üzerinde ortaklaştırılmış fonksiyonları hesaplamaktır. SMPC protokolünde fonksiyon çıktıları katılımcılara bildirirken aynı zamanda çıktı üzerinden ve kendi özel girdilerinden başka katılımcı(ların) girdilerini hesaplayamayacakları ve çıktı dışında hiçbir bilginin sızması prensibine dayanmaktadır [28,29].

E. DİFERANSİYEL MAHREMİYET

Derin öğrenme mimarileri kullanılarak tasarlanan modeller üzerinde diferansiyel mahremiyet uygulanarak eğitim aşamasında kullanılan veriler çeşitli saldırılara karşı korunabilmektedir. Diferansiyel mahremiyet, veriye doğrudan erişimi engelleyerek gizliliği artırmaya yönelik literatürde yaygın bir şekilde karşılaşılan popüler metotlardan biridir. Bu metot ile gerçek verilere gürültü eklenerek veri maskelenir [30]. Derin öğrenme modelleri üzerinde diferansiyel mahremiyetin uygulandığı temel aşamalar Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Derin öğrenmede diferansiyel mahremiyete genel bakış

Örneğin, rastgele bir fonksiyon f ve D hastanedeki hastaların verilerinden oluşan veri kümesi olmak üzere $f(D)$ fonksiyonunu güvenli bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. $f(D)$ fonksiyonu hesaplanırken hasta sayısı ve hastaların kişisel verilerini korumak için fonksiyona gürültü eklenir. Eklenen bu gürültü miktarı fonksiyonda kullanılan verinin hassasiyeti ile ilgili olarak artırılıp azaltılabilir. f ve $\|\cdot\|$ sırasıyla sorgu fonksiyonu ve norm fonksiyonu olmak üzere verilerin hassasiyet değeri $s(f, \|\cdot\|)$ aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$s(f, \|\cdot\|) = \|f(D) - f(D')\| \quad (2)$$

D' veri kümesindeki örnekler D veri kümesinden bir örnek farklılık göstermekle birlikte D 'nin kardeş veri kümesidir. Bu kardeş veri kümeleri için L1 veya L2 normundaki en büyük uzaklık hassasiyet değerini vermektedir.

IV. DERİN ÖĞRENME MODELLERİ ÜZERİNDE GİZLİLİĞİ VE GÜVENLİĞİ ARTIRMAYA YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Literatürdeki çalışmalarda derin öğrenme modelleri için verilerin güvenliği ve gizliliğini artırmak amacıyla yapılan çalışmalar eğitim veya tahminleme aşamasında uygulanmaktadır.

A. EĞİTİM AŞAMASINDA

Bu bölümde, derin öğrenme modellerinde verilerin güvenliği ve gizliliğini artırmak için modelin eğitim aşamasında uygulanan literatürdeki güncel çalışmalar özetlenmiştir.

Shokri ve arkadaşları (2015), çok sayıda katılımcıdan oluşan büyük bir grubun özel verilerini herhangi bir katılımcıya sızdırmadan bir sinir ağı modeli oluşturarak katılımcıların verilerinden birlikte öğrenmeyi sağlayan genel bir sistem tasarlamışlardır [25]. “Dağıtık Stokastik Gradyan İniş” optimizasyon yöntemini kullanarak gruptaki her bir katılımcının kendi özel verilerini birbirinden bağımsız olarak eğitime yaklaşımı kullanılmaktadır. Tasarlanan yöntem ile MNIST verisi üzerinde %99.14 ve SVHN verisi üzerinde ise %93.12 başarı performansları elde edilmiştir. Verilerin güvenliğini artırmak ve sızıntı risklerinin en aza indirmek için parametreler güncellenerek (gürültü eklenerek) diferansiyel mahremiyet yaklaşımı uygulanmıştır.

Abadi ve arkadaşları (2016), stokastik gradyan iniş yöntemi ve diferansiyel mahremiyetin yaklaşımları ile yeni bir yöntem geliştirmişlerdir [31]. Veriyi korumak amacıyla her eğitim örneğinin hassasiyeti sınırlandırılmış ağ parametrelerini güncellemeden önce gradyana gürültü eklenmiştir. Özellik seçiminde ilk olarak Temel Bileşen Analizi'ne [32] diferansiyel mahremiyetin uygulanması yaklaşımı kullanılmıştır. CIFAR-10 verisi üzerinde %73, MNIST verisinde ise %97 başarı oranı elde edilmiştir.

Chase ve arkadaşları (2017), yapay sinir ağları ile oluşturdukları model üzerinde eğitimde kullanılan verilerdeki her bir örneğin gizliliğini korumak için SMPC ve diferansiyel mahremiyet yöntemlerini birlikte kullanarak yeni bir yöntem tasarlamışlardır [26]. Brett ve arkadaşları (2019), diferansiyel mahremiyeti biyomedikal veriler üzerinde geliştirilen bir modele entegre ederek verilerin güvenliği ve gizliliğini korumayı amaçlamışlardır [33]. Eğitim aşamasında rastgele seçilen bir örneğin model üzerindeki en yüksek olabilecek etkisinin sınırlandırılması ve rastgele gürültü eklenmesi yaklaşımı kullanılmıştır.

Birden fazla katılımcıdan oluşan derin öğrenme modellerinin eğitilmesinde katılımcılar hassas verilerini paylaşmadan kararlaştırılan ortak bir amaç doğrultusunda geliştirilen derin öğrenme modeli üzerinde verilerini kullanarak eğitim gerçekleştirirler. Gong ve arkadaşları (2020), merkezi bir sunucu ile verilerin gizlilik riskini önlemek için homomorfik şifreleme ve diferansiyel mahremiyet

yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çoklu katılımcıyı destekleyen bir derin öğrenme sistemi tasarlamıştır [27]. Her bir katılımcı ilk olarak derin öğrenme kullanarak oluşturdukları modelleri kişisel verileri ile bağımsız bir şekilde eğitilmesinin sağlanmasından sonra homomorfik şifreleme uygulayıp gradyan değerlerini merkezi bir sunucuya gönderirler. Böylece katılımcıların kişisel verilerinin sızıntısı önlenirken oluşturulan genel modele katkıda bulunmak amaçlanmaktadır.

Chaudhuri ve arkadaşları (2011), eğitim verilerinin hassas bilgilerden oluştuğu bir derin sinir ağı modeli üzerinde sınıflandırma problemine odaklanmıştır [34]. Deneysel risk minimizasyonu kullanılarak sınıflandırıcılarda gizliliği korumayı amaçlayan bir yöntem tasarlamışlardır. Bu çalışmada, sınıflandırıcı tarafından her bir eğitim örneği için tahmin değeri belirlenirken eğitim verisi üzerindeki ortalama tahmin hatasının minimize edilmesi yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca, gizliliği korumak için hassas veriler üzerinde diferansiyel mahremiyet yöntemini kullanmışlardır. Boura ve arkadaşları (2019), CNN ağları ile oluşturulan modele homomorfik şifreleme algoritmasını entegre ederek yeni bir yöntem geliştirmişlerdir [35].

Nandakumar ve arkadaşları (2019), yapay sinir ağları ile geliştirdikleri modellerin şifrelenmiş eğitim verileri ile eğitimi gerçekleştirmek için homomorfik şifreleme algoritmasını kullandıkları bir yöntem geliştirmişlerdir [36]. Her bir katılımcı kendi gizli anahtarını kullanarak kendi özel verilerini şifreleyebilmekte ve şifrelenmiş verilerini ortak servis sağlayıcısı ile paylaşmaktadır. Servis sağlayıcı ise katılımcıların şifresiz verilerini görmeden ortak kararlaştırılmış modeli şifrelenmiş veriler ile eğitmektedir. Eğitimin sonucunda ortaya çıkan model şifrelenmiş olmakta ve böylece servis sağlayıcı katılımcıların şifresiz verileri veya eğitim sonucunda öğrenilen model parametreleri hakkında hiçbir bir çıkarımda bulunamaz. Ayrıca, şifrelenmiş metinleri paketlemenin etkili bir şekilde uygulanması ile homomorfik şifreleme tekniğinde yapılan hesaplamaların hızlandırılması üzerinde çalışılmıştır. Şifreli metnin paketlenmesi homomorfik şifreleme tekniğinde yaygın kullanılan bir tekniktir. Gerekli önyüklemede yapılan işlemlerin sayısının en aza indirilmesi ve her bir nöron üzerindeki hesaplamaların paralelleştirilmesi yaklaşımları ile hesaplamaların karmaşıklığının azaltılması amaçlanmıştır. MNIST veri kümesi kullanılarak yapılan deneyler sonucunda şifrelenmiş veri ile modelin eğitilmesinin şifresiz veri ile modelin eğitilmesinden yaklaşık olarak 4-5 derece daha yavaş olduğu görülmüştür.

Tran ve arkadaşları (2021), derin öğrenme modellerinde verilerin gizliliğini korumak amacıyla Merkezi Olmayan Güvenli Çerçeve (SDTF) ismini verdikleri yeni bir yöntem tasarlamışlardır [37]. Herhangi bir üçüncü taraf sunucusuna ihtiyaç duyulmadan merkezi olmayan bir ağ üzerinde paralel eğitim sürecinin desteklenmesi ile verilerin mahremiyetinin korunması amaçlanmaktadır. Büyük bir gruptaki katılımcıların girdilerin toplamını güvenli bir şekilde hesaplayan Güvenli Toplam Protokolü tasarlanmıştır. Model paylaşım sürecini sağlamak için yerel modelleri dürüst ama meraklı taraflardan 2'si gizli olsa bile korumak için randomizasyon teknikleri ve Güvenli Toplam Protokolü birleştirilmiştir. Güvenli Paylaşım Protokol ismini verdikleri protokol ile gruptaki katılımcıların yerel ara parametreler ve eğitim girdileri hakkında bilgi sızdırılmadan küresel bir model eğitimi amaçlanmıştır. MNIST ve UCI SMS spam veri kümesi üzerinde yapılan deneyler sonucunda önerilen yöntem ile oluşturulan modelin yüksek başarı oranı ve verimliliği elde edilmiştir.

Syed ve arkadaşları (2020), homomorfik şifreleme kullanarak derin öğrenme modellerinde ve klasik makine öğrenmesi modellerinde verilerin güvenliğini ve gizliliğini artırmak amacıyla yeni bir yöntem geliştirmişlerdir [38]. Model geliştiricilerin verilere doğrudan erişememesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntem akıllı şebekelerde arıza tanımlama, yerelleştirme ve yük tahmini uygulamaları için test edilmiştir. Şifrelenmiş veriler üzerinde eğitilen modelin doğruluğu şifrelenmemiş veriler üzerinde eğitilen modele çok yakın doğruluk değerlerine sahiptir.

B. TAHMİNLEME AŞAMASINDA

Bu bölümde, literatürde yer alan derin öğrenme temelli mimarilerde güvenliği ve gizliliği korumak amacıyla modelin tahminleme aşamasında uygulanan yöntemlerin yer aldığı çalışmalar incelenmiştir.

DeepSecure derin öğrenme ile geliştirilen modeller üzerinde verilerin gizliliği ve güvenliğini artırmayı amaçlayan bir sistemdir [39]. Gizliliği ve güvenliğini artırmak için Garbled Devreler protokolünün derin öğrenme temelli modellerde tahminleme aşamalarına entegre edilmesi yaklaşımı kullanılmıştır. Garbled Devreler protokolünün uygulanmasından önce verinin boyutu küçültülür. Veri üzerinde uygulanan ön işleme aşaması şifreleme protokolünden bağımsız çalışmaktadır.

Dowlin ve arkadaşları (2016), CryptoNets olarak adlandırılan Microsoft'un katmanlı homomorfik şifreleme yöntemi kullanılarak sinir ağlarını şifreleyen bir yöntem tasarlanmıştır [40]. İlk aşamada, veri sahibinin verisinin şifreli olarak bir bulut hizmetine gönderilmesi sağlanmaktadır. Bulut sunucusunda şifreli veriyi çözmek için gereken anahtar bulunmadığından veriler sunucuda şifreli bir şekilde tutulmaktadır. Sunucu, sinir ağları ile eğitilen modele şifrelenmiş veriyi iletmektedir. Böylece, şifrelenmiş tahminleme veri sahibine ulaşır. Sonuç olarak, tahminleme sonucunu şifre anahtarına sahip olan veri sahibinin öğrenmesi sağlanmaktadır.

Xie ve arkadaşları (2019), BAYHENN olarak adlandırdıkları derin sinir ağlarının güvenliğini artırmak için Bayesçi derin öğrenme ve homomorfik şifreleme algoritmasını birleştirerek yeni bir sistem geliştirmişlerdir [41]. Kullanıcı ve sunucu arasındaki geliştirilen protokolde kullanıcı ilk olarak kişisel verilerini şifrelemekte ve şifrelenmiş verilerini sunucuya modelin girdisi olarak göndermektedir. Sunucu ise tasarlanan protokoldeki aşamaları takip ederek şifreli girdideki doğrusal hesaplamaları yapmaktan sorumludur. Doğrusal hesaplamalar yapılırken homomorfik şifreleme kullanılmıştır. Sunucu tarafından elde edilen çıktı kullanıcıya iletilir. Kullanıcı ise sunucudan aldığı çıktıyı yeniden şifreleyerek bir sonraki gizli katmandaki hesaplamaların yapılması için sunucuya tekrar gönderir. Bu işlemler tekrarlanıp tamamlandıktan sonra kullanıcı son modelden elde edilen sonuca güvenli bir şekilde şifre çözümlemesi yaparak ulaşabilmektedir.

Riazi ve arkadaşları [2019], XONN olarak adlandırılan derin sinir ağları ile geliştirilen modeller üzerinde kötü niyetli taraflara karşı güvenliğini ve gizliliğini artırmak amacıyla Yao'nun Garbled Devreler protokolünün kullanıldığı bir sistem tasarlanmıştır [42]. XONN sisteminde temel amaç derin sinir ağları ile oluşturulan modelin otomatik bir şekilde eğitilmesi ve kullanıcının girdisinin ya da eğitilen modelden elde edilen çıktının orjinal halinin sunucunun ulaşamayacağı şekilde tutulması ile verinin gizliliğinin sağlanmasıdır. XONN, ikili yapay sinir ağları ile Garbled Devreler protokolünün bir arada kullanılması ile tasarlanmıştır. Bu sistemde, derin öğrenme kullanılarak oluşturulan modelin karmaşıklığı yüksek olan matris işlemleri Garbled Devreler protokolünde XNOR ile değiştirilmiştir. XONN sistemi meme kanseri, diyabet, karaciğer hastalığı ve sıtma ile ilgili veriler üzerinde değerlendirilmiştir.

Bittner ve arkadaşları (2020), derin öğrenme tabanlı ses sınıflandırması için gizliliğini artırmayı amaçlayan literatürdeki ilk çözümü sunmuşlardır [43]. "MPC-friendly CNN" modeli olarak tanıttıkları SMPC'e dayanan yaklaşımdır. Bir tarafın (Alice) konuşma sinyalini başka bir tarafın (Bob), derin bir sinir ağı kullanılarak şifreli bir şekilde sınıflandırmasına olanak tanır. İki konvolüsyonel bloğa sahip bir CNN mimarisi kullanmışlardır. Önerilen yaklaşım, RAVDESS veri kümesindeki ses dosyalarının kullanılmasıyla sestem duygu tanıma görevi için değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yarı dürüst bir durumda konuşma sinyali 0.3 saniyenin altında sınıflandırılabilmiştir. Kötü niyetli durumda ise bu süre yaklaşık 1.6 saniyedir. Her iki durumda da bilgi sızıntısının olmaması amaçlanmıştır.

Tablo2. Literatürdeki modellerde kullanılan kriptografik araçlara göre karşılaştırılması

Model	Homomorfik Şifreleme	Garbled Devreler	SMPC	Diferansiyel Mahremiyet
Shokri ve arkadaşları (2015) [25]	+		+	
Orlandi ve arkadaşları (2007) [44]	+			
Chase ve arkadaşları (2017) [26]			+	+
Chaudhuri ve arkadaşları (2011) [34]				+
Dowlin ve arkadaşları (2016) [40]	+			
Abadi ve arkadaşları (2016) [31]				+
Rouhani ve arkadaşları (2018) [39]		+		
Gong ve arkadaşları (2020) [27]	+		+	
Xie ve arkadaşları (2019) [41]	+			
Riazi ve arkadaşları (2019) [42]		+		
Tran ve arkadaşları (2021) [37]			+	
Syed ve arkadaşları (2020) [38]	+			
Bittner ve arkadaşları (2020) [43]			+	

Tablo 2’de literatürdeki derin öğrenme temelli modellerin güvenliği ve gizliliğini korumak için geliştirilen sistemlerin Bölüm 2’de verilen kriptografik araçları kullanıp kullanmamasına göre karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre, [35, 37]’deki çalışmalarda homomorfik şifreleme ve SMPC’nin birlikte kullanıldığı modeller yer almışken, [48,51]’deki yer alan sistem tasarımlarında Garbled Devreler Protokolü kullanılmıştır. Ayrıca, diferansiyel mahremiyetin derin öğrenme mimarilerine de uygulandığı örnek çalışmalar da bulunmaktadır [26,34].

V. DERİN ÖĞRENME MODELLERİ ÜZERİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN SALDIRI TÜRLERİ VE KORUNMA TEKNİKLERİ

Bu bölümde, derin öğrenme temelli modeller üzerinde uygulanabilen saldırı türleri incelenmiş olup olası saldırıların riskini azaltmak amacıyla literatürdeki çalışmalarda yer alan korunma yöntemleri incelenmiştir.

A. SALDIRI TÜRLERİ

Derin öğrenme ile oluşturulan modeller üzerinde uygulanabilen iki büyük saldırı çeşidi bulunmaktadır. Bunlar, zehirlenme ve kaçınma saldırılarıdır. Zehirlenme saldırıları modelin eğitim aşamasında uygulanan saldırılardır. Kaçınma saldırıları ise uygun olmayan test örneklerinin test aşamasında verilmesi ile modelin yanlış tahmin değerleri üretmesine sebep olan saldırı çeşididir. Bu bölümde, literatürde yer alan saldırı çeşitlerine odaklanılmış olup güncel çalışmalar özetlenmiştir.

A.1. Zehirlenme Saldırıları

Bir modelin eğitim aşamasında kullanılan veri kümesine kötü niyetli bir örneğin entegre edilmesi durumudur.

Shafahi ve arkadaşları (2018), eğitim örneklerindeki özelliklerin gösterim şeklinin değiştirilmesi ile zehirlenme saldırısı yapmışlardır [45]. Uçtan uca öğrenme ve öğrenmenin aktarımı ile saldırı denemişlerdir. Öğrenme aktarımında eğitilmiş modelin en son katmanı olan softmax katmanına odaklanılmıştır. Modelin bu aşamasında uygulanan zehirlenme saldırıların oldukça büyük etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir. “Tek atışla zehirlenme” olarak isimlendirilen saldırı çeşidini öğrenme

aktarımı ile birlikte uygulamışlardır. Eğitim örneklerine bir kötücül örnek eklenmesiyle tahminlemenin %100 başarısız olduğu görülmüştür. Uçtan uca eğitim modelinde ise öğrenmenin aktarımında eğitilen son katmanın aksine tüm katmanlar eğitilmektedir. Bu da uçtan uca eğitim modelinin daha çok vakit aldığı göstermektedir.

A.2. Kaçınma Saldırıları

Test aşamasında gerçekleştirilen saldırı çeşididir. Eğitim aşamasındaki sinir ağı modeline odaklanmamakta fakat modelin yanlış tahminlemeler üretmesine sebep olmaktadır. Önceden eğitilen model üzerinde gerçekleştirilen literatürdeki en çok bilinen saldırı çeşididir. Beyaz kutu ve kara kutu saldırıları olmak üzere iki grupta incelenebilir.

A.2.1. Beyaz Kutu Saldırıları

Önceden eğitilmiş derin öğrenme modelinde kullanılan tüm eğitim örnekleri, modelin parametreleri, katman sayısı bilgisi, aktivasyon fonksiyonu, bias veya ağırlıklar gibi model ile ilgili bütün verilerin bulunduğu saldırı çeşididir. Bu gruptaki saldırılar eğitilen modelin gradyanları üzerinden gerçekleştirilir.

Baluja ve arkadaşları (2017), Saldırı Tabanlı Dönüşüm Mimarisi (ATN) olarak adlandırdıkları kendini denetleyen ve sinir ağı mimarilerini belirlenen bir hedef ağına ya da ağ kümesine karşı çeşitli kötücül örnekler üretmek üzere eğiten bir mimari tasarlamışlardır [46]. Bu mimari gerçek örnekler üzerinde yapılan küçük değişiklikler ile gerçek örneklerden ayırt edilmesi zor olan örnek verilerin üretilmesi amaçlanmıştır. Deneyler, MNIST ve ImageNet veri kümeleri üzerinde yapılmıştır.

A.2.2. Kara Kutu Saldırıları

Saldırganın eğitilen model ile ilgili sadece belirli girdi örneklerine karşılık tahminleme bilgisinin olduğu saldırı çeşididir. Örneğin, x örneği için saldırgan M modeli üzerinde sadece $f(x;M)$ bilgisine sahiptir. Beyaz kutu saldırılarının aksine M modelindeki öğrenilmiş ağırlık, bias değerleri saldırganın bilgisi dahilinde değildir.

Gagnaniello ve arkadaşları (2019), derin öğrenme modelleri üzerinde tahminleme aşamasında yeni bir kaçınma saldırı çeşidi tasarlamışlardır [47]. Bu çalışmada, kaçınma saldırılarından kara kutu saldırısına odaklanılmıştır. Eğitilmiş model üzerinde saldırı yapılırken kullanılan görsel istenen sınıflandırmaya erişinceye kadar tekrarlanarak değiştirilir. Ancak, yapılan değişikliklerin görseldeki sapmaların kalitesi üzerindeki etkisi sınırlandırılmıştır. Ayrıca, tahminleme aşamasındaki etkisinin yüksek olduğu görseller düşük gradyan kısmında olacak şekilde sınırlandırılmıştır. Bunun sonucunda, kalitesi yüksek olan kötücül örnek girdiler oldukça hızlı şekilde oluşturulmuştur.

Li ve arkadaşları (2019), Vanilya Derin Sinir Ağları ve çeşitli saldırıdan korunma yöntemleri ile elde edilmiş modeller için kaçınma saldırısı tasarlamıştır [48]. Hedeflenen bir sinir ağına herhangi "optimum" bir kötücül örnek atamak yerine ilk olarak girdi örneklerinin merkezindeki ufak bir bölgede olasılık yoğunluk dağılımı bulunur. Böylece, sinir ağları ile elde edilen modelin içerisindeki katmanları ve öğrenilmiş ağırlık ve bias değerleri korunmuş olur. Bu şekilde geliştirilen yöntemler üzerinde yapılan testler sonucunda birçok test örneği için en gelişmiş kaçınma saldırı türünden daha yüksek performans elde edilmiştir.

B. SALDIRI KORUNMA TEKNİKLERİ

Bu bölümde, derin öğrenme temelli modellerin kötücül saldırı türlerine karşılık korunması için literatürde yer alan çeşitli çalışmalar incelenmiştir.

Steinhardt ve arkadaşları (2017), modelin eğitimi sırasında gerçekleştirilen zehirlenme saldırılarından korunmak amacıyla çeşitli yöntemler tasarlamıştır [49]. İkili sınıflandırma sırasında pozitif ve negatif

sınıflandırıcıların orta noktası bulunup orta noktadan uzakta olan örnekler eğitim kümesinden kaldırılır. Orta noktaların elde edilmesi iki şekilde yapılmıştır. Birincisi, literatürde küre korunma metodu olarak geçmektedir. Kürenin yarıçapından dışarıda kalan örneklerin kaldırılması yaklaşımıdır. İkinci yöntem ise tabaka savunması metodu olarak bilinmektedir. Buna göre bir çizgiden uzakta olan noktaların eğitim kümesinden çıkarılması yaklaşımı takip edilir.

Paudice ve arkadaşları (2018), zehirlenme saldırılarına karşı etkili bir savunma yöntemi tasarlamışlardır [50]. Saldırı yapan taraf, saldırdığı taraf (savunucu) üzerinde büyük etkili zehirlenme saldırısı yapmayı hedeflemektedir. Saldırının etkisini azaltmak amacıyla güvenilir veri kümesi olan D, pozitif D+ ve negatif D- olmak üzere farklı sınıflara ayrılır. Aykırı saptama yöntemi ile gerçek veri kümesinde yer alan her bir örnek için aykırı puan hesaplanır. Her örnek için elde edilmiş aykırı puanı ölçme için Destek Vektör Makinesi'ni kullanmanın en etkili yol olduğu savunulmuştur. Eğitim örnekleri üzerinde toplamsal dağılım fonksiyonu ile aykırı değerlerin tespitindeki eşik değeri hesaplanır. Elde edilen ters örnekler gerçekteki noktalarından uzaktadır. Bu ters örneklerin eğitim kümesinden kaldırılmasıyla yeni veri kümeleri elde edilir. Savunucu yeni elde edilen verileri kullanarak modelini eğitir. Bu çalışmada, bu şekilde elde edilen ters örneklerin etkin bir şekilde tespit edildiği ve filtrelediği görülmektedir.

Tramer ve arkadaşları (2017), farklı modellerden üretilen kötücül örneklerin kullanılmasıyla eğitimdeki örnek sayısını artırarak kaçınma saldırılarından olan kara kutu saldırılarına karşı etkili olan bir korunma yöntemi tasarlamışlardır [51]. Bunun sonucunda, veri kümesinde yer alan kötücül örnek türlerinin sayısı arttırılmıştır. Inception v3 ve Inception ResNet v2 öğrenmenin aktarımı modellerinin ImageNet verisini eğiterek diğer modellerden aktarılan kötücül örneklere karşı modelin dayanıklılığın arttırılarak kaçınma saldırılarından korunmaya yönelik daha etkin modeller elde edilmiştir.

Buckman ve arkadaşları (2018), Termometre Kodlayıcı olarak adlandırdıkları sinir ağı modelleri üzerinde yapılan değişiklikler ile ağın olumsuz örneklere karşı dayanıklılığını önemli miktarda artıran bir yöntem tasarlamıştır [52]. Termometre kodlayıcısı One-Hot Kodlamanın çalışma mekanizmasına benzer olup büyüklüğü kodlamanın başka bir yoludur. Ayrıca, Termometre Kodlayıcı yöntemi ile sinir ağı modellerinin saldırılara karşı dayanıklılığını artırıp zayıflığını azaltabileceği savunulmuştur. MNIST, CIFAR-10/100 ve SVHN veri kümeleri üzerinde kötücül örneklere karşı dayanıklılığı değerlendirme üzere çeşitli deneyler uygulanmıştır. Eğitim sırasında değil ancak tahminleme sırasında uygulanabilen beyaz kutu saldırısı olarak doğruluk MNIST'de %94,30 ve CIFAR-10'da %79,16 civarında olup en yüksek doğruluğa ulaştığı görülmektedir.

VI. AÇIK PROBLEMLER

Derin öğrenme ile geliştirilen modeller üzerine güvenliği ve gizlilik riskini azaltmak için literatürdeki yöntemlerden homomorfik şifreleme yüksek bir başarı skorlarına ulaşsa da derin modeller için bu yöntem uygun değildir. Bunun nedeni, derin modeller için homomorfik şifreleme ile hesaplama karmaşıklığı oldukça yüksektir. Daha yüksek hesaplama karmaşıklığı modeller üzerinde daha yavaş performans elde edilmesi ile sonuçlanmaktadır. Bundan dolayı, sinir ağının polinomlarla mümkün olduğu en düşük dereceye sahip olması oldukça önemlidir.

Homomorfik şifrelemenin yanı sıra derin öğrenme modellerinde gizliliği korumak amacıyla diferansiyel mahremiyetin modeller üzerinde uygulandığı çalışmalar mevcuttur. Bu da gradyan değerlerine ve/veya amaç fonksiyonlarına gürültü değerlerinin eklenmesi ile sağlanmaktadır. Böylece, modelin gizlilik sınırları çizilmesi amaçlanır. Ancak, bu çizilen sınırların verilerin gizliliğini korumak için ne derece yeterli olduğu bilinmemektedir. Oluşturulan derin öğrenme temelli modellerin ne denli güvenli ve saldırılara karşı dayanıklı olduğunu belirleyebilmek için çeşitli ölçütlere ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekteki araştırma yönlerinden biri olarak bu ölçütlerin oluşturulması ve değerlendirme yöntemleri üzerinde çalışılması gösterilebilir.

Derin öğrenme modelleri üzerinde gerçekleştirilen zehirlenme saldırılarını önlemek için literatürde yer alan yaklaşımlar, şüpheli kötücül örnekleri veri kümesinden kaldırmak veya bu örneklerin tekrar etiketlenmesi yaklaşımı kullanmaktadır [50]. Fakat, veri kümesindeki bazı örneklerin (noktaların) ortadan kaldırılması veya tekrar etiketlenmesi, modelin karar sınırı üzerinde önemli miktarda değişiklik gösterebilir. Sonuç olarak modelin elde edilen başarı performansının değişmesi veya modeli diğer zehirlenme saldırılarına karşı zayıf hale getirebilir. Modelin gizliliği ve güvenliğini belirlemek için farklı deney ve değerlendirme metodlarına gereksinim bulunmaktadır.

VII. SONUÇ

Son dönemdeki derin öğrenmenin çeşitli alanlarda getirdiği gelişmeler ile devrim niteliğinde olabilecek çalışmalar yapılmakta ve beklenti gün geçtikçe artmaktadır. Derin öğrenmenin en yaygın kullanıldığı alanlar konuşma tanıma, ses tanıma, doğal dil işleme, görüntü işleme vs. gösterilebilir. Derin öğrenme yöntemleri kullanılarak çeşitli modeller eğitilerek tahmin değerleri üretilir. Bu veriler hastane, banka veri tabanları gibi kişilerin hassas verilerinden oluşabilmektedir. Bu verilerin derin öğrenme modellerinde kullanılması veri sahipleri için güvenlik ve gizlilik riskleri doğurmaktadır.

Bu çalışmada, derin öğrenme veya sinir ağı modellerinde kullanılan verilerin gizliliğini ve güvenliğini artırmak için uygulanan araçlar verilmiştir. Bu araçlar, kriptografik temelli homomorfik şifreleme, garbled devreler, güvenli çok partili hesaplama ve diferansiyel mahremiyettir. Ayrıca, literatürde bu kriptografik araçlar kullanılarak veri güvenliği ve gizliliğini artırmak amacıyla oluşturulan derin öğrenme temelli mimariler incelenmiş, bu araçların modeller üzerinde hangi aşamada ve nasıl uygulandığına dair bilgiler verilmiştir. Literatürde yer alan derin öğrenme temelli modellerin üzerinde çeşitli saldırı tekniklerinin uygulandığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, derin öğrenme modellerine uygulanan güncel literatürde yer alan saldırı ve korunma yöntem ve çeşitleri verilmiştir. Derin öğrenme modelleri üzerindeki gizlilik ve güvenliği artırmaya yönelik yaklaşımlar için karmaşıklığın azaltılması; modelin güvenilir ve dayanıklı olup olmadığını belirlemek için değerlendirme kriterlerinin geliştirilmesi gelecekteki araştırma yönlerinden biri olarak ifade edilebilir.

VIII. KAYNAKLAR

- [1] Y. Kim, “Convolutional neural networks for sentence classification,” *Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, Proceedings of the Conference*, 2014, ss.1746–1751.
- [2] O. Ronneberger, P. Fischer ve T. Brox, “U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation,” *International Conference on Medical Image Computing And Computer-Assisted Intervention*, 2015, ss. 234-241.
- [3] P. Pan, Z. Xu, Y. Yang, F. Wu ve Y. Zhuang, “Hierarchical recurrent neural encoder for video representation with application to captioning,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, ss. 1029-1038.
- [4] G. Parascandolo, H. Huttunen, ve T. Virtanen, “Recurrent neural networks for polyphonic sound event detection in real life recordings,” *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings*, 2016, ss. 6440-6444.
- [5] Z. Cai, Q. Fan, R. S. Feris, ve N. Vasconcelos, “A unified multi-scale deep convolutional neural network for fast object detection,” *n European conference on computer vision*, 2016, ss. 354-370.

- [6] S. E. Kahou, V. Michalski, K. Konda, R. Memisevic, ve C. Pal, “Recurrent neural networks for emotion recognition in video”, *Proceedings of the 2015 ACM International Conference on Multimodal Interaction*, 2015, ss. 467-474.
- [7] T. Hughes ve K. Mierle, “Recurrent neural networks for voice activity detection”, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2013, ss. 7378-7382.
- [8] B. Alipanahi, A. Delong, M. T. Weirauch ve B. J. Frey, “Predicting the sequence specificities of DNA- and RNA-binding proteins by deep learning,” *Nature Biotechnology*, c. 33, s. 8, ss. 831-838, 2015.
- [9] R. Xu, D. C. Wunsch ve R. L. Frank, “Inference of genetic regulatory networks with recurrent neural network models using particle swarm optimization,” *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, c. 4, s. 4, ss. 681-692, 2007.
- [10] M. Auli, M. Galley, C. Quirk, ve G. Zweig, “Joint language and translation modeling with recurrent neural networks” *Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2013, ss.1044-1054.
- [11] S. Lai, L. Xu, K. Liu ve J. Zhao, “Recurrent convolutional neural networks for text classification,” *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, c. 29, s. 1, ss. 2267–2273, 2015.
- [12] S. Hochreiter ve J. Schmidhuber, “Long Short-Term Memory,” *Neural Computation*, c. 9, s. 8, ss. 1735-1780, 1997.
- [13] I. J. Goodfellow, J.P. Abadie, M. Mirza, B. Xu, D.W.Farley, S. Ozair, A. Courville ve Y. Bengio., “Generative adversarial nets,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2014, ss. 2672– 2680.
- [14] Y. Choi, M. Choi, M. Kim, J. W. Ha, S. Kim, ve J. Choo, “StarGAN: Unified Generative Adversarial Networks for Multi-domain Image-to-Image Translation,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, ss. 8789-8797.
- [15] A. Ghosh, V. Kulharia, V. Nambodiri, P. H. S. Torr, ve P. K. Dokania, “Multi-agent Diverse Generative Adversarial Networks,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, ss. 8513-8521.
- [16] A. Gupta, J. Johnson, L. Fei-Fei, S. Savarese, ve A. Alahi, “Social GAN: Socially Acceptable Trajectories with Generative Adversarial Networks,” *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2018, ss. 2255-2264.
- [17] F. Lau, T. Hendriks, J. Lieman-Sifry, B. Norman, S. Sall, ve D. Golden, “ScarGAN: Chained generative adversarial networks to simulate pathological tissue on cardiovascular MR scans,” *Deep Learning In Medical Image Analysis And Multimodal Learning For Clinical Decision Support*, ss. 343-350, 2018.
- [18] A. Beers, J. Brown, K. Chang, J. P. Campbell, S. Ostmo, M. F. Chiang ve J. Kalpathy-Cramer, “High-resolution medical image synthesis using progressively grown generative adversarial networks,” *arXiv: 1805.03144*, 2018.
- [19] M. O. Rabin, “How to exchange secrets with oblivious transfer”, *IACR Cryptol. ePrint Arch.*, c. 2005, s. 187, 2005.
- [20] F. Bruekers, S. Katzenbeisser, K. Kursawe, ve P. Tuyls, “Privacy-Preserving Matching of DNA Profiles.,” *IACR Cryptol. ePrint Arch.*, c. 2008, s. 203, 2008.

- [21] A. C. C. Yao, "How to Generate and Exchange Secrets.," *Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, 1986, ss. 162-167.
- [22] V. Kolesnikov, A. R. Sadeghi, ve T. Schneider, "Improved garbled circuit building blocks and applications to auctions and computing minima.," *International Conference on Cryptology and Network Security*, Berlin, Heidelberg, 2009, ss. 1-20.
- [23] S. Jarecki ve V. Shmatikov, "Efficient two-party secure computation on committed inputs," *Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques*, Berlin, Heidelberg, 2007, ss. 97-114.
- [24] A. C. Yao, "Protocols for secure computations", *23rd Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, 1982, ss. 160-164.
- [25] R. Shokri ve V. Shmatikov, "Privacy-preserving deep learning," *Proceedings of the 22nd ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 2015, ss. 1310-1321.
- [26] M. Chase, R. Gilad-Bachrach, K. Laine, K. Lauter ve P. Rindal, "Private collaborative neural network learning," *IACR Cryptol. ePrint Arch.*, c. 2017, s. 762, 2017.
- [27] M. Gong, J. Feng ve Y. Xie, "Privacy-enhanced multi-party deep learning," *Neural Networks*, c. 121, ss. 484-496, 2020.
- [28] Y. Lindell, "Secure multiparty computation for privacy preserving data mining," *Encyclopedia of Data Warehousing and Mining*, ss. 1005-1009, 2011.
- [29] M. Ben-Or, S. Goldwasser ve A. Wigderson, "Completeness theorems for non-cryptographic fault-tolerant distributed computation," *Proceedings of the Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, ss. 351-371, 1988.
- [30] C. Dwork, "Differential privacy: A survey of results," *International conference on theory and applications of models of computation*, Berlin, Heidelberg, 2006, ss. 1-19.
- [31] M. Abadi, A. Chu, I. Goodfellow, H. B. McMahan, I. Mironov, K. Talwar ve L. Zhang "Deep learning with differential privacy," *Proceedings of SIGSAC conference on computer and communications security*, ss. 308-318, 2016.
- [32] C. Dwork, K. Talwar, A. Thakurta ve L. Zhang, "Analyze Gauss: Optimal bounds for privacy-preserving principal component analysis," *Proceedings of the forty-sixth annual ACM symposium on Theory of computing*, ss. 11-20, 2014.
- [33] B. K. Beaulieu-Jones, Z. S. Wu, C. Williams, R. Lee, S. P. Bhavnani, J. B. Byrd ve C. S. Greene, "Privacy-preserving generative deep neural networks support clinical data sharing," *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes*, c. 12, s. 7, 2019.
- [34] K. Chaudhuri, C. Monteleoni, ve A. D. Sarwate, "Differentially private empirical risk minimization," *Journal of Machine Learning Research*, c. 12, s. 3, 2011.
- [35] C. Boura, N. Gama, M. Georgieva, ve D. Jetchev, "Simulating homomorphic evaluation of deep learning predictions", *International Symposium on Cyber Security Cryptography and Machine Learning*, Cham, 2019, ss. 212-230.
- [36] K. Nandakumar, N. Ratha, S. Pankanti, ve S. Halevi, "Towards deep neural network training on encrypted data," *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2019.


- [37] A. Tran, T. Luong, J. Karnjana ve V. Huynh, “Neurocomputing An efficient approach for privacy preserving decentralized deep learning models based on secure multi-party computation,” *Neurocomputing*, c. 422, ss. 245-262, 2021.
- [38] D. Syed ve S. S. Refaat, “Privacy Preservation of Data-Driven Models in Smart Grids Using Homomorphic Encryption”, *Information*, c. 11, s. 7, ss. 1–17, 2020.
- [39] B. D. Rouhani, M. S. Riazi ve F. Koushanfar, “DeepSecure: Scalable provably-secure deep learning,” *Proceedings of the 55th Annual Design Automation Conference*, 2018, ss. 1-6.
- [40] N. Dowlin, R. Gilad-Bachrach, K. Laine, K. Lauter, M. Naehrig ve J. Wernsing, “Cryptonets: Applying neural networks to encrypted data with high throughput and accuracy,” *33rd International Conference on Machine Learning, ICML*, 2016, ss. 201-210.
- [41] P. Xie, B. Wu ve G. Sun, “Bayhenn: Combining Bayesian deep learning and homomorphic encryption for secure DNN inference,” *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2019.
- [42] M. S. Riazi, M. Samragh, H. Chen, K. Laine, K. Lauter ve F. Koushanfar, “XONN: XNOR-based oblivious deep neural network inference,” *28th {USENIX} Security Symposium ({USENIX} Security 19)*, 2019, ss. 1501-1518.
- [43] K. Bittner, M. De Cock ve R. Dowsley, “Private Speech Characterization with Secure Multiparty Computation,” *arXiv:2007.00253*, ss. 1–40, 2020.
- [44] C. Orlandi, A. Piva ve M. Barni “Oblivious neural network computing via homomorphic encryption”, *EURASIP Journal on Information Security*, ss. 1-11, 2007.
- [45] A. Shafahi, W.R. Huang, M. Najibi, O. Suci, C. Studer, T. Dumitras ve T. Goldstein, “Poison frogs! Targeted clean-label poisoning attacks on neural networks,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2018.
- [46] S. Baluja ve I. Fischer, “Adversarial transformation networks: Learning to generate adversarial examples,” *arXiv: 1703.09387*, 2017.
- [47] D. Gragnaniello, F. Marra, G. Poggi ve L. Verdoliva, “Perceptual quality-preserving black-box attack against deep learning image classifiers,” *arXiv: 1902.07776*, 2019.
- [48] Y. Li, L. Li, L. Wang, T. Zhang ve B. Gong, “N Attack: Learning the distributions of adversarial examples for an improved black-box attack on deep neural networks,” *36th International Conference on Machine Learning*, 2019, ss. 3866-3876.
- [49] J. Steinhardt, P. W. Koh ve P. Liang, “Certified defenses for data poisoning attacks” *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2017.
- [50] A. Paudice, L. Muñoz-González, A. György ve E. C. Lupu, “Detection of adversarial training examples in poisoning attacks through anomaly detection,” *arXiv: 1802.03041*, 2018.
- [51] F. Tramèr, A. Kurakin, N. Papernot, I. Goodfellow, D. Boneh ve P. McDaniel, “Ensemble adversarial training: Attacks and defenses,” *arXiv: 1705.07204*, 2017.
- [52] J. Buckman, A. Roy, C. Raffel ve I. Goodfellow, “Thermometer encoding: One hot way to resist adversarial examples,” *6th International Conference on Learning Representations*, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Polimerik Linoleik Asit İçeren Graft Kopolimerlerin Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu ve Kondenzasyon Reaksiyonu ile Sentezi ve Karakterizasyonu

 Sema ALLI ^{a,*}

^a Kimya Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: semaalli@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.912503

ÖZ

Bu çalışmada, NPLina₁-g-PCL-g-PSt üç bloklu graft kopolimerler Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu (ATRP) ve kondenzasyon reaksiyonu kullanılarak bir basamakta tek kap (one-pot) yöntemiyle sentezlendi. Polimerik linoleik asit dietanolaminle reaksiyona sokularak hidroksillenmiş linoleik asit polimerleri (NPLina₁, NPLina₂ ve NPLina₃) elde edilmiştir. ε-Kaprolakton'nun (ε-CL) kalay (II) 2-etilheksanoat katalizörü varlığında 110 °C'de halka açılma polimerizasyonu ile poli(ε-kaprolakton) (PCL) sentezlenip, ardından 2-bromopropionil bromür ile esterleşmesi sonucu bromlanmış poli(ε-kaprolakton) (PCL-Br) makro başlatıcısı hazırlandı. Tek kap yöntemiyle, stiren (St) monomerinin PCL-Br makro başlatıcısıyla CuCl/PMDETA sistemi varlığında [I]:[CuCl]:[PMDETA] = 1:1:3 mol oranları kullanılarak, 110 °C'de toluen içinde ATRP'si ile NPLina₁'nin kondenzasyon reaksiyonu aynı anda gerçekleştirildi. Böylece, kontrollü molekül ağırlıklarına ve orta derecede dar polidispersitelere sahip graft kopolimerler elde edildi. Tek basamakta gerçekleşen polimerizasyon üzerine monomer konsantrasyonu, başlatıcı konsantrasyonu ve polimerizasyon süresi gibi temel parametreler incelendi. Elde edilen polimerler, proton nükleer manyetik rezonans (¹H NMR), fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ve jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) teknikleri kullanılarak karakterize edildi.

Anahtar Kelimeler: Linoleik asit, Otoksidasyon, Hidroksilasyon, Kondenzasyon reaksiyonu, Atom transfer radikal polimerizasyonu.

Synthesis and Characterization of Graft Copolymers Containing Polymeric Linoleic Acid by Atom Transfer Radical Polymerization and Condensation Reaction

ABSTRACT

In this study, NPLina₁-g-PCL-g-PSt tri-block graft copolymers were synthesized by one-pot method using Atom Transfer Radical Polymerization (ATRP) and condensation reaction in one step. Hydroxylated polymers of linoleic acid (NPLina₁, NPLina₂ ve NPLina₃) were obtained by reacting polymeric linoleic acid synthesized with amine diethanolamine. Bromine ended poly(ε-caprolactone) (PCL-Br) as macroinitiator was prepared via ROP of ε-caprolactone (ε-CL) in the existence of tin(II) 2 ethylhexanoate at 110 °C followed by esterification with 2-bromopropionyl bromide. With the one-pot method, the simultaneously ATRP of Styrene (St) and as condensation polymerization of NPLina₁ was performed out by using the PCL-Br macroinitiator and CuCl/PMDETA system in the existence in toluene at 110 °C with [I]:[CuCl]:[PMDETA]=1:1:3. Thus, the graft copolymers with controlled molecular weights and moderately narrow polydispersities were obtained. The

impacts of the main parameters were investigated on one-step polymerization such as monomer concentration, initiator concentration, and polymerization time. Polymers obtained were characterized using proton nuclear magnetic resonance (¹H NMR), fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and gel permeation chromatography, (GPC) techniques.

Keywords: *Linoleic acid, Autooxidation, Hydroxylation, Condensation reaction, Atom transfer radical polymerization*

I. GİRİŞ

Çevresel sorunlar ve sınırlı petrol kaynakları, polimer bilim insanlarını kimya ve plastik endüstrileri için yenilenebilir kaynakları kullanmaya yönlendirmiştir. Bitkisel yağlar, yenilenebilir yapıları ve nispeten düşük fiyatları nedeniyle kimya ve plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1–4]. Son zamanlarda çeşitli bitkisel yağ esaslı polimer malzemeler geliştirilmiştir [3,5,6]. Bitkisel yağ esaslı polimerleri sentezlemek için yeni polimerizasyon yöntemleri kullanılmıştır [7,8]. Bu nedenle bitkisel yağlar üzerine yapılan çalışmalar bu yağların yeni monomerler ve polimerler geliştirmek için hammadde olarak kullanılması amacıyla birçok araştırmacının çalışma konusu olmuştur [9–12]. Yağ esaslı polimerler, bitki tohumlarından elde edilen yağların (trigliserit) karbon-karbon çift bağları, allilik karbon grupları ve ester grupları kimyasal olarak modifiye edilerek hazırlanmaktadır [13,14]. Yağ/yağ asitleri, güneş ışığı altında havaya maruz bırakılarak otokside yağ/yağ asiti polimerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu yağ/yağ asidi polimerleri birçok vinil monomerleri ile herhangi bir başlatıcı kullanmadan kısmen biyobozunur polimerlerin sentezinde kullanılmıştır [15–19]. Örneğin, polimerik linoleik asit peroksit (PLina) kullanılarak halka açılma polimerizasyonu ve serbest radikal polimerizasyonu tek basamakta (one pot) gerçekleştirilerek graft kopolimerler sentezlenmiştir [20]. Ayrıca, polimerik linoleik asit içeren graft kopolimerler, 2,2-6,6-tetrametilpiperidinil-1-oksi (TEMPO) varlığında nitroksit aracılı radikal polimerizasyon (NMRP) yöntemi ile de sentezlenmiştir [21]. Otokside soya yağı polimeri dietanolamin ile reaksiyona sokularak suda çözünebilir soya yağı polimerleri elde edilmiştir [22]. Hidroksile soya yağı polimeri N-izopropilakrilamidin (NIPAM) redoks polimerizasyonu ile sıcaklığa duyarlı graft kopolimerleri elde edilmiştir [23].

Günümüzde doğal içerikli polimerik malzemelerin sentezlenmesi oldukça önemlidir. Bu sebeple sentetik polimerlerin yerini biyobozunur polimerler almaya başlamıştır. Bu amaca yönelik önerilen sistemler; sentetik biyopolimerler, doğal biyopolimerler, sentetik/biyopolimer malzemelerdir. Bu malzeme uygulamaları için en çok çalışılan nişasta, polilaktik asit (PLA), poli (bütilen süksinat) (PBS), polihidroksibütirat (PHB) ve polikaprolakton (PCL) gibi alifatik poliesterlerdir [24]. Özellikle nişasta, soya yağı ve polilaktik asitten (PLA) geliştirilen biyomalzemelerin bariyer ve mekanik özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir [25–27]. PLA, PGA ve PCL, lakton monomerlerinin, 170°C’de, azot atmosferinde, dibütül kalay oksit (Bu₂SnO) katalizörü varlığında gerçekleşen, halka açılma polimerizasyonu ile sentezlenmektedirler [28]. ε-Kaprolakton, çok sayıda farklı monomerle de (etilen oksit, stiren, metil metakrilat, vinil asetat vb.) kopolimerleştirilebilmektedir [29–32].

Hidroksil grupları ya da aminlerin karboksilik asitler ya da türevleri arasındaki kondenzasyon reaksiyonları, sırasıyla polyeşterler ve poliamidler elde etmek için polimerlerin sentezinde sıklıkla kullanılmaktadır [33-35]. Kondenzasyon reaksiyonları, anyonik halka açılma polimerizasyonu veya atom transfer radikal polimerizasyonun kombinasyonu olarak birçok kopolimerlerin sentezinde kullanılmıştır [36,37]. Amfifilik polimerlerin sentezi, anyonik polimerizasyon, halka açılma polimerizasyonu, atom transfer radikal polimerizasyonu ve klik reaksiyonları ile zincir boyu iyi belirlenmiş olarak elde edilmektedir. Birçok amfifilik poli(kaprolakton), poli(glikolik asit), poli(laktik asit) ve kopolimerleri anyonik halka açılma ile atom transfer radikal polimerizasyon yöntemlerinin beraber kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir [38–40]. Atom transfer radikal polimerizasyonu, bütün zincirlerin eş zamanlı olarak büyümesine izin veren, uyuyan ve aktif kısımlar arasındaki dinamik dengeye dayanan bir yöntemdir. Çoğunlukla yığın (bulk) ve susuz ortamda uygulanmaktadır ve

fonksiyonel gruplara belirgin bir biçimde tolerans göstermektedir. Atom transfer radikal polimerizasyonunun avantajı; katalizör kompleksi ve başlatıcının üzerinde büyük ölçüde seçim serbestliği sağlamasıdır [41].

Bu çalışmada, biyobozunur graft kopolimerlerin sentezi için hidroksillenmiş polimerik linoleik asit, vinil monomeri stiren ve biyobozunur monomer ϵ -kaprolakton kullanarak biyobozunur graft kopolimerler elde edilmiştir. Bu sentezlenen graft kopolimerler için atom transfer radikal polimerizasyonu (ATRP) ve kondenzasyon reaksiyonu yöntemleri kullanarak polimerizasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu graft kopolimerlerin yapısal karakterizasyonları araştırılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

A. MALZEMELER VE CİHAZLAR

A.1. Kullanılan Malzemeler

Linoleik asit (Lina, cis-cis-9-12-oktadekadienoik asit) Fluka (Steinheim, Almanya) firmasından alınmıştır. ϵ -Kapolakton (ϵ -CL, Aldrich, % 97), Sigma-Aldrich firmasından alınmıştır. Vakumda destilleme işleminde orta fraksiyonu ayrılıp kullanılmıştır. Stiren (St,% 99, inhibitör olarak 250 ppm 4-tert-butilkatekol (TBC) içerir), kullanımdan önce TBC inhibitörünü çıkarmak için bazik alümina kolonundan geçirilmiştir. Sigma-Aldrich firmasından alınmıştır. Kalay (II) 2-etil heksanoat ($\text{Sn}(\text{Oct})_2$, trietilamin (TEA), Pentametildietilentriamin (PMDETA), CuCl , 2-bromopropionil bromür ve dietanolamin Sigma-Aldrich'ten temin edildi. CuCl (% 98) gece boyunca asetik asit içinde karıştırılarak saflaştırıldı. Tüm diğer çözücüler Aldrich'ten temin edildi. Polimerik linoleik asit (PLina), daha önce bildirildiği gibi linoleik asidin otooksidasyonu yoluyla elde edildi [15-17]. PLina'nın $^1\text{H-NMR}$ spektrumu (δ , ppm): 5.6–6.3 ppm'de yağ asidi makroperoksitlerinin vinil protonlarını, 2.3 ppm'de yağ asidi makroperoksitlerinin metilen protonlarını ($-\text{CH}_2-\text{COOH}$) ve 0.9 ppm'de metil protonlarına ait karakteristik piklerini içermektedir. PLina'nın peroksit tayini literatürde bildirilen bir prosedüre göre yapılmıştır [15-17]. PLina numunesinin peroksit içeriği yaklaşık 1.10 olarak bulundu.

A.2. Kullanılan Cihazlar

Elde edilen polimerlerin GPC analizleri için Düzce Üniversitesi Kimya Bölümü Polimer Araştırma Laboratuvarındaki EcoSEC HLC-8320 GPC sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde THF, 40 °C'de 0.6 mL/dak'lık bir akış hızında, UV (254 nm), RI detektörü ve poli (stiren) standartları (1.26 kDa, 4.92 kDa, 9.92 kDa, 30.3 kDa, 60.45 kDa, 170.8 kDa ve 299.4 kDa) kullanıldı. Graft kopolimerlerin ^1H NMR spektrumları Giresun Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde ki (GRÜMLAB) Bruker Avance III 400 MHz NMR cihazı ile elde edilmiş ve ölçümlerde çözücü olarak CDCl_3 'den yararlanılmıştır. Bu çalışmada fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizleri için, IR Prestige 21 model FTIR ve Shimadzu FTIR Spektrometre 100 kullanılarak FTIR ve FTIR (zayıflatılmış toplam yansıma spektroskopisi) spektrumları toplanmıştır. Dalga boyu genişliği 600-4000 cm^{-1} aralığında alınmıştır.

B. DENEYSEL YÖNTEM

B.1. Polimerik Yağ Asitinin Hidroksilasyon Reaksiyonu

Polimerik yağ asitinin hidroksilasyon reaksiyonu, dietanolamin ile cam bir balon içerisinde 90 °C'de 24 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Hidroksillenmiş yağ asiti oluşturmak için 5 g yağ asiti ve 5 mL dietanolamin 150 mL cam bir balon içerisine konularak 90 °C bir yağ banyosunda bir gün süren reaksiyonla gerçekleştirildi. Elde edilen ürün 20 mL aseton eklenerek çözüldü, süzüldü ve 100 mL

petrol eterinde çöktürüldü. Hidroksillenmiş yağ asiti bir gün boyunca vakum etüvünde oda sıcaklığında kurutuldu.

B.2. PCL-Br Makro Başlatıcının Hazırlanması

Şilenk tüpüne argon gazı ortamında kalay (II) 2-etil hekzanoat katalizörü ilave edildi. Üzerine ϵ -kaprolakton monomeri eklendi. Karışım yağ banyosuna yerleştirilerek 110 °C sıcaklık ve 1 saat'te polimerizasyonun gerçekleşmesi sağlandı. Elde edilen polimer karışımı tetrahidrafuran (THF) da çözülüp petrol eterinden çöktürülerek saflaştırıldı. Elde edilen poli(ϵ -kaprolakton) (PCL) vakum altında kurutuldu ve tartıldı % 85 verimle elde edildi. 25.2 g (3.50 mmol) PCL 30 mL diklora metan (CH_2Cl_2) içinde 0.42 g (4.2 mmol) trietilamin TEA 250 mL balon içerisinde manyetik karıştırıcı kullanılarak 0 °C de buz banyosuna yerleştirildi. Üzerine 0.42 g (4.2 mmol) 2-bromopropiyonil bromür ve 30 mL diklorometan (CH_2Cl_2) 0 °C ve 1 saat boyunca damla damla ilave edildi. Bu karışım bir gün boyunca oda sıcaklığında karıştırıldı. Bir gün karıştıktan sonra saflaştırma işlemi yapıldı. PCL-Br makro başlatıcı sabit ağırlığa ulaşmıca kadar vakum altında kurutuldu.

B.3. Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu ile PCL-b-PSt Blok Kopolimerinin Sentezi

Atom transfer radikal polimerizasyonu $[\text{M}_0]:[\text{I}_0]:[\text{CuCl}]:[\text{PMDETA}]:[50]:[1]:[1]:[3]$ mol oranlarına göre hesaplanmıştır. 0.50 g PCL-Br, 0.002 g CuCl magnet ile beraber iyice kurutulmuş bir şilenk tüp içerisine kondu. Şilenk tüpünün havası vakumla alındı. 1.39 g stiren, 2.0 mL toluen ve 0.014 mL PMDETA argon gazı altında bu şilenk tüpüne ilave edildi. Şilenk tüpü 80 °C lik bir yağ banyosuna yerleştirildi. Polimerizasyon 5 saatte gerçekleştirildi. Elde edilen polimer karışımı kloroform (CHCl_3)'da çözülerek metanolde çöktürüldü. Elde edilen graft kopolimer 40 °C'lik vakum etüvünde 24 saat süreyle kurumaya bırakıldı.

B.4. Kondenzasyon Reaksiyonu ile NPLina₁-g-PCL-Br Graft Kopolimerinin Sentezi

2.00 g poli(kaprolakton-Br) (PCL-Br) 1.00 g hidroksillenmiş polimerik linoleik asit başlatıcı (NPLina₁) iyice kurutulmuş bir şilenk tüp içerisine koyuldu. Şilenk tüpünün havası vakumla alındı. Daha sonra, 2 mL toluen, argon gazı altında bu şilenk tüpüne ilave edildi. Şilenk tüpü 110 °C'lik bir yağ banyosuna yerleştirildi. Polimerizasyon 18 saatte gerçekleştirildi. Elde edilen polimer karışımı kloroform (CHCl_3)'da çözülerek metanolde çöktürüldü. Elde edilen graft kopolimer 40 °C'lik vakum etüvünde 24 saat süreyle kurumaya bırakıldı.

B.5. Atom Transfer Radikal Polimerizasyon ve Kondenzasyon Reaksiyonu ile NPLina₁-g-PCL-g-PSt Graft Kopolimerlerinin Sentezi

1.00 g poli(kaprolakton-Br) (PCL-Br), 0.50 g hidroksillenmiş polimerik linoleik asit (NPLina₁) ve 0.0132 g CuCl magnet ile beraber iyice kurutulmuş bir şilenk tüp içerisine koyuldu. Şilenk tüpünün havası vakumla alındı. Daha sonra, 2 mL toluen, 2.08 g stiren (St) ve 0.0126 mL PMDETA argon gazı altında şilenk tüpüne ilave edildi. Şilenk tüpü 110 °C'lik bir yağ banyosuna yerleştirildi. Polimerizasyon 18 saatte gerçekleştirildi. Elde edilen polimer karışımı kloroform (CHCl_3)'da çözülerek metanolde çöktürüldü. Elde edilen graft kopolimer 40 °C'lik vakum etüvünde 24 saat süreyle kurumaya bırakıldı.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

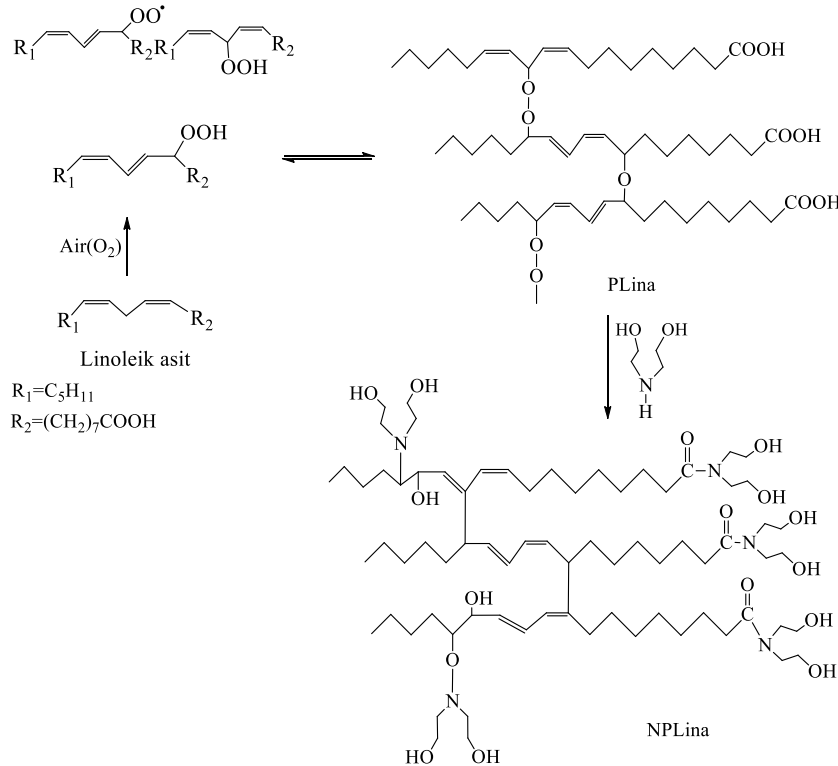
A. POLİMERİK LİNOLEİK ASİTİN KARAKTERİZASYONU

A.1. Polimerik Linoleik Asitin Hidroksilasyon Reaksiyonu

Bu çalışmada belirli miktardaki yağ asiti havanın oksijeni ile otookside edilerek polimerik otookside yağ asiti elde edilmiştir. Elde edilen polimerik linoleik yağ asiti farklı oranlarda dietanolaminle reaksiyona sokularak hidroksillenmiş polimerik linoleik asitler elde edilmiştir. Hidroksillenmiş yağ asitleri ¹H NMR, GPC, FTIR ve Elementel analiz teknikleri kullanılarak karakterize edilmiştir. Dietanolamin kullanılarak otookside edilmiş yağ asiti polimerlerinin hidroksillenme reaksiyon koşulları ve karakterizasyonları Tablo 1’de verilmiştir. Hidroksillenmiş polimerik linoleik asitlerin ortalama molekül ağırlıkları (Mn) ve molekül ağırlığı dağılımları (PDI) sırasıyla NPLina₁: 810 (Mn) Da (PDI: 1.10), NPLina₂: 790 (Mn) Da (PDI: 1.16) ve NPLina₃: 770 (Mn) Da (PDI: 1.12) geçirgenlik kromatografisi (GPC)’den belirlenmiştir. Polimerik linoleik asitin dietanol amin ile reaksiyonundan peroksit ve epoksit grubları açılarak polimerik linoleik asitin hidroksillenmesi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Dietanolamin kullanılarak otookside edilmiş polimerik linoleik asidin hidroksillenme koşulları ve karakterizasyonları

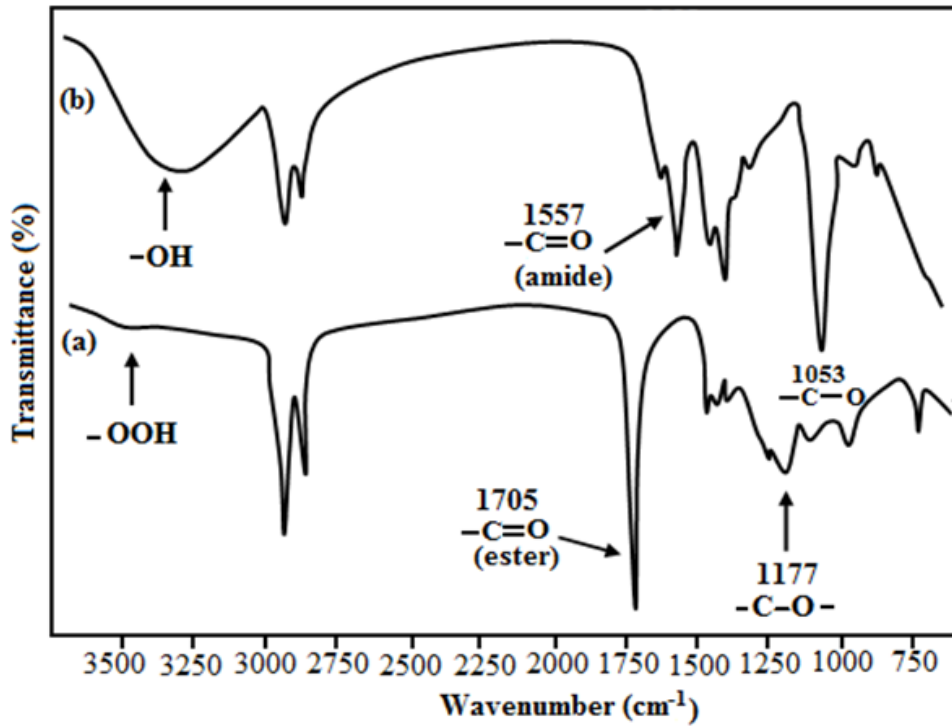
No	PLina (g)	DEA (g)	Dönüşüm (wt %)	M _{n,SEC} (kDa)	M _{w,SEC} (kDa)	PDI	Elm. Analiz, (wt %)			
							C	H	N	O
PLina	5.0	-	99.50	1.87	2.80	1.49	37.12	7.04	-	55.84
NPLina ₁	5.0	5.0	43.43	0.81	0.89	1.10	63.93	10.97	6.37	18.73
NPLina ₂	5.0	10.0	27.30	0.79	0.92	1.16	55.56	11.05	7.54	25.85
NPLina ₃	10.0	5.0	65.30	0.77	0.86	1.12	57.10	10.38	3.67	28.85



Şekil 1. Hidroksillenmiş polimerik linoleik asitin temsili reaksiyon şeması.

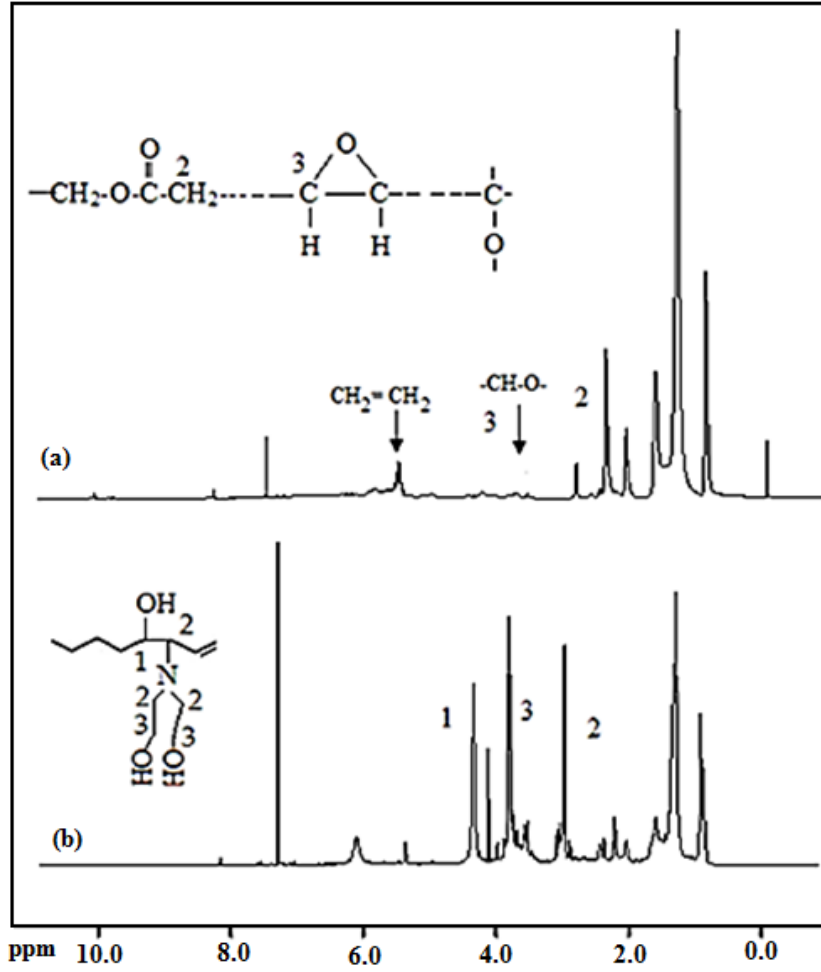
Şekil 1 linoleik asit'in otooksidasyon ve hidroksilasyon reaksiyonlarının temsili kimyasal yapısını göstermektedir. Epoksit grubu bir hidroksil parçasına dönüştürüldüğünde, dietanolamin linoleik asit polimerine bağlanır. Ayrıca dietanolaminin peroksit gruplarıyla reaksiyonu da hidroksil grupları üretir. Bu durumda, reaksiyon sırasında bir alkoksi amin indüklenir ve daha sonra bir alkol ve bir schiff bazına ayrışma eğilimi gösterir.

Linoleik asit polimerlerinin fonksiyonel grupları ilk olarak FTIR spektroskopi tekniği ile doğrulandı. Otookside linoleik asit'in FTIR spektrumu, işlevselleştirilmiş linoleik asit polimeri ile karşılaştırmak için Şekil 2'de karakteristik pikleri birlikte gösterilmektedir. Şekil 2 (a)'daki otooksitlenmiş linoleik asit polimerinin FTIR spektrumuna göre, 3454 cm^{-1} 'de hidroperoksit gruplarına, 1705 cm^{-1} 'deki ester grublarına bağlı karbonil ($-\text{C}=\text{O}$), 1177 cm^{-1} 'de $-\text{C}-\text{O}$ gruplarına ve 810 cm^{-1} 'de epoksit gruplarına ait absorpsiyon bantları görülmektedir. Şekil 2 (b)'de ise dietanolamin kullanılarak hidroksillenmiş linoleik asit polimerinin FTIR spektrumunda, 3300 cm^{-1} 'de alkol gruplarına, 1557 cm^{-1} 'de amid gruplarına bağlı karbonil ($-\text{C}=\text{O}$) ve 1053 cm^{-1} 'de $-\text{C}-\text{O}$ gruplarına ait yeni absorpsiyon bantları oluşurken, 1705 cm^{-1} 'deki ester karbonil bandı ve 1177 cm^{-1} 'deki orijinal $-\text{C}-\text{O}$ bantları kaybolmuştur.



Şekil 2. (a) Polimerik linoleik asit (PLina) ve (b) hidroksillenmiş linoleik asit (NPLina₁) polimerinin FTIR spektrumları.

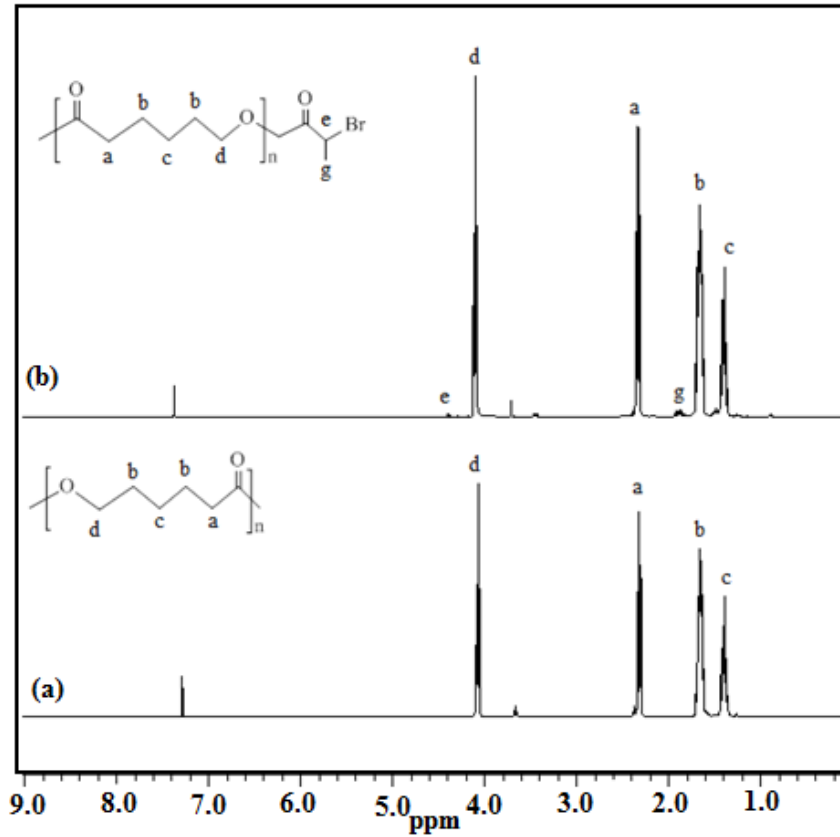
Otookside linoleik asit ve hidroksillenmiş linoleik asidin ¹HNMR spektrumu Şekil 3'de görülmektedir. Otooksidasyonla oluşmuş polidoymamış yağ asiterinin $-\text{CH}-\text{O}-$ gruplarına ait protonlar 3.4-3.8 ppm'de, vinil protonları 5.6-6.3 ppm'de, $-\text{CH}_2-\text{COOH}$ gruplarına ait protonlar 2.3 ppm'de görülmektedir. Hidroksillenmiş yağ asidi polimerinde dietanolamine bağlı ($-\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$) metilen gruplarına ait protonlar 2.7 ppm'de, ($-\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$) hidroksil gruplarına bağlı metilen gruplarının protonları 3.5-3.8 ppm'de ve yağ asidi polimer zincirindeki ($\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}-$) gruplarına ait protonlar 4.1 ppm'de oluşması polimerik linoleik asit'in dietanolamin ile reaksiyonunun gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 3. (a) Polimerik linoleik asit (PLina) ve (b) hidrosillenmiş linoleik asit (NPLina₁) polimerinin ¹H-NMR spekturumları.

B. PCL-Br MAKRO BAŞLATICI'NIN KARAKTERİZASYONU

ϵ -Kapolakton, kalay (II) 2-etil heksanoat varlığında halka açılma polimerizasyonu yöntemi ile 1 saat'te 3310 Da molekül ağırlığında (Mn) (PDI=1.67), % 85 verimle poli(ϵ -kapolakton) (PCL) elde edilmiştir. Elde edilen PCL, 2-bromopropanoil bromür ile esterleşme reaksiyonundan 3740 Da molekül ağırlığında (Mn) (PDI=1.74) brom ile sonlandırılmış poli(ϵ -kapolakton) (PCL-Br) makro ATRP başlatıcısı sentezlenmiştir. Makro başlatıcı PCL-Br ve PCL'nun ¹H-NMR spekturumları Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 4 (a)'daki PCL'nun ¹H-NMR spekturumuna göre 4.05 ppm'de (-CH₂-O) metilen protonları, 2.35-2.27 ppm'de (-CH₂-C=O) karbonil grubuna bağlı metilen protonlarını ve PCL'nin diğer tekrar eden metilen protonları 1.67-1.57 ve 1.40-1.38 ppm'de görülmektedir. Şekil 4 (b)'de ise PCL-Br ait ¹H-NMR spekturumunda, 2-bromopropionil bromür ile PCL'nin reaksiyonu sonucu 4.41-4.38 ppm'de -CH-Br protonlarına ait yeni pik ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4. (a) PCL ve (b) Makro başlatıcı PCL-Br ¹H NMR spektrumu.

C. GRAFT KOPOLİMERLERİN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU

NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimeri 110 °C'de PCL-Br makro başlatıcı, St'nin ATRP'si ve NPLina₁ kondenzasyon reaksiyonu ile sentezlendi. Bu yöntemde, PCL-Br'nin -COOH grubu NPLina₁'in -OH grubu ile kondenzasyon reaksiyonu ve PCL-Br'nin -Br grubunun da stiren ile atom transfer radikal polimerizasyonu vermesiyle gerçekleşmektedir. PCL-Br makro başlatıcı kullanılarak, PCL-b-PSt blok kopolimeri St'nin ATRP 80 °C'de sentezlendi. NPLina₁-g-PCL graft kopolimeri ise PCL-Br makro başlatıcı'nın NPLina₁'in 110 °C'de kondenzasyon reaksiyonuyla sentezlendi. NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimer üzerine monomerin konsantrasyonu, başlatıcı konsantrasyonu ve polimerizasyon süresi dikkate alınarak incelenmiştir. Elde edilen graft kopolimerlerin yapısı ¹H NMR ve FTIR teknikleri kullanılarak ve molekül ağırlıkları GPC yöntemiyle karakterize edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2, 3, 4 ve 5'te verilmiştir.

Tablo 2'de, NPLina₁ miktarının artırılmasının NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerizasyonu üzerine etkisi ve ayrıca NPLina₁-g-PCL ve PCL-b-PSt kopolimerlerin reaksiyon koşulları ve sonuçları verilmiştir. Yalnızca kondenzasyon reaksiyonu kullanılarak elde edilen NPLina₁-g-PCL (PCLNPLina₁) graft kopolimerin molekül ağırlığı (Mn) 8720 Da iken, atom transfer polimerizasyonu ile elde edilen PCL-b-PSt (PCLPSt) blok kopolimerin molekül ağırlığı (Mn) 8920 Da olmaktadır. Kondenzasyon reaksiyonu ve atom transfer polimerizasyonu ile tek basamakta (one-pot) gerçekleştirilen NPLina₁-g-PSt-g-PCL graft kopolimerlerin molekül ağırlıkları, ilave edilen NPLina₁'nin miktarının artmasıyla artmaktadır. PCLStNPLina₁-1 graft kopolimerin molekül ağırlığı (Mn) 71590 Da iken PCLStNPLina₁-3 graft kopolimerin molekül ağırlığı (Mn) 94200 Da olmaktadır.

Tablo 2. PCL-Br, NPLina₁ ve stiren'nin 110 °C ve 18 saatte sentezlenen NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimer üzerine NPLina₁ miktarının etkisi.

No	PCL-Br (g)	NPLina ₁ (g)	St (g)	Dönüşüm (wt%)	NPLina* (wt%)	PSt* (wt%)	PCL* (wt%)	Mn _{SEC} kDa	PDI
PCLNPLina ₁	2.00	1.00	-	75.00	12.47	-	87.53	8.72	1.48
PCLSt ^a	0.50	-	1.39	20.63	-	9.42	90.58	8.92	1.38
PCLStNPLina ₁ -1	1.00	0.50	2.08	56.14	4.76	48.12	47.12	71.59	1.55
PCLStNPLina ₁ -2	1.00	1.00	2.08	44.36	4.92	52.07	43.01	81.15	2.37
PCLStNPLina ₁ -3	1.00	2.00	2.08	31.50	5.45	58.26	36.29	94.20	2.35

^a¹H NMR'dan hesaplandı. [I₀]:[CuCl]:[PMDTA]=[1]:[1]:[3]. ^aPCL-Br'nin stiren ile 80 °C'de 5 saatte ATRP'si

Tablo 3'de, PCL-Br makro başlatıcı miktarının artırılmasının NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerizasyonu üzerine etkisi gösterilmektedir. NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerlerin molekül ağırlıkları (Mn) ve molekül ağırlığı dağılımları (PDI) da Tablo 3'de verilmiştir. Artan PCL-Br makro başlatıcı miktarı, graft kopolimerlerin molekül ağırlığında beklenen bir düşüşle sonuçlandı. Bu NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerlerin molekül ağırlıkları (Mn) 74050 Da'dan 60520 Da'na düşmüştür. Bu durum şöyle açıklanabilir; reaksiyon karışımına daha fazla makro başlatıcı PCL-Br'nin eklenmesi, daha fazla aktif merkezlerin üretilmesiyle sonuçlanır ve makro başlatıcı sayısı arttıkça, graft kopolimerlerin molekül ağırlığı azalır, bu da elde edilen blok kopolimerlerin daha kısa PSt ve NPLina₁ zincirleri ile sonuçlanır. Literatürde benzer durumlar bildirilmiştir [20,41–43].

Tablo 3. PCL-Br, NPLina₁ ve stiren'nin 110 °C ve 18 saatte sentezlenen NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimer üzerine PCL-Br miktarının etkisi. NPLina₁: 0.50 g, Sty: 2.08 g

No	PCL-Br (g)	Dönüşüm (wt %)	NPLina ₁ * (wt %)	PSt* (wt %)	PCL* (wt %)	Mn _{SEC} kDa	Mw _{SEC} kDa	PDI
NPLina ₁ StPCL-1	0.50	50.65	5.79	62.97	31.23	74.05	119.85	1.62
NPLina ₁ StPCL-2	1.00	56.14	3.54	50.07	46.38	71.59	110.74	1.55
NPLina ₁ StPCL-3	2.00	66.10	4.03	36.00	59.97	66.38	101.00	1.52
NPLina ₁ StPCL-4	3.00	70.54	3.41	24.31	72.27	60.52	80.81	1.33

^a¹H NMR'dan hesaplandı. [I₀]:[CuCl]:[PMDTA]=[1]:[1]:[3]

Tablo 4'de, NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimer üzerine stiren miktarının etkisi gösterilmektedir. Stiren miktarı arttıkça, NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimer dönüşümü ve molekül ağırlığı beklenildiği gibi artmıştır. Graft kopolimer yapısındaki her bloğun ağırlık yüzdesini hesaplamak için ¹H-NMR kullanıldı. ¹H-NMR spektrumundan graft kopolimerlerin yapısında bulunan NPLina₁ PSt ve PCL içerikleri NPLina₁'nin metil protonlarının 0.9 ppm'de, PSt'nin fenil protonlarının 6.5-7.2 ppm'de ve PCL'nin metilen protonlarının 4.0 ppm'deki pik alanlarının hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Eklenen stiren miktarına göre, graft kopolimerdeki polistiren (PSt) yüzdesi artmıştır. PSt miktarının yüzdesi sırasıyla NPLina₁PCLSt-1'de % 33.53, NPLina₁PCLSt-2'de % 48.12, NPLina₁PCLSt-3'de % 66.44, NPLina₁PCLSt-4'de % 76.47 ve NPLina₁PCLSt-5'de % 89.73 olarak bulunmuştur. Başlangıçta eklenen stiren miktarı arttıkça NPLina₁-g-PCL-g-PSt üç bloklu graft kopolimerlerin % polimer dönüşümü de giderek artmaktadır. Stiren oranı 1.39 g iken % polimer dönüşümü % 37.02; 2.08 g iken % 56.14; 2.78 g iken % 57.48; 5.84 g iken % 82.40 olarak elde edilmiştir. NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerlerin molekül ağırlıkları da ilave edilen stiren miktarının artmasıyla artmaktadır. NPLina₁PCLSt-1 graft kopolimerin molekül ağırlığı (Mn) 59840 Da iken NPLina₁PCLSt-5 graft kopolimerin molekül ağırlığı (Mw) 145000 Da olmaktadır.

Tablo 4. PCL-Br, NPLina₁ ve stiren'in 110 °C ve 18 saatte sentezlenen NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimer üzerine Stiren miktarının etkisi. NPLina₁: 0.50 g, PCL-Br: 1.00 g.

No	St (g)	Dönüşüm (wt %)	NPLina* (wt %)	PSt* (wt %)	PCL* (wt %)	Mn _{SEC} kDa	Mw _{SEC} kDa	PDI
NPLina ₁ PCLSt-1	2.08	56.14	3.54	50.07	46.38	71.59	110.74	1.55
NPLina ₁ PCLSt-2	2.78	57.48	2.40	77.99	19.61	92.93	244.64	2.63
NPLina ₁ PCLSt-3	4.19	66.40	3.76	84.55	11.69	131.27	332.61	2.53
NPLina ₁ PCLSt-4	5.59	82.40	2.43	86.97	10.59	145.00	316.63	2.18

*¹H NMR'dan hesaplandı. [M₀]:[I₀]:[CuCl]:[PMDTA]=[75/100/150/200]:[1]:[1]:[3]

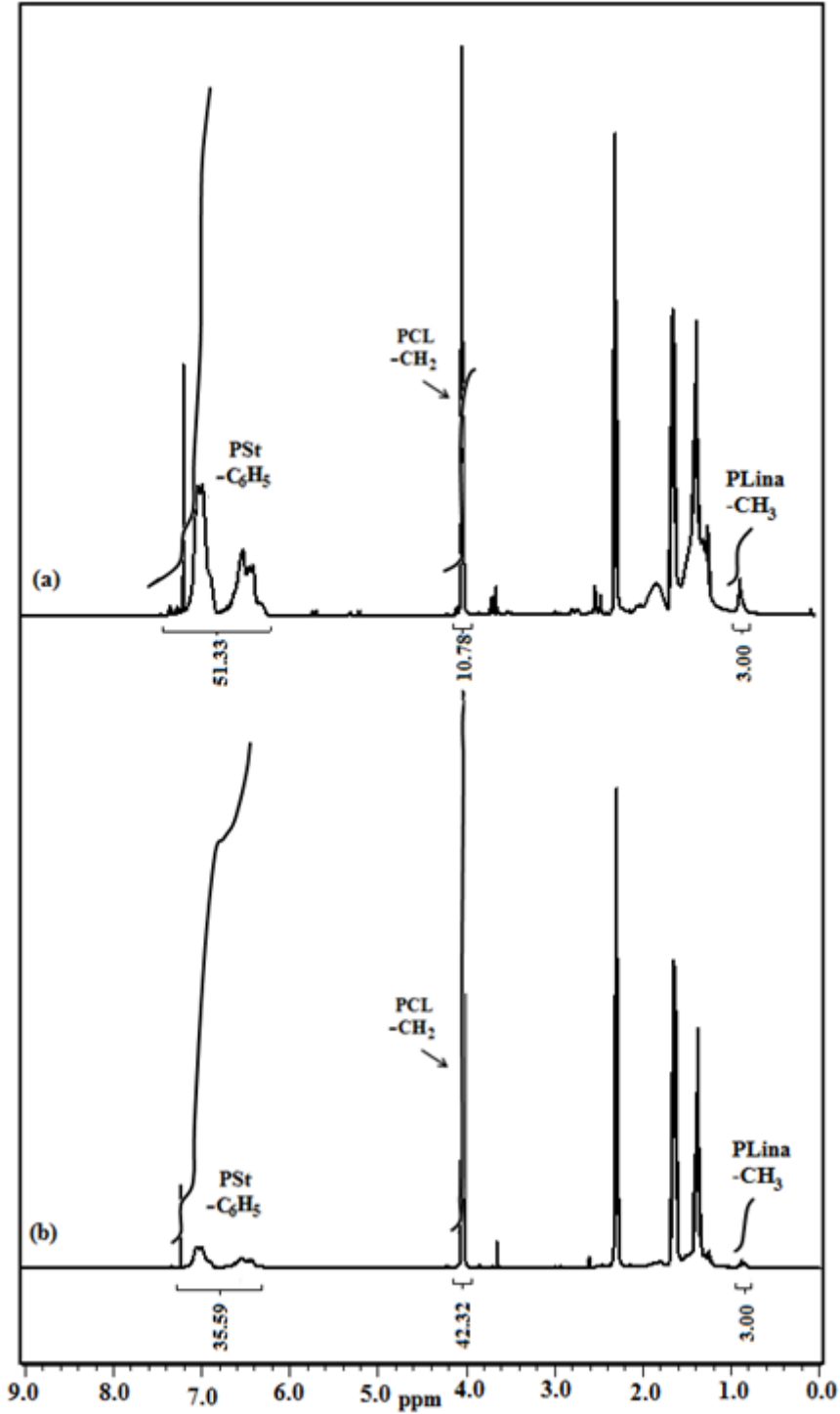
Polimerizasyon süresinin kopolimerizasyon üzerindeki etkisi, aynı anda gerçekleştirilen kondenzasyon reaksiyonu ve atom transfer radikal polimerizasyon teknikleri kullanılarak araştırılmıştır. Tablo 5'te polimerizasyon süresinin tek basamakta (one-pot) gerçekleştirilen graft polimerizasyonu üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Daha yüksek molekül ağırlıklı polimerlere daha uzun süren polimerizasyon sonrası ulaşılmaktadır. NPLina-g-PCL-g-PSty graft kopolimerlerin molekül ağırlıkları, reaksiyon süresinin artmasıyla artmaktadır. 1 saat sonundaki NPLina₁PCLSt-T₁ graft kopolimerin molekül ağırlığı (Mn) 9590 Da iken 24 saat sonundaki NPLina₁PCLSt-T₆ graft kopolimerin molekül ağırlığı (Mw) 125090 Da olmaktadır. NPLina₁PCLSt-T serisi graft kopolimerlerin zamana karşı polimer dönüşümü de incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; zamanla polimer dönüşümü artmaktadır. 1 saatte % 27.10 dönüşüm gerçekleşirken 24 saatin sonunda % 69.63 polimer dönüşümü elde edilmiştir. NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerlerin molekül ağırlık değerleri GPC ile belirlendi. NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerlerin polidispersite değerleri (PDI) GPC verilerine göre 1.35-2.63 arasındadır. Polimerizasyon birden fazla çoğalan çekirdek tarafından başlatıldığından, graft kopolimerlerin polidispersite değerleri beklenenden nispeten daha yüksektir [20, 42–43]. Tüm polimerlerin GPC eğrileri tek modludur ve NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerlerin molekül ağırlık değerleri PCL-Br'den çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5. PCL-Br, NPLina₁ ve stiren 'nin 110 °C ve 18 saatte sentezlenen NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimer üzerine polimerizasyon zamanının etkisi.

No	PCL-Br (g)	NPLina (g)	St (g)	Zaman (saat)	Dönüşüm (wt %)	Mn _{SEC} kDa	Mw _{SEC} kDa	PDI
NPLina ₁ PCLSt-T ₁	1.00	0.50	2.78	1	27.10	9.59	12.95	1.35
NPLina ₁ PCLSt-T ₂	1.00	0.50	2.78	3	29.91	10.93	13.77	1.26
NPLina ₁ PCLSt-T ₃	1.00	0.50	2.78	5	38.32	84.24	217.72	2.58
NPLina ₁ PCLSt-T ₄	1.00	0.50	2.78	8	50.00	90.25	232.34	2.63
NPLina ₁ PCLSt-T ₅	1.00	0.50	2.78	18	57.48	92.93	244.64	2.63
NPLina ₁ PCLSt-T ₆	1.00	0.50	2.78	24	69.63	125.09	306.71	2.45

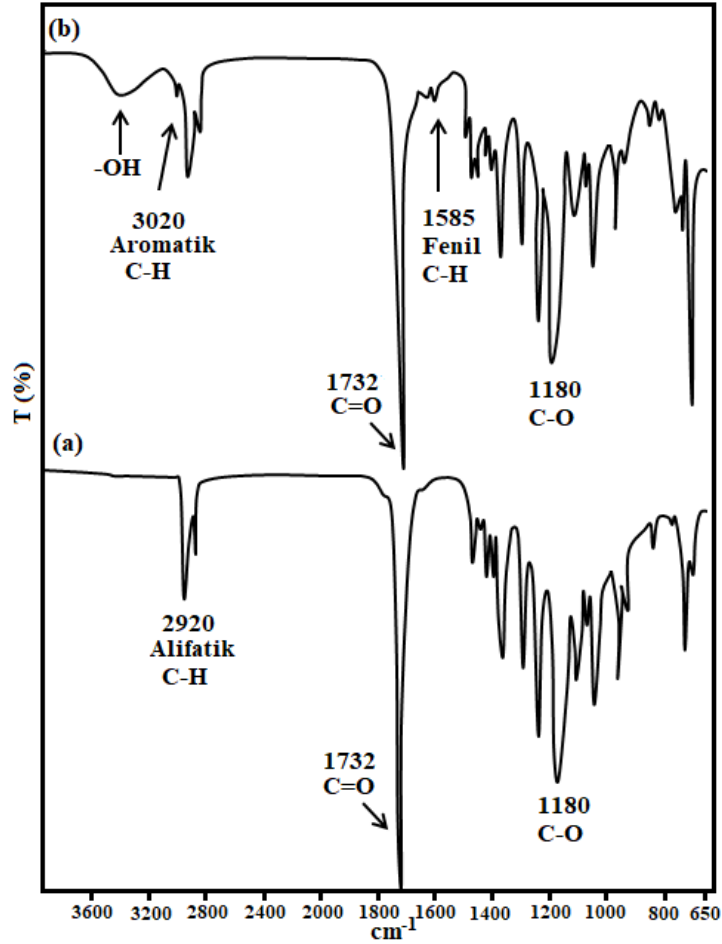
[M₀]:[I₀]:[CuCl]:[PMDTA]=[200]:[1]:[1]:[1]:[3]

Şekil 5'de, NPLina₁-g-PCL-g-PSt (NPLina₁StPCL-1 ve NPLina₁StPCL-4) graft kopolimerlerinin ¹H NMR spektrumları görülmektedir. Spektrumlar üzerinde PCL'ya ait karakteristik pik 4.0 ppm'lerde; 0.9 ppm de NPLina₁'ya ait pik ve 6.5-7.2 ppm de ise PSt ait pikler belirgin bir şekilde görülmektedir. NPLina₁StPCL-4'de bulunan PCL miktarının NPLina₁StPCL-1'den daha fazla olduğu ¹H NMR spekturumu ve integral hesaplamasından belirgin bir şekilde anlaşılmaktadır.



Şekil 5. (a) $NPLina_1StPCL-1$ ve (b) $NPLina_1StPCL-4$ graft kopolimerlerinin 1H NMR spektrumları.

Şekil 6'da, PCL-Br makro başlatıcının ve $NPLina_1-g-PCL-g-PSt$ ($NPLina_1StPCL-4$) graft kopolimerinin FTIR spektrumları verilmiştir. Şekil 6 (a) PCL-Br'nin FTIR spektrumuna göre, ester grubuna ait ($C=O$) karbonil piki 1732 cm^{-1} 'de, eter grubuna ait pik 1180 cm^{-1} 'de ve alifatik $-C-H$ gruplarına ait pik 2920 cm^{-1} 'de görülmektedir. $NPLina_1-g-PCL-g-PSt$ ($NPLina_1StPCL-4$) graft kopolimerine ait ester karbonil grubunun ($C=O$ gerilme) 1732 cm^{-1} 'de yoğun absorpsiyon bantları, PSt ait absorpsiyon bantları 3020 cm^{-1} 'de (aromatik $-CH$ gerilme), 1600 cm^{-1} (fenil $-C-H$ gerilme), 1180 cm^{-1} ($C-O-C$; bağ germe) ve $NPLina_1$ 'ya ait absorpsiyon bantları $3600-3200\text{ cm}^{-1}$ 'de ($-OH$ gerilme) görülmektedir (Şekil 6 (b)). Bu bulgular, $NPLina_1$ ve PSt zincirinin sentezlenen kopolimerde mevcut olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. (a) PCL-Br ve (b) NPLina₁StPCL-4 graft kopolimerinin FTIR spektrumları.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, linoleik asitin (Lina) otooksidasyonu ile polimerik linoleik asit (PLina) elde edilmiştir. PLina'nın dietanolaminle reaksiyonu sonucu hidroksillenmiş linoleik asit polimerleri (NPLina₁, NPLina₂ ve NPLina₃) elde edilmiştir. ε-Kaprolakton, kalay (II) 2-etil heksanoat varlığında halka açılma polimerizasyonu ile poli(ε-kaprolakton) (PCL) elde edilmiştir. Elde edilen PCL, 2-bromopropanoil bromür ile esterleşme reaksiyonundan brom ile sonlandırılmış poli(ε-kaprolakton) (PCL-Br) makro ATRP başlatıcısı sentezlenmiştir. PCL-Br'nin stiren monomeri ile atom transfer radikal polimerizasyonu (ATRP) kullanılarak iki bloklu PCL-b-PSt blok kopolimeri ve PCL-Br'nin NPLina₁ ile kondenzasyon reaksiyonu sonucu NPLina₁-g-PCL graft kopolimeri de elde edilmiştir. Aynı zamanda, ATRP ve kondenzasyon reaksiyonu bir arada kullanarak NPLina₁-g-PCL-g-PSt graft kopolimerleri sentezlenmiştir. Bu kopolimerlerin sentezi için; NPLina₁, PCL-Br ve stiren (St) monomeri kullanılarak üç bloklu graft kopolimerler tek basamakta sentezlenmiştir. Polimerizasyon süresi, başlatıcı konsantrasyonu ve monomer konsantrasyonu gibi temel parametreler incelenmiştir. Elde edilen graft kopolimerler, oldukça yüksek polimer dönüşümüne ve yüksek molekül ağırlığına sahiptir. Önerilen yöntem, graft/blok kopolimerleri hazırlamak için basit ve etkilidir. Ayrıca, PCL'nun graft kopolimerleri, ilaç dağıtım sistemlerinde ve doku mühendisliğindeki tıbbi uygulamalar için çok önemlidir. Bu tip graft kopolimerlerin tek basamakta (one-pot) gerçekleştirilen sentezi için kullanılan polimerik linoleik asit, biyobozunur polyesterlere dayalı graft kopolimerlerin sentezi için de önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2019.07.06.1021 ve 2020.07.06.1058).

V. KAYNAKLAR

- [1] U. Biermann, U. Bornscheuer, M. A. R. Meier, J. O. Metzger, and H. J. Schäfer, "Oils and fats as renewable raw materials in chemistry," *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 50, no. 17, pp. 3854–3871, 2011,
- [2] J. O. Metzger, "Fats and oils as renewable feedstock for chemistry," *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, vol. 111, no. 9, pp. 865–876, 2009.
- [3] S. Miao, P. Wang, Z. Su, and S. Zhang, "Vegetable-oil-based polymers as future polymeric biomaterials," *Acta Biomater.*, vol. 10, no. 4, pp. 1692–1704, 2014.
- [4] V. Mittal, "Polymers from Renewable Resources," *Renew. Polym. Synth. Process. Technol.*, pp. 1–22, 2011.
- [5] M. Galià, L. M. de Espinosa, J. C. Ronda, G. Lligadas, and V. Cádiz, "Vegetable oil-based thermosetting polymers," *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, vol. 112, no. 1, pp. 87–96, 2010.
- [6] Y. Xia and R. C. Larock, "Vegetable oil-based polymeric materials: Synthesis, properties, and applications," *Green Chem.*, vol. 12, no. 11, pp. 1893–1909, 2010.
- [7] P. H. Henna and R. C. Larock, "Rubbery thermosets by ring-opening metathesis polymerization of a functionalized castor oil and cyclooctene," *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 292, no. 12, pp. 1201–1209, 2007.
- [8] Y. Xia, Y. Lu, and R. C. Larock, "Ring-opening metathesis polymerization (ROMP) of norbornenyl-functionalized fatty alcohols," *Polymer*, vol. 51, no. 1, pp. 53–61, 2010.
- [9] A. Köckritz and A. Martin, "Oxidation of unsaturated fatty acid derivatives and vegetable oils," *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, vol. 110, no. 9, pp. 812–824, 2008.
- [10] F. Seniha Güner, Y. Yağci, and A. Tuncer Erciyes, "Polymers from triglyceride oils," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 31, no. 7, pp. 633–670, 2006.
- [11] G. Lligadas, J. C. Ronda, M. Galià, and V. Cádiz, "Renewable polymeric materials from vegetable oils: A perspective," *Mater. Today*, vol. 16, no. 9, pp. 337–343, 2013.
- [12] M. A. R. Meier, J. O. Metzger, and U. S. Schubert, "Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 36, no. 11, pp. 1788–1802, 2007.
- [13] F. Li and R. C. Larock, "Synthesis, structure and properties of new tung oil-Styrene-Divinylbenzene copolymers prepared by thermal polymerization," *Biomacromolecules*, vol. 4, no. 4, pp. 1018–1025, 2003.
- [14] S. N. Khot, J. J. Lascala, E. Can, S. S. Morye, G. I. Williams, G. R. Palmese, S. H. Küsefoğlu, and R. P. Wool, "Development and application of triglyceride-based polymers and composites," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 82, no. 3, pp. 703–723, 2001.
- [15] A. Alli and B. Hazer, "Synthesis and characterization of poly(N-isopropyl acryl amide)-g-poly(linoleic acid)/poly(linolenic acid) graft copolymers," *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 88, no. 2, pp. 255–263, 2011.
- [16] S. Allı, P. Geçit, M. Gürel ve A. Allı, "Halka Açılma Polimerizasyonuyla Poli(linoleik asit)-g-Poli(ϵ -kaprolakton) ve Poli(linolenik asit)-g-Poli(ϵ -kaprolakton) Graft Kopolimerlerin Sentezi ve

Karakterizasyonu,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 4, ss. 1010–1027, 2018.

[17] S. Allı, P. Geçit, M. Gürel ve A. Allı, “One-pot Polimerleşme Yöntemiyle Poli(linoleik asit)-g-Poli(Nisopropilakrilamid)-g-Poli(D,L-laktid) Graft Kopolimerlerin Sentezi ve Karakterizasyonu,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 4, ss. 1321–1334, 2018.

[18] B. Çakmaklı, B. Hazer, I. Ö. Tekin, and F. B. Cömert, “Synthesis and characterization of polymeric soybean oil-g-methyl methacrylate (and n-butyl methacrylate) graft copolymers: Biocompatibility and bacterial adhesion,” *Biomacromolecules*, vol. 6, no. 3, pp. 1750–1758, 2005.

[19] A. Allı, Y. Arı, and M. Gökçen, “Novel Poly(linolenic acid) Graft Copolymers: Synthesis, Characterization and Electrical Properties,” *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 93, no. 7, pp. 895–904, 2016.

[20] A. Allı, S. Allı, C. R. Becer, and B. Hazer, “One-pot synthesis of poly(linoleic acid)-g-poly(styrene)-g-poly(ϵ -caprolactone) graft copolymers,” *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 91, no. 5, pp. 849–858, 2014.

[21] A. Allı, S. Allı, C. R. Becer, and B. Hazer, “Nitroxide-mediated copolymerization of styrene and pentafluorostyrene initiated by polymeric linoleic acid,” *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, vol. 118, no. 2, pp. 279–287, 2016.

[22] M. Acar, S. Çoban, and B. Hazer, “Novel water soluble Soya oil polymer from oxidized Soya oil polymer and diethanol amine,” *J. Macromol. Sci. Part A Pure Appl. Chem.*, vol. 50, no. 3, pp. 287–296, 2013.

[23] A. Allı, T. Şanal, and B. Hazer, “Redox polymerization of N-isopropylacrylamide by using hydroxylated soya oil polymer,” *Turkish J. Chem.*, vol. 39, no. 2, pp. 382–394, 2015.

[24] M. Vert, “Aliphatic polyesters: Great degradable polymers that cannot do everything,” *Biomacromolecules*, vol. 6, no. 2, pp. 538–546, 2005.

[25] J. Muller, C. González-Martínez, and A. Chiralt, “Combination of Poly(lactic) Acid and Starch for Biodegradable Food Packaging,” *Materials*, vol. 10, no. 8, p. 952, 2017.

[26] R. Turco, R. O. Toro, R. Tesser, S. Mallardo, S. C. Bigliardi, A. C. Boix, M. Malinconico, M. Rippa, M. D. Serio, and G. Santagata, “Poly (Lactic Acid)/Thermoplastic Starch Films: Effect of Cardoon Seed Epoxidized Oil on Their Chemicophysical, Mechanical, and Barrier Properties,” *Coatings*, vol. 9, no. 9, p. 574, 2019.

[27] L. Yu, K. Dean, and L. Li, “Polymer blends and composites from renewable resources,” *Progress in Polymer Science*, vol. 31, no. 6, pp. 576–602, 2006.

[28] C. Z. Qizhi Chen and G. A. Thouas, “Progress and challenges in biomaterials used for bone tissue engineering: bioactive glasses and elastomeric composites,” *Prog. Biomater.*, pp. 1–23, 2012.

[29] C. W. Wang, L. Chao, X. W. Zhu, Z. Y. Yang, H. F. Sun, D. L. Kong and J. Yang, “Synthesis of well-defined star-shaped poly(ϵ -caprolactone)/poly(ethylbene glycol) amphiphilic conetworks by combination of ring opening polymerization and ‘click’ chemistry,” *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.*, vol. 54, no. 3, pp. 407–417, 2016.

[30] X. He, L. Liang, M. Xie, Y. Zhang, S. Lin, and D. Yan, “Synthesis of novel linear PEO-b-PS-b-PCL triblock copolymers by the combination of ATRP, ROP, and a click reaction,” *Macromol. Chem. Phys.*, vol. 208, no. 16, pp. 1797–1802, 2007.




- [31] T. Öztürk and E. Meyvacı, "Synthesis and characterization poly(ϵ -caprolactone-b-ethylene glycol-b- ϵ -caprolactone) ABA type block copolymers via 'Click' chemistry and ring-opening polymerization," *J. Macromol. Sci. Part A Pure Appl. Chem.*, vol. 54, no. 9, pp. 575–581, 2017.
- [32] C. F. Huang *et al.*, "Synthesis of well-defined PCL-b-PnBA-b-PMMA ABC-type triblock copolymers: toward the construction of nanostructures in epoxy thermosets," *Polym. Chem.*, vol. 9, no. 48, pp. 5644–5654, 2018.
- [33] E. Ö. Hasanoğlu, N. K. Yetim, D. Nartop, and N. Sarı, "Ensuring traceability of organophosphate pesticides (OPs) through enzyme immobilized spheres," *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 18, pp.1749–1759, 2021.
- [34] D. Nartop, E. Ö. Hasanoğlu, N. K. Yetim, and N. Sarı, "Qualitative enzymatic detection of organophosphate and carbamate insecticides," *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, vol. 55, no. 11, pp. 951–958, 2020.
- [35] D. Nartop, N. K. Yetim, E. Ö. Hasanoğlu, and N. Sarı, "Enzyme immobilization on polymeric microspheres containing Schiff base for detection of organophosphate and carbamate insecticides," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1200, no.1, pp. 127039, 2020.
- [36] N. Ajioka, Y. Suzuki, A. Yokoyama, and T. Yokozawa, "Synthesis of well-defined polystyrene-b-aromatic polyether using an orthogonal initiator for atom transfer radical polymerization and chain-growth condensation polymerization," *Macromolecules*, vol. 40, no. 15, pp. 5294–5300, 2007.
- [37] C. F. Huang, Y. Akihiro, and Y. Tsutomu, "Synthesis of polybenzamide-b-polystyrene block copolymer via combination of chain-growth condensation polymerization and atom transfer radical Polymerization," *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.*, vol. 48, no. 13, pp. 2948–2954, 2010.
- [38] L. Mespouille, O. Coulembier, D. Paneva, P. Degée, I. Rashkov, and P. Dubois, "Synthesis of adaptative and amphiphilic polymer model conetworks by versatile combination of ATRP, ROP, and 'click chemistry,'" *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.*, vol. 46, no. 15, pp. 4997–5013, 2008.
- [39] H. Gao and K. Matyjaszewski, "Synthesis of star polymers by a combination of ATRP and the 'click' coupling method," *Macromolecules*, vol. 39, no. 15, pp. 4960–4965, 2006.
- [40] J. Chen, H. Zhang, J. Chen, X. Wang, and X. Wang, "Synthesis of star-shaped poly(ϵ -caprolactone)-b-poly(styrene) block copolymer by combining ring-opening polymerization and atom transfer radical polymerization," *J. Macromol. Sc -Pure Appl. Chem.*, vol. 42 A, no. 9, pp. 1247–1257, 2005.
- [41] J. S. Wang and K. Matyjaszewski, "Controlled/'Living' Radical Polymerization. Halogen Atom Transfer Radical Polymerization Promoted by a Cu(I)/Cu(II) Redox Process," *Macromolecules*, vol. 28, no. 23, pp. 7901–7910, 1995.
- [42] T. Öztürk, M. Yavuz, M. Göktaş, and B. Hazer, "One-step synthesis of triarm block copolymers by simultaneous atom transfer radical and ring-opening polymerization," *Polym. Bull.*, vol. 73, no. 6, pp. 1497–1513, 2016.
- [43] T. Öztürk, M. N. Atalar, M. Göktaş, and B. Hazer, "One-step synthesis of block-graft copolymers via simultaneous reversible-addition fragmentation chain transfer and ring-opening polymerization using a novel macroinitiator," *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.*, vol. 51, no. 12, pp. 2651–2659, 2013.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kuru Yatakta Oluşan Baraj Yıkılmasının Sayısal Modellemesi

 Oğuz ŞİMŞEK^{a,*},  Hüseyin İŞLEK^a,  Veysel GÜMÜŞ^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oguzsimsek@harran.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.897718

ÖZ

Baraj yıkılmasının meydana gelmesi durumunda özellikle barajın mansap bölgesinde oluşacak mal ve can kaybının en aza indirgenmesi ve barajın planlama aşamasında gerekli önlemlerin alınması için, baraj yıkılmasının sayısal modelleme teknikleriyle analiz edilmesi önemlidir. Ayrıca, mevcut barajların yayılım dalgasının mansap bölgesine olan etkisinin farklı senaryolarla analizi de bu yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, baraj mansabında herhangi bir yapı veya akım bulunmaması durumunda (kuru yatak) gerçekleşen baraj yıkılmasının sayısal modellemesi, sonlu hacimler yöntemiyle ANSYS- Fluent paket programı kullanılarak yapılmıştır. Sayısal modellemelerde baraj yıkılması yayılım dalgası akımını idare eden temel denklemlerin çözümünde, Re-normalization Grup k-ε (RNG), Kayma Gerilmesi Taşınım (Shear Stress Transport -SST) ve Ayrılmış Girdap Benzetim (Detached Eddy Simulation- DES) modelleri, su hava ara kesitinin belirlenmesinde ise akışkan hacimleri yöntemi (Volume of Fluid-VOF) kullanılmıştır. Farklı zamanlarda elde edilen deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılmasından, DES modelinin kullanılan diğer modellere kıyasla nispeten daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, baraj yıkılması durumunda barajların mansap bölgesinin güvenlik önlemlerinin ve risk sınırlarının belirlenmesinde, sayısal modellemelerin güvenle kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Baraj yıkılması, Sayısal modelleme, Akışkan hacimleri yöntemi, Ayrılmış girdap modeli

Numerical Modeling of Dam Break on Dry Bed

ABSTRACT

In case of a dam break, it is important to analyze the break of the dam with numerical modeling techniques to minimize the loss of property and life in the downstream region of the dam and to take the necessary precautions during the planning of the dam. In addition, the impact of the propagation wave of existing dams on the downstream region with different scenarios can be analyzed using these methods. In this study, the numerical modeling of the dam break in the absence of any structure or flow (dry bed) on downstream of the dam is made with the ANSYS-Fluent package program using the finite volume method. In numerical modeling, Re-normalization Group k-ε (RNG), Shear Stress Transport (SST) and Detached Eddy Simulation (DES) models are used to solve the basic equations governing the dam break propagation wave flow. Volume of Fluid method (VOF) is used to determine of the water-air cross-section. Comparing the experimental and numerical water surface profiles obtained at different times, it was determined that the DES model is relatively more successful than the other models used. As a result of the study, it is seen that numerical models can be used safely in determining the safety measures and risk limits of the downstream region in case of a dam break.

Keywords: Dam-break, Numerical model, Volume of fluid, Detached eddy simulation

I. GİRİŞ

Barajlar, sulama ve içme suyu temini, taşkın kontrolü ve daha birçok amaç için inşa edilen hidrolik yapılardır. Barajların rezervuarlarında depolanan ve taşkın anında gelen sudan dolayı, baraj gövdesinin toptan veya kısmen göçmesi durumunda, baraj mansap bölgesinde bulunan canlılar ve yerleşim yerleri risk altında bulunmaktadır. Baraj yıkılması durumunda, can ve mal kaybının azaltılması ve gerekli tedbirlerin alınması açısından baraj yıkılması durumunda oluşan yayılım dalgasının mansap bölgesinde etkileyeceği bölgeler, barajların planlama aşamasında belirlenmelidir. Etkilenecek bölgenin, baraj yıkılmasından önce belirlenmesi için deneysel çalışmalar gerçekleştirilse de bu verilerin gerçek senaryosu tamamen gerçekleştirilememektedir. Son yıllarda, bu deneysel çalışmaların yanında bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinin kullanıldığı sayısal modelleme yazılımları, farklı yapı akım etkileşimi problemlerinin çözümünde oldukça sık tercih edilmeye başlanmıştır [1-6]. Bu çalışmalar incelendiğinde genel olarak sayısal model sonuçlarının deneysel verilerle doğrulanması neticesinde, sayısal modellemelerin oldukça başarılı olduğu ve deneysel verilere tatmin edici seviyede yakın tahminde bulunduğu belirlenmiştir. Shigematsu ve ark. [7], farklı başlangıç şartlarında baraj yıkılması dalgasını k-ε türbülans modelini kullanarak sayısal olarak modellemişlerdir. Sayısal model sonucunda elde edilen su yüzü profillerini, deneysel su yüzü profilleriyle karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda, deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğunu belirtmişler ve baraj yıkılması durumunda oluşan türbülansın dağılımı değerlendirilmiştir. Kocaman [8], baraj yıkılması problemini deneysel, teorik ve sayısal olarak analiz etmiştir. Baraj yıkılması dalgasının su yüzü profili kuru yatak, farklı mansap-memba su yükseklikleri oranlarında ($\alpha=0,1, 0,2$ ve $0,4$) ve mansap bölgesinde farklı yapıların bulunması durumunda irdelenmiştir. Farklı yapı ve akım koşullarında elde edilen deneysel çalışma sonuçları sayısal model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sayısal model sonuçlarının deneysel verilerle uyumlu olduğu vurgulanmıştır. Khoshkonesh ve ark. [9], farklı başlangıç (kuru-ıslak) ve geometrik koşulların baraj yıkılma akışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Serbest yüzeyin gelişimi, akışkan hacimleri yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ağ çözünürlüğü ve türbülans kapatma modellerine duyarlılıklar, üç hücre boyutunda ve dört modelde değerlendirilmiştir. Sayısal modellemelerde, Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes (RANS) ve Büyük Girdap Benzetimi (Large Eddy Simulasyon-LES) kullanılmış ve elde edilen sonuçlar literatürde bulunan deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. LES'in serbest yüzeyini belirlemede, diğer türbülans modellerinden nispeten daha iyi olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, başlangıç ve geometrik koşulların serbest yüzeyin ilerlemesi, akış enerjisi, dışarı ve içeri akış hidrografları ve sonuçta ortaya çıkan kuvvetler üzerinde önemli olduğu ifade edilmiştir. Munoz ve Constantinescu [10], baraj yıkılma dalgasını üç boyutlu sayısal olarak modellemek için akışkan hacimleri yöntemini kullanmışlardır. Sayısal modellemelerde akımın hareketini idare eden temel denklemlerin çözümünde, RANS tabanlı türbülans modelini kullanmışlardır. Laboratuvarında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçlarının, üç boyutlu sayısal model sonuçları arasında iyi bir uyum olduğu gözlemlenmiştir. Liu ve ark. [11], eğimli bir yatak boyunca hareket eden baraj yıkılma dalgalarının özelliklerini araştırmışlar ve sel uyarısının zamanında verilerek risk azaltılmasına yardımcı olabileceğini öngörmüşlerdir. Laboratuvar çalışmaları memba su derinliğinin, yatak eğiminin ve kuyruk suyu derinliğinin oldukça geniş aralıkta değiştiği akım koşullarında gerçekleştirilmiştir. Kuyruk suyu derinliği, ortalama hız ve dalga hızını hesaplamak için farklı akım durumlarında su seviyeleri ölçülmüştür. Sonuç olarak, mansap kısmının kuru yatak olması durumunda yatak eğiminin artmasının, ters dalga şiddetini azaltırken, düz dalga şiddetinin önemli ölçüde arttıracığı belirlenmiştir. Ayrıca, $\alpha \geq 0,3$ olduğu durumda, akım bir süre geliştikten sonra rezervuar alanına doğru yayılan ekstra negatif dalgalar oluştuğu, $\alpha \geq 0,6$ olduğu durumda ise mansaba doğru yayılan Favre dalgalarının oluştuğunu belirtilmiştir. Su seviyesinin ve ortalama hızın, ekstra negatif dalgaların ve Favre dalgalarının etkisine bağlı olarak dalgalandığını, bu tür dalgalanma frekansı, su derinlik oranının artmasıyla arttığını, ilk ekstra negatif dalganın ve ilk mansap akım dalga hızı için deneysel formüller elde etmişlerdir. Bunun yanında, deneysel sonuçlar bazı analitik çözümlerle de karşılaştırılmış ve karşılaştırma sonucundan bu analitik çözümlerin geliştirilmesi sırasında yapılan varsayımların geçerliliği ve kısıtlılıkları deneysel ölçümlerle tartışılmıştır. Ye ve ark. [12], mansap kısmının kuru yatak, ıslak yatak ve önünde engeller olması gibi farklı yatak durumlarında baraj yıkılma dalgasının yayılımını modellemek için serbest ağ (mesh free) yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemin sonuçları, mevcut deneysel ölçümlerle karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Doğrulanmış bu

sayısal yöntem daha sonra, farklı mansap koşullarında yayılan baraj yıkılma dalgasını modellemek için kullanılmıştır. Modellemelerde serbest yüzey profili, akış deseni, ön dalga hareketi ve yatak kayma gerilmesi gibi akış özellikleri irdelenmiştir. Kocaman ve ark. [13], baraj yıkılması durumunda mansap bölgesinde daralmanın olduğu karmaşık akım problemini deneysel ve sayısal olarak modellemişlerdir. Mansap bölgesinde üç farklı yanal daralma geometrisi için dikdörtgen kesitli ve yatay kanalda, kuru yatak durumunda incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, akışkan hacimleri yöntemiyle Sığ Su Denklemleri ve RANS denklemlerinin $k-\epsilon$ tabanlı sayısal çözümü ile karşılaştırmışlardır. Hesaplanan ve ölçülen sonuçlar arasında iyi benzerlik elde edilmiş ve RANS modellemesinin, diğer modellere kıyasla deneysel sonuçlarla daha iyi bir uyum gösterdiğini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, sunulan yeni deneysel verilerin, düzensiz topografya üzerindeki baraj kırılma akışlarının simülasyonu için sayısal modellerin doğrulanması için kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Peng ve ark. [14], bir baraj yıkılması sonucu oluşan selin gelişimini ve bir yapı üzerindeki çarpma basıncını sayısal modelle ele almışlardır. Sayısal modeli doğrulamak için ilk olarak bir laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapıya yakın akış rejimini, yapı üzerindeki çarpma basıncının zamansal değişimleri ve dağılımlarını incelemişlerdir. Bunun yanında, ilk rezervuar su derinliğinin maksimum basınçlar üzerindeki etkilerini tartışmışlardır. Yapının memba ve mansap en kesitindeki su yüzeyi profillerinin tamamen farklı olduğunu ve yüzey hızı dağılımları önemli ölçüde farklıların bulunduğu belirlenmiştir. Taşkın suyu yapıya ilk temas ettiğinde, yapının büyük bir anlık çarpma basıncına maruz kaldığı ve bu basıncın değerinin ilk darbeden sonraki maksimum basıncın 1,5-3,0 katına ulaşabileceği ve anlık çarpma basıncının, ilk rezervuar su derinliği ile orantılı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, yapının ön tarafında duvara etkiyen maksimum basıncının dağılımı hem yatay hem de düşey yönlerde doğrusal olmadığını belirlemişlerdir. Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde, baraj yıkılma probleminin hidrodinamik yöntemlere dayalı analizinin oldukça kısıtlı olduğu belirlenmiştir. Baraj yıkılması yayılım dalgasının hareketini idare eden temel denklemlerin çözümünün akıma ait farklı parametrelerin belirlenmesini esas alan türbülans modellerinin başarısının karşılaştırılması konusunda eksikliklerin bulunduğu dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada, Kocaman [8] tarafından laboratuvar ortamında kuru yatak üzerinde deneysel olarak incelenen baraj yıkılması probleminin sayısal modellemesi yapılmıştır. Farklı zamanlarda deneysel olarak elde edilen baraj yıkılması dalgasının profili, sayısal model sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kocaman [8] tarafından kullanılmayan Re normalizasyon Grup $k-\epsilon$ (RNG), Kayma Gerilmesi Taşınım (Shear Stress Transport-SST) ve Ayrılmış Girdap Benzetim (Detached Eddy Simülasyonu-DES) türbülans modelleriyle elde edilen sayısal model sonuçlarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması sonucunda, deneysel verilere en yakın tahminde bulunan türbülans modeli belirlenmiştir. Ayrıca, deneysel olarak değerlendirilmeyen basınç, hız vektörü ve türbülans kinetik enerji desenleri sayısal model sonuçlarından elde edilerek değerlendirilmiştir.

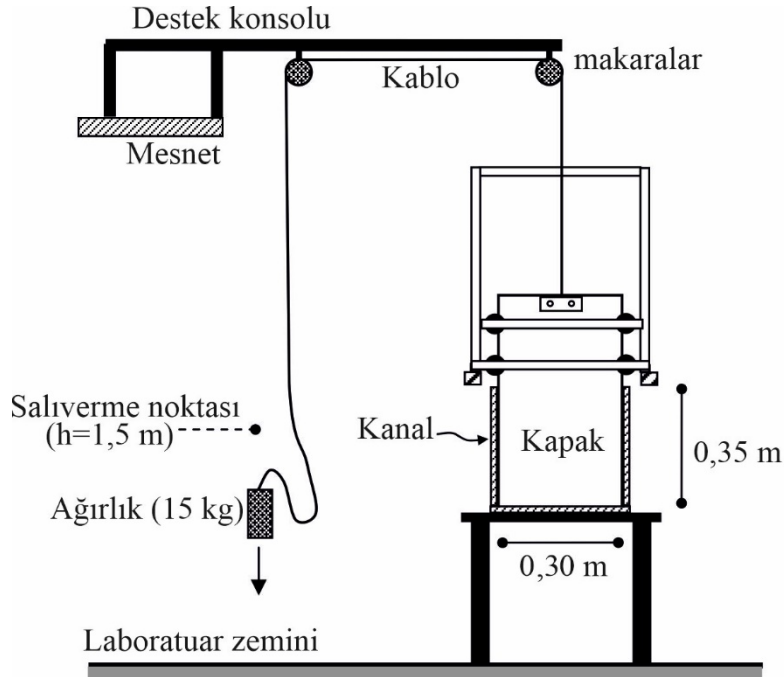
II. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyler, Kocaman [8] tarafından Çukurova Üniversitesi Hidrolik laboratuvarında bulunan dikdörtgen en kesitli açık kanalda yapılmıştır (Şekil 1). Deneylerin gerçekleştirildiği açık kanalın tüm yüzeyleri camdan imal edilmiş ve uzunluğu, yüksekliği ve genişliği sırasıyla 9 m, 0,34 m ve 0,3 m'dir. Baraj yıkılmasının deneysel olarak modellenmesinde açık kanala herhangi bir eğim verilmemiş olup yatay taban üzerinde gerçekleştirilmiştir. Baraj yıkılma dalgası profilinin deneysel olarak elde edilmesinde yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılmış olup, görüntü işleme teknikleriyle görüntü kalitesi artırılmış ve kalibrasyonu yapılmıştır (Şekil 2).

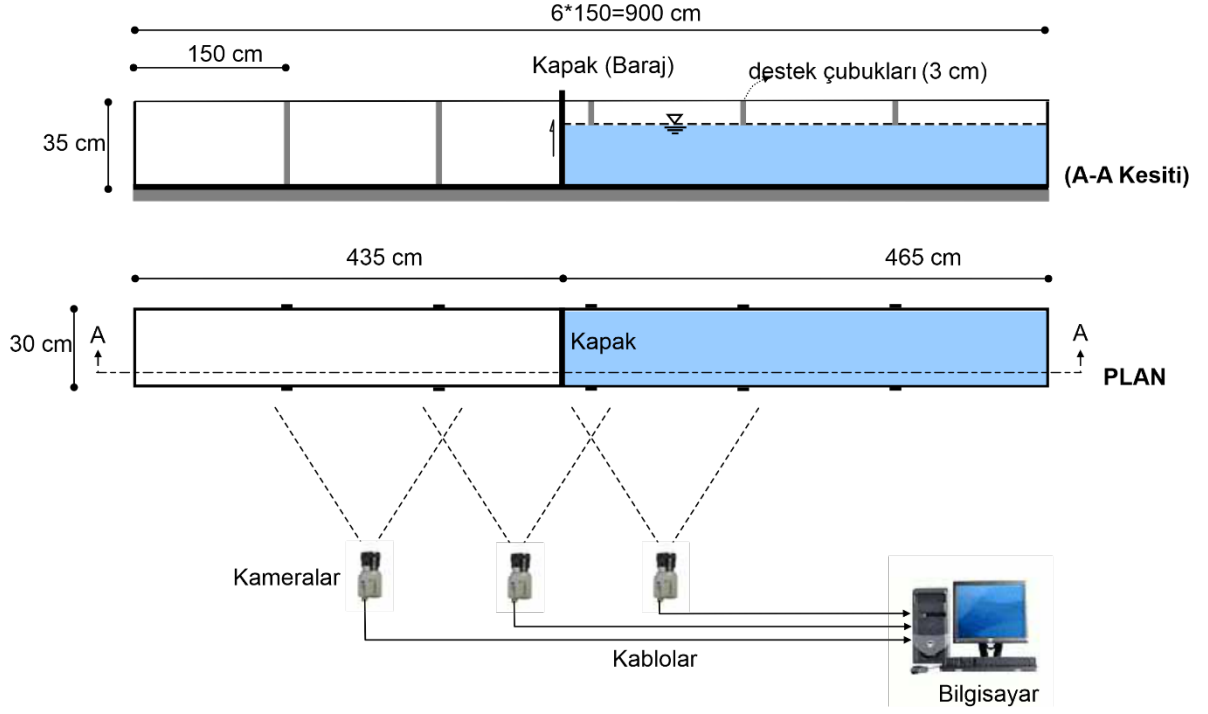
Baraj gövdesinin deneysel olarak temsil edilmesinde kayar kapak kullanılmış olup, bu kayar kapak kanal girişinden 465 cm uzaklığa yerleştirilmiştir. Kayar kapağın ani olarak hareketini sağlamak üzere makara sistemiyle 15 kg ağırlık 150 cm yükseklikten serbest bırakılmıştır (Şekil 1). Baraj yıkılmasının ani olarak değerlendirilmesi için, kapağın kaldırılma zamanının, Lauber ve Hager [15] tarafından önerilen $1,25 (h_0/g)^{1/2}$ (h_0 memba su yüksekliği, g yer çekimi ivmesi) değerinden küçük olması gerekmektedir. Kapak açılma zamanının video kayıtlarından incelenmesinden, bu sürenin 0,06-0,08 s. olduğu ve formülle

hesaplanan 0,2 s. değerinden küçük olduğu görülmüştür. Baraj yıkılması dalgasının video kayıtlarında daha fark edilmesi ve net görünmesi için su içerisine gıda boyası ilave edilmiştir. Kapak kaldırılmadan önce baraj rezervuarını temsil eden bölgede (kapak membası) su ile doldurulmuş ve akım tam durgun hale geldikten sonra ölçümlere başlanmıştır. Kayar kapak membasındaki su derinliği (h_0) 25 cm olarak ayarlanmıştır.

Deneyel olarak baraj yıkılma dalgasının yayılım zamanı (t) (g/h_0)^{1/2} ifadesi ile çarpılarak ve yükseklikler ise memba su derinliği h_0 ile bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Bu şekilde boyutsuz hale getirilen zaman ifadesi “T” ile temsil edilmiştir. T= 0, 0,63, 2,51, 5,01 ve 7,52 olduğu durumlarda elde edilen deneysel su yüzü profilleri incelenmiştir. Mansap bölgesinde farklı su yüksekliklerinde deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada mansap bölgesinde herhangi bir su bulunmadığı (kuru yatak) durumda yapılan ölçümlerin sayısal modellenmesi yapılmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneği ve şematik görüntüsü [8].



Şekil 2. Ölçüm sistemi şematik görüntüsü [8].

III. SAYISAL MODELLEME

Baraj yıkılması probleminde oluşan yayılım dalgası, iki boyutlu, sıkışmayan, türbülanslı bir akım türüdür. Baraj yıkılması dalgasının hareketini idare eden süreklilik eşitliği Denklem 1’de, momentum eşitliği ise Denklem 2’de verilmiştir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = \rho g_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij}) \quad (2)$$

Bu denklemlerde bulunan, u_i ortalama hız bileşenlerini, p ortalama basıncı, μ akışkanın dinamik viskozitesini, ρ akışkanın yoğunluğunu, ρg_i yerçekiminin sebep olduğu kütleli kuvveti, t zamanı, τ_{ij} ise türbülans (Reynolds) gerilmelerini ifade etmektedir. Reynolds gerilmeleri, Boussinesq yaklaşımına göre Denklem 3’teki gibi ifade edilir:

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho k \quad (3)$$

Burada, u'_i ve u'_j türbülans hız sapıncıları ve μ_t türbülans viskozitesi olup δ_{ij} Kronecker deltasıdır ($i=j$ için $\delta_{ij}=1$).

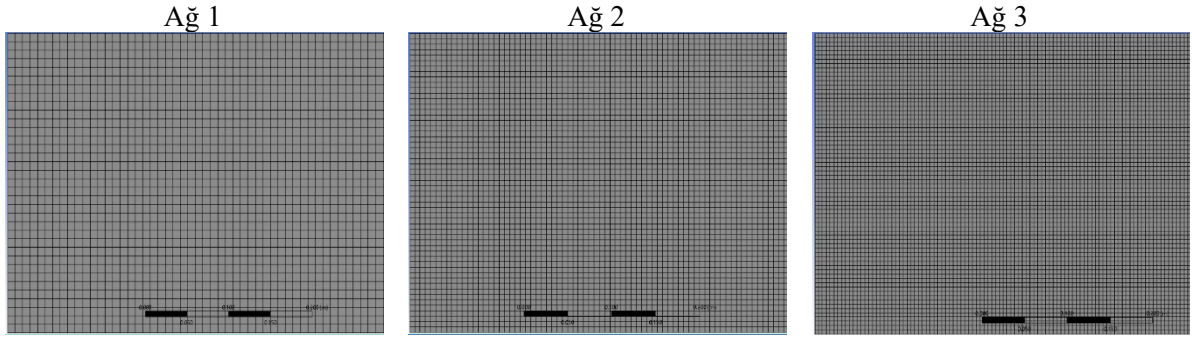
Yukarıdaki denklemler içerisinde, üç boyutlu akışta bir basınç, üç hız, altı türbülans kayma gerilmesi bileşeni olmak üzere toplam 10 adet bilinmeyen bulunmaktadır. Akışın iki boyutlu olması durumunda ise bir adet hız bileşeni ve 3 adet türbülans gerilmesi bileşeni azalmakta ve bilinmeyen sayısı

6 olmaktadır. 6 adet bilinmeyene karşılık, bu bilinmeyenlerin çözümü için 3 adet denklem bulunmasından dolayı bu bilinmeyenlerin çözümü eldeki denklemler kullanılarak mümkün olmamaktadır. Denklem içindeki bilinmeyenlerin çözümünün gerçekleşmesi için Denklem 3'teki türbülans viskozitesinin çözülmesi için türbülans kapatma modelleri kullanılmaktadır. Kocaman [8] tarafından sayısal modellemede sadece Standart $k-\varepsilon$ (SKE) türbülans modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada, μ_t türbülans viskozitesinin modellenmesi için Yakhot ve ark. [16-17] tarafından geliştirilen, türbülans kinetik enerji (k) ve kinetik enerji kayıp oranı (ε) denklemlerini çözen Re normalization Grup $k-\varepsilon$ (RNG) türbülans kapatma modeli, Menter [18] tarafından k ve türbülans kinetik enerji özgül kayıp oranı (ω) denklemlerini çözen Kayma Gerilmesi Taşınım (Shear Stress Transport-SST) modeli ve katı sınır üzerinde sınır tabakasında kararsız RANS tabanlı çözüm yaparken, ayrılmış bölgelerde LES'i kullanan Ayrılmış Girdap Modeli (Detached Eddy Simülasyonu-DES) kullanılmıştır [19]. Kullanılan türbülans kapatma modellerinden, RNG akımda meydana gelen ayrılmaların ve eğriselliğin bulunması durumunda standart $k-\varepsilon$ modeline kıyasla başarılı olduğu geliştirilenler tarafından iddia edilmiştir. SST modeli ise türbülans viskozitesinin hesabında sınır tabaka içerisinde orijinal $k-\omega$ modelini, serbest kayma akışlarında ise standart $k-\varepsilon$ modelini kullanmasından dolayı hibrit bir modeldir. Her iki modelin üstünlüklerinin bir arada kullanılmasını sağlamasından dolayı SST modeli, akımda ayrılmaların ve ikincil akımların söz konusu olduğu ve hız değerlerinin oldukça hızlı değiştiği akım durumlarında başarılı olduğu belirtilmiştir. DES modelinde ise hesaplama maliyetleri, LES hesaplama maliyetlerinden daha az, ancak RANS'tan daha yüksektir. Her iki modelin bir arada bulundurulmasından dolayı bu DES modeli de hibrit bir model olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca, DES modelinin karmaşık akım problemlerinin çözümünde oldukça başarılı sonuçlar verdiği ve LES kadar küçük ağ elemanlarından oluşan hesaplama ağına ihtiyaç duymadığı belirtilmektedir [20].

Sayısal modellemelerde iterasyon adımı büyüklüğü, Courant sayısı en fazla iki olacak şekilde kullanılan paket program tarafından otomatik olarak belirlenmiştir. Her bir hesaplama adımında iterasyon sayısı maksimum 10 olarak kullanılmıştır. İterasyon adımlarında akımla ilgili parametrelerin yakınsama kriteri 0,00001 olarak kullanılmıştır. Eğer çözülen parametre bu değere kadar yakınsamış ise 10 iterasyon yapılmadan bir sonraki hesaplama adımına otomatik olarak geçilmiştir. İterasyon sayısının az olması ayrıklaştırma hataların artmasına neden olurken, çok büyük seçilmesi ise sayısal model hesaplama süresinin artmasına neden olmaktadır.

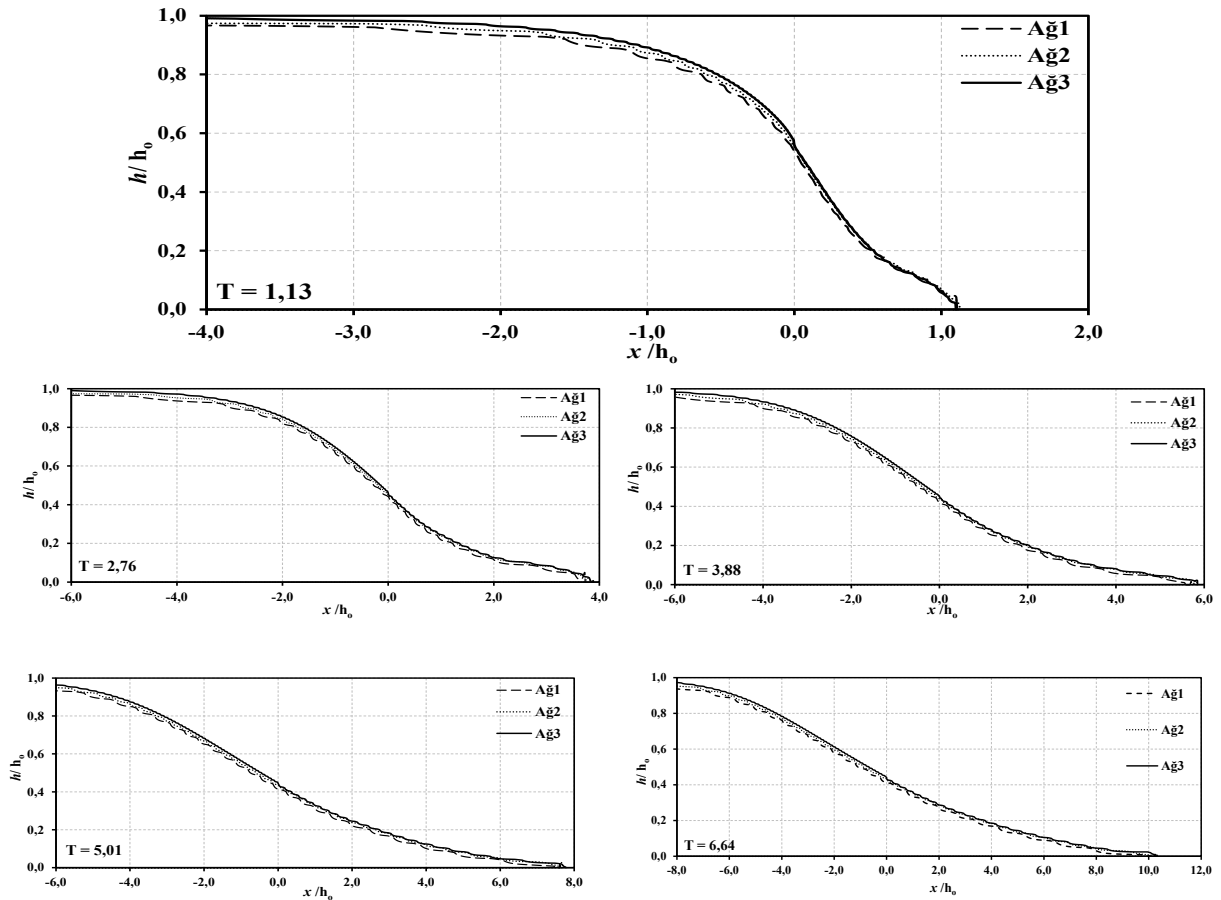
Baraj yıkılma dalgasının hava ile ara kesitinin belirlenmesinde, farklı akım koşullarına sahip problemlerin çözümünde oldukça başarılı olan Akışkan Hacimleri Yöntemi (Volume of Fluids-VOF) kullanılmıştır. Akışkan hacimleri yönteminde, hesaplama ağı elemanın hacimsel doluluk oranını temsilen bir akışkan hacmi (F) tanımlanmaktadır. Hesaplama ağı elemanının su ile tamamen dolu olması durumunda $F=1$ olurken, havayla tamamen dolu olması durumunda ise $F=0$ olmaktadır. Su ile havanın ara kesitinin bulunduğu bölgede ise F değeri sıfır ile bir arasında değişen bir değer almaktadır. Akışkan hacimleri yöntemi ile serbest su yüzünün hesaplanmasında "Geo-Reconstruct" yaklaşımı kullanılmıştır [19].

Sayısal modellemelerde hesaplama ağı tasarımının sayısal modelleme sonuçları üzerinde etkisinin olduğu hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemine dayalı çözüm yapan araştırmacılar tarafından bilinmektedir [21-24]. Hesaplama ağının sayısal çözümler üzerinde ne kadar etkisinin olduğunun belirlenmesi için üç farklı yoğunlukta hesaplama ağı tasarımı yapılmasını zorunluluğu olan Ağ Yakınsama İndeksi (Grid Convergence Index-GCI) oldukça sık kullanılmaktadır [25-28]. Bu çalışmada da üç farklı yoğunluğa sahip hesaplama ağı tasarımı yapılarak ağ yakınsama indeksi kullanılarak, sayısal çözümlerin ağ yapısının etkisinde olmadığı kontrol edilmiştir. GCI analizleri için üç farklı hesaplama ağı tasarımı gerekmekte olup, bu çalışmada tasarlanan hesaplama ağlarına ait görüntüler Şekil 3'te verilmiştir. En büyük ağ elemanlarından oluşan hesaplama ağı Ağ1, en küçük ağ elemanlarından oluşan hesaplama ağı ise Ağ3 olarak adlandırılırken, bu iki ağ elemanına göre orta büyüklükte ağ elemanına sahip hesaplama ağı ise Ağ2 olarak adlandırılmıştır. Bu üç farklı hesaplama ağında Ağ1'de 1000x35 adet, Ağ2'de 1500x55 adet ve Ağ3'te ise 2000x70 adet dikdörtgen eleman bulunmaktadır. Burada bulunan ilk değer çözüm bölgesinin x boyutunda bulunan eleman sayısını, ikinci eleman ise y doğrultusunda bulunan eleman sayısını göstermektedir. Şekillerden de görüldüğü üzere Ağ3 en sıkı ağ yapısına sahip iken, Ağ1 en kaba ağ yapısına sahiptir.



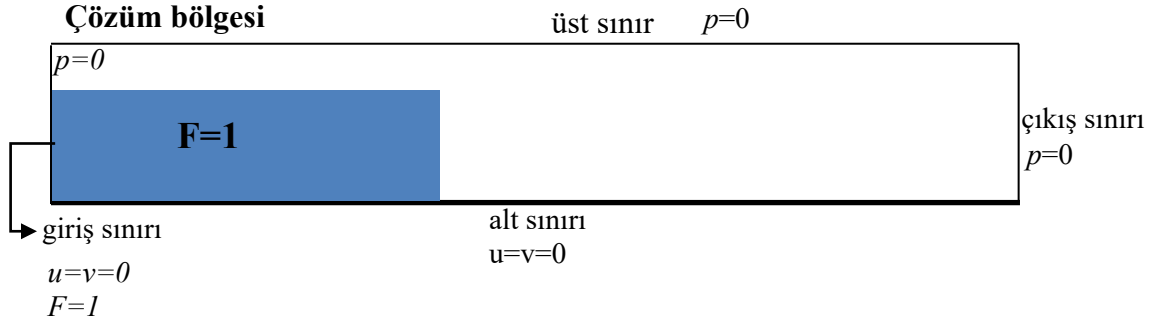
Şekil 3. Farklı yoğunluklu hesaplama ağı tasarımları.

Üç farklı eleman boyutuna sahip hesaplama ağı kullanılarak farklı zaman adımlarında elde edilen sayısal su yüzü profillerinin karşılaştırılması Şekil 4'te verilmiştir. Su yüzü profilinin değişim gösterdiği bölgede oluşan farklı yoğunluktaki hesaplama ağları kullanılarak elde edilen su yüzü profilleri arasındaki farklılıkların belirgin olmasından dolayı bu bölge şekillerde gösterilmiştir. Şekil 4'te verilen grafikler incelendiğinde, Ağ 1 kullanılarak elde edilen su yüzü profillerinin diğer hesaplama ağları kullanılarak elde edilen su yüzü profillerinden düşük seviyede olduğu görülmektedir. Bunun yanında, Ağ 2 ve Ağ 3 kullanılarak elde edilen su yüzü profilleri arasında farkın oldukça küçük olduğu açıkça söylenebilir. GCI analizi sonucunda elde edilen değerlerden ağ yapısının sayısal sonuçlar üzerindeki etkisinin oldukça kısıtlı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle sayısal modellemelerde Ağ 3 hesaplama ağı kullanılmıştır.



Şekil 4. Farklı eleman boyutlarına sahip hesaplama ağları kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profilleri.

Sayısal modellemelerde kullanılan sınır ve başlangıç şartları Şekil 5’te verilmiştir. Çözüm bölgesinin giriş sınırında $F=1$ olarak tanımlanarak akımın kanal girişine doğru (negatif yönde) yayılımı engellenmiştir. Çözüm bölgesinin diğer kısımlarında $F=0$ olarak tanımlanmıştır. Çıkış ve üst sınırlarda ise $p=0$ koşulu verilmiş olup, akımın bu bölgeden serbest dökülmesi sağlanmıştır. Kanal alt tabanında ise $u=v=0$ m/s tanımlanmıştır. Çözüm bölgesinde baraj haznesini temsil etmek üzere ilgili olan su ile doldurulmuş olup baraj yıkılmasının simülasyonu bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Deneysel verilerin elde edildiği çözüm sürelerinde sayısal modelleme kayıtları alınarak deneysel ve sayısal verilerin karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 5. Çözüm bölgesi, sınır ve başlangıç şartları.

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. DENEYSEL VE SAYISAL SU YÜZÜ PROFİLLERİ

Baraj yıkılması sonucunda oluşan dalganın profilinin belirlenmesi ve herhangi bir noktada oluşan yıkılma dalgasının yüksekliğinin belirlenmesi alınacak önlemlerin belirlenmesinde önem arz etmekte ve yayılım dalgasından korunma yapılarının boyutlarının belirlenmesinde en önemli parametredir. Deneysel ve farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profilleri karşılaştırılmıştır. Türbülans modellerinin başarısının belirlenmesinde başarı kriteri olarak Denklem 4 ve 5’te sırasıyla verilen Ortalama Mutlak Göreceli Hata (OMGH) ve Ortalama Karesel Hata (OKH) değerleri kullanılmıştır.

$$OMGH = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{|h_d - h_s|}{h_d} \quad (4)$$

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (h_d - h_s)^2 \quad (5)$$

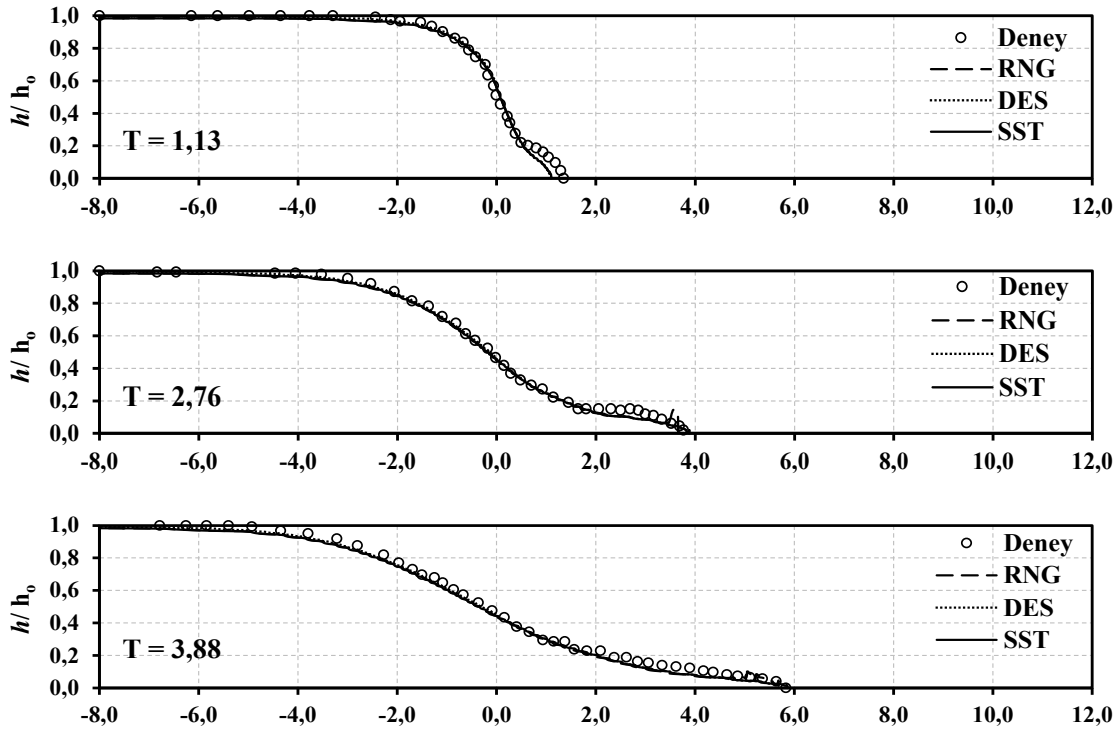
Bu denklemlerde bulunan h_d ve h_s sırasıyla deneysel ve sayısal su derinliklerini, N ise ele alınan profildeki nokta sayısını ifade etmektedir. Farklı türbülans modelleri kullanılarak çeşitli zamanlarda elde edilen su yüzü profillerinin deneysel profillerle karşılaştırılması sonucunda elde edilen OMGH ve OKH değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Tablo bulunan OKH ve OMGH değerlerinin parantez içinde verilen üst indisleri kullanılan modellerin başarı sıralamasını göstermektedir. Tüm türbülans modellerinde farklı zamanlarda elde edilen OKH ve OMGH değerlerinin ortalaması tablonun son satırında verilmiştir. Tabloda verilen değerler incelendiğinde, T=1,13 için OKH kriterine göre RNG modeli deneysel verilere en yakın tahminde bulunurken, OMGH kriterine göre ise bu çözüm adımında DES modeli en yakın tahminde bulunmuştur. T=3,88 için ise OKH kriterine göre DES modeli, OMGH kriterine göre ise RNG türbülans modeli başarılı olmaktadır. Bu çözüm adımları dışında ele alınan tüm zamanlarda, DES modeli her iki başarı kriterine göre deneysel verilere en yakın su yüzü profilini belirlediği elde edilen değerlerden görülmektedir. Ayrıca, tablonun son satırında verilen ortalama hata oranları incelendiğinde her iki başarı ölçütüne göre DES modelinin en başarılı olduğu ve türbülans modellerinin başarısı sıralamasının OKH kriterine göre DES, SST ve RNG şeklinde, OMGH kriterine göre ise bu sıralamanın

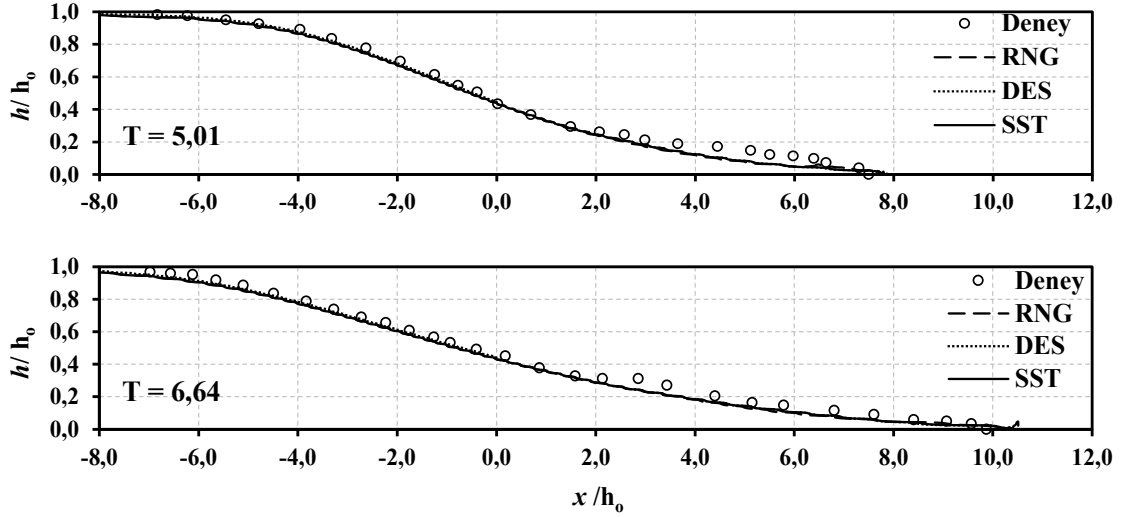
DES, RNG ve SST şeklinde oluştuğu anlaşılmıştır. Elde edilen değerlerin karşılaştırılmasından deneysel su yüzü profillerinin sayısal olarak belirlenen profiller arasında ortalama sonuçlara göre %10'dan daha küçük fark bulunduğu ve kullanılan tüm modellerin birbirine oldukça yakın tahminde bulunduğu söylenebilir.

Tablo 1. Farklı türbülans modellerine ait çeşitli zamanlarda elde edilen OKH (m^2) ve OMGH (%) değerleri.

Model	RNG		SST		DES	
	OMGH	OKH	OMGH	OKH	OMGH	OKH
1,13	5,69760 ⁽²⁾	0,00056 ⁽¹⁾	6,42130 ⁽³⁾	0,00072 ⁽³⁾	5,58780 ⁽¹⁾	0,00059 ⁽²⁾
2,76	7,65670 ⁽³⁾	0,00052 ⁽³⁾	5,83050 ⁽²⁾	0,00047 ⁽²⁾	5,18320 ⁽¹⁾	0,00028 ⁽¹⁾
3,88	9,99890 ⁽¹⁾	0,00087 ⁽³⁾	10,67420 ⁽³⁾	0,00086 ⁽²⁾	10,11750 ⁽²⁾	0,00058 ⁽¹⁾
5,01	13,85630 ⁽²⁾	0,00140 ⁽³⁾	15,45020	0,00130 ⁽²⁾	13,12760 ⁽¹⁾	0,00129 ⁽¹⁾
6,64	10,70490 ⁽³⁾	0,00127 ⁽³⁾	9,87500 ⁽²⁾	0,00117 ⁽²⁾	9,15610 ⁽¹⁾	0,00093 ⁽¹⁾
Ort.	9,58288 ⁽²⁾	0,00093 ⁽³⁾	9,65024 ⁽³⁾	0,00090 ⁽²⁾	8,63444⁽¹⁾	0,00073⁽¹⁾

Farklı türbülans modelleri kullanılarak farklı zamanlarda elde edilen su yüzü profillerinin Kocaman [8] tarafından deneysel olarak elde edilen su yüzü profilleriyle karşılaştırılması Şekil 6'da verilmiştir. Verilen şekiller incelendiğinde, T=1,13 için elde edilen sayısal ve deneysel yüzü profilleri arasında kanal tabanına yakın bölgede çok az bir farklılığın bulunduğu görülmektedir. Bu zaman adımı dışında elde edilen su yüzü profillerinin birbiriyle oldukça uyumlu olduğu şekillerden açıkça görülmektedir. Tablo 1'de verilen değerlerden de anlaşıldığı gibi farklı türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profilleri arasında çok fazla farklılığın bulunmadığı şekillerden de görülmektedir. Baraj yıkılma dalgası önü dikliğinin azaldığı durumlarda elde edilen deneysel ve sayısal su yüzü profilleri arasındaki uyumun oldukça iyi olduğu görülmektedir.

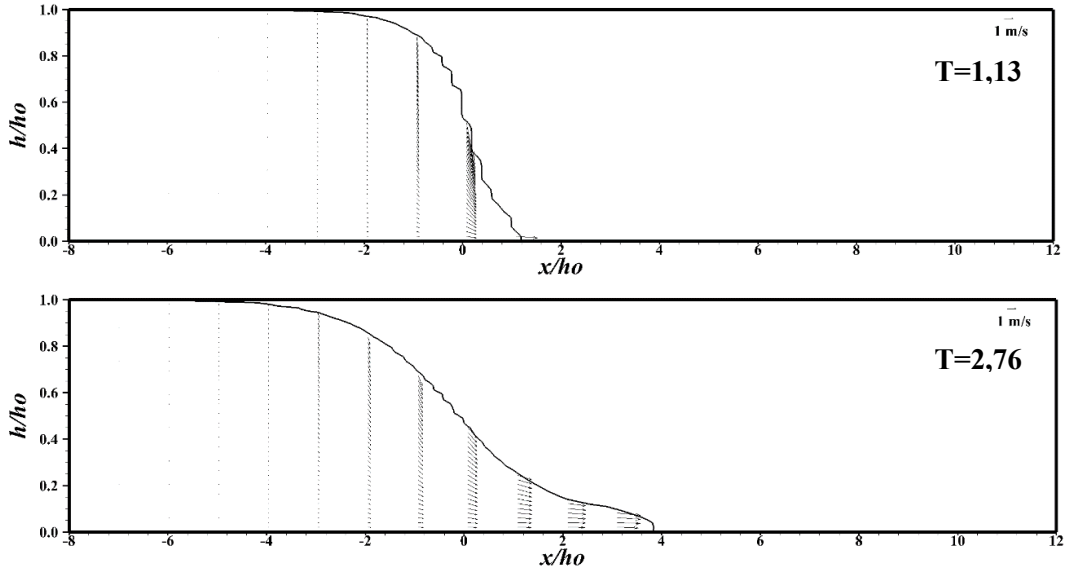


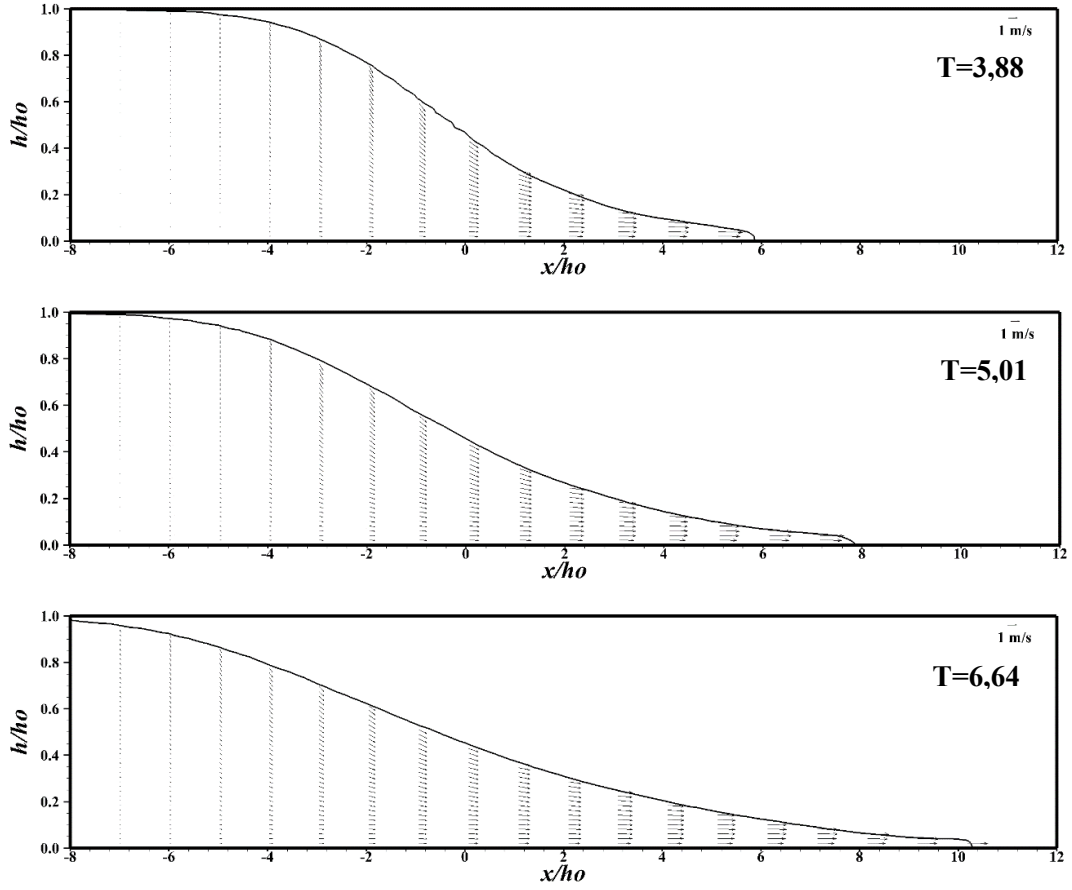


Şekil 6. Deneysel ve farklı türbülans modelleriyle çeşitli zamanlarda elde edilen su yüzü profilleri.

B. SAYISAL HIZ VEKTÖRLERİNİN DESENİ

Sayısal ve deneysel su yüzü profillerinin karşılaştırılmasından en başarılı model olan DES modeli kullanılarak farklı zamanlarda elde edilen sayısal hız vektörlerinin desenleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde baraj yıkılmasının ilk anlarında elde edilen hız vektörlerinin y doğrultusunda aşağı yönlü oluştuğu görülmektedir. Baraj dalgasının kuru yatak üzerinde ilerlemesiyle y doğrultusunda düşey yönde oluşan hız vektörlerinin x doğrultusuna doğru değişim gösterdiği ve büyüklüklerinin arttığı söylenebilir. Hesaplama zamanının artmasıyla kuru yatak üzerinde meydana gelen hız vektörlerinin büyüklüğünün arttığı belirlenmiştir. Kanal giriş sınırına doğru akımın hareket etmediği elde edilen hız vektörlerinin deseninden görülmektedir.

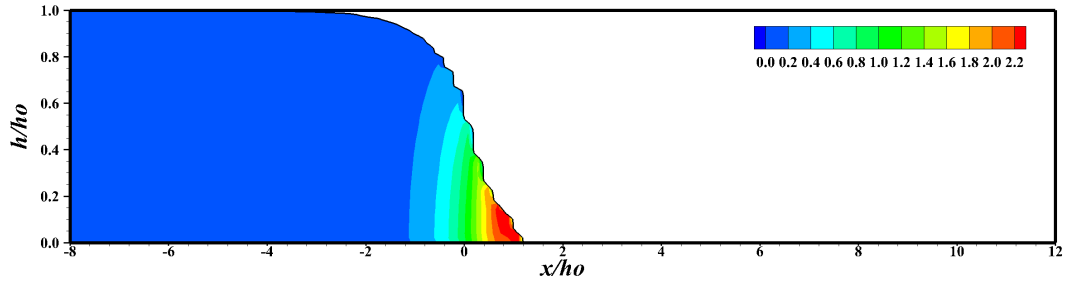


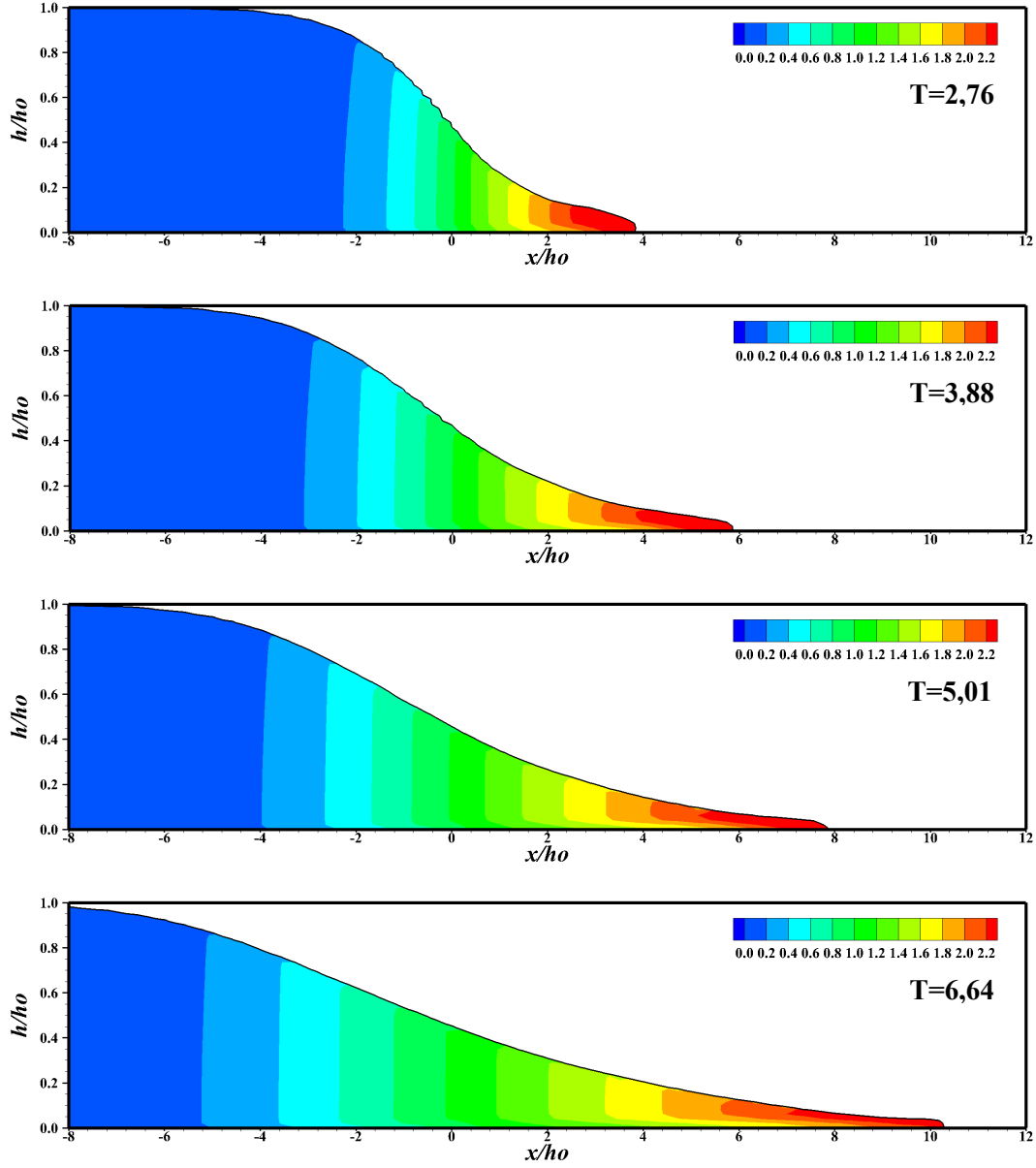


Şekil 7. DES modeliyle farklı zamanlarda elde edilen hız vektörleri deseni.

C. SAYISAL HIZ DESENİ

Şekil 8'de, en başarılı model olan DES modeli kullanılarak sayısal modelleme sonucunda farklı zamanlarda elde edilen hız değerlerinin desenleri görülmektedir. Farklı çözüm zamanlarında elde edilen hız desenlerinden, baraj yıkılma dalgasının hız alanında 2,2 m/s'den daha büyük hızların yayılım dalgasının önünde olduğu görülmektedir. Baraj yıkılma dalgasının kuru yatak üzerinde ilerlemesiyle maksimum hızın olduğu bölgenin büyüdüğü açıkça görülmektedir. Bunun yanında, baraj yıkılma dalgasının hız alanında bulunan eğriselliğin yıkılma başlangıcında oldukça belirgin olduğu, yayılım dalgasının yatay yatak üzerinde ilerlemesiyle bu eğriselliğin azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, yayılım dalgasının ele alınan zamanlarda tüm hız alanının harekete geçmediği görülmektedir. Baraj yıkılma dalgasının yatay kuru yatak üzerinde ilerlemesiyle kanal tabanı üzerinde viskoz kuvvetlerin etkisinin arttığı da söylenebilir.

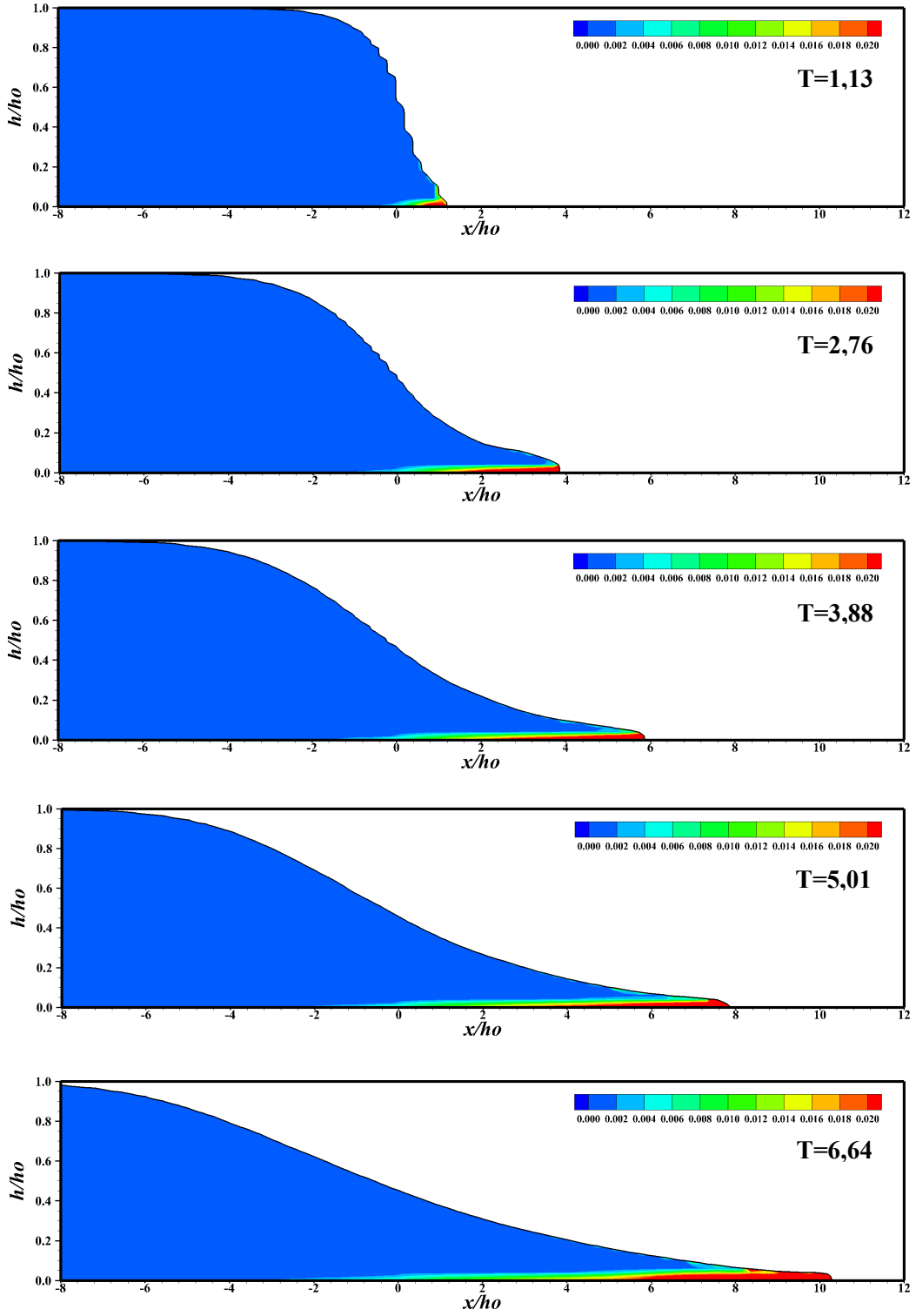




Şekil 8. DES modeliyle farklı zamanlarda elde edilen hız deseni.

D. SAYISAL TÜRBÜLANS KİNETİK ENERJİ DESENİ

Kuru yatak durumunda meydana gelen baraj yıkılmasını kullanılan diğer modellere kıyasla daha başarılı modelleyen DES modeli kullanılarak elde edilen türbülans kinetik enerjisi desenleri Şekil 9'da verilmiştir. Farklı hesaplama zamanlarında elde edilen türbülans kinetik enerji dağılımlarının incelenmesinden, baraj yıkılması dalgasının uç noktasında hızda meydana gelen değişimin daha fazla olduğu görülürken, zamanın ilerlemesine paralel olarak kuru yatak üzerinde ilerleyen yayılım dalgasının kanal tabanı üzerinde hız değişiminin daha da arttığı görülmektedir. Baraj yıkılma dalgasının kuru yatak üzerinde ilerlemesiyle birlikte $0,2 \text{ m}^2/\text{s}^2$ değerinden daha büyük türbülans kinetik enerjisinin oluştuğu görülmektedir. Yayılım dalgasının hareket süresinin artmasıyla, katı sınırla etkileşim bölgesinde elde edilen türbülans kinetik enerjisi değerlerinin arttığı ve alanının büyüdüğü söylenebilir. Hız alanında meydana gelen değişim yayılım dalgasının ön noktasında olduğu görülmektedir.



Şekil 9. DES modeliyle farklı zamanlarda elde edilen türbülans kinetik enerji deseni.

V. SONUÇ

Baraj yıkılması durumunda oluşan yayılım dalgasının baraj mansabında bulunan yerleşim yerlerinin ve canlıların güvenliğini riske etme düzeyinin belirlenmesi ve erken uyarı sistemlerinin değerlendirilmesi, baraj yapılmadan önce baraj yıkılması modellemesinin sayısal yöntemlerle analiziyle mümkündür. Bu

çalışmada, kuru yatak üzerinde meydana gelen baraj yıkılması yayılım dalgasının hareketini idare eden temel denklemlerin sayısal modellenmesinde, ANSYS Fluent paket programı aracılığıyla, RNG, SST ve DES modelleri kullanılmıştır. Baraj yıkılma dalgasının deneysel olarak farklı zamanlarda elde edilen su yüzü profilleri, bu türbülans modelleri kullanılarak elde edilen sayısal su yüzü profilleriyle karşılaştırılmıştır. Türbülans modellerinin farklı zamanlarda elde edilen su yüzü profillerini tahmin etme başarısının belirlenmesi için OKH ve OMGH değerleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlardan, DES modelinin kullanılan diğer modellere kıyasla nispeten daha iyi tahminde bulunduğu belirlenmiştir. DES modeli kullanılarak elde edilen hız vektörlerinin, hız desenlerinin ve türbülans kinetik enerji dağılımlarının incelenmesinden, baraj yıkılma yayılım dalgasının ön bölgesinde en büyük değerlerin oluştuğu ve yayılım dalgasının kuru yatak üzerinde ilerlemesiyle maksimum değerlerin oluştuğu bölgenin büyüdüğü görülmüştür. Katı sınıra yakın bölgede meydana gelen türbülans kinetik enerjinin, katı sınırdan uzak bölgeye göre daha büyük olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, çalışmada kullanılan türbülans modellerinin baraj yıkılması sonucunda oluşan yayılım dalgasının sayısal modellenmesinde başarılı ile kullanılabileceği ve yayılım dalgasının akım karakteristiklerinin farklı akım ve yapı koşulları altında sayısal model sonuçlarından elde edileceği belirlenmiştir. Ayrıca, planlama aşamasında baraj yıkılması modellenmesinin ön bilgi edinme açısından detaylı bilgi sunmasından dolayı kullanılabilirliği görülmüştür.

VI. KAYNAKLAR

- [1] M. S. Kirkgoz, M. S. Aköz ve A. A. Oner, “Numerical modeling of flow over a chute spillway,” *Journal of Hydraulic Research*, vol. 47, no. 6, pp. 790-797, 2009.
- [2] H. Ozmen-Cagatay ve S. Kocaman, “Dam-break flow in the presence of obstacle: experiment and CFD simulation,” *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 5, no. 4, pp. 541-552, 2011.
- [3] A. A. Oner, M. S. Aköz, M. S. Kirkgoz ve V. Gumus, “Experimental validation of volume of fluid method for a sluice gate flow,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 4, pp. 1-10, 2012.
- [4] S. Kocaman, “Prediction of backwater profiles due to bridges in a compound channel using CFD,” *Advances in Mechanical Engineering*, c. 6, ss. 1-9, 2014.
- [5] V. Gumus, O. Simsek, N. G. Soydan, M. S. Aköz ve M. S. Kirkgoz, “Numerical modeling of submerged hydraulic jump from a sluice gate,” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, c. 142, s. 1, ss. 1-11, 2016.
- [6] O. Simsek, M. S. Aköz ve N. G. Soydan, “Numerical validation of open channel flow over a curvilinear broad-crested weir,” *Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal*, c. 16, s. 6, ss. 364-378, 2016.
- [7] T. Shigematsu, P. Liu ve K. Oda, “Numerical modeling of the initial stages of dam-break waves,” *Journal of Hydraulic Research*, vol. 142, pp. 183–195, 2004.
- [8] S. Kocaman, “Experimental and theoretical investigation of dam-break problem,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2007.
- [9] A. Khoshkonesh, B. Nsom, S. Gohari ve H. Banejad, “A comprehensive study on dam-break flow over dry and wet beds,” *Ocean Engineering*, vol. 188, pp. 1-18, 2019.
- [10] D. H. Munoz ve G. Constantinescu, “3-D dam break flow simulations in simplified and complex domains,” *Advances in Water Resources*, vol. 137, pp. 1-16, 2020.

- [11] W. Liu, B. Wang, Y. Guo, J. Zhang ve Y. Chen, "Experimental investigation on the effects of bed slope and tailwater on dam-break flows," *Journal of Hydrology*, vol. 590, pp. 1-16, 2020.
- [12] Y. Ye, T. Xu ve D. Z. Zhu, "Numerical analysis of dam-break waves propagating over dry and wet beds by the mesh-free method," *Ocean Engineering*, vol. 217, pp. 1-11, 2020.
- [13] S. Kocaman, H. Güzel, S. Evangelista, H. Ozmen-Cagatay ve G. Viccione, "Experimental and numerical analysis of a dam-break flow through different contraction geometries of the channel," *Water*, vol. 12, no. 4, pp. 1-22, 2020.
- [14] L. Peng, T. Zhang, Y. Rong, C. Hu ve P. Feng, "Numerical investigation of the impact of a dam-break induced flood on a structure," *Ocean Engineering*, c. 223, ss. 1-15, 108669, 2021.
- [15] G. Lauber ve W. H. Hager, "Experiments to Dambreak Wave: Sloping Channel," *Journal of Hydraulic Research*, vol. 36, no. 5, pp.761-773, 1998.
- [16] V. Yakhot ve S. A. Orszag, "Renormalization group analysis of turbulence. I. Basic Theory", *Journal of Scientific Computing*, vol. 1, no.1, pp. 3-51, 1986.
- [17] V. Yakhot, S. A. Orszag, S. Thangam, T. B. Gatski ve C. G. Speziale, "Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique," *Physics of Fluids a-Fluid Dynamics*, vol. 4, no. 7, pp. 1510-1520, 1992.
- [18] F. R. Menter, "2-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications," *AIAA Journal*, vol. 32, no. 8, pp. 1598-1605, 1994.
- [19] ANSYS, Fluent Theory Guide, ANSYS Inc. USA, 2018.
- [20] M. S. Aköz, N. G. Soydan, ve O. Şimşek, "Kritik üstü açık kanal akiminin detached eddy ve large eddy simülasyon ile sayısal modellenmesi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, c. 4, s. 4, ss. 213-224, 2016.
- [21] T. Avudaiappan, V. Vijayan, S. S. Pandiyan, M. Saravanan ve S. Dinesh, "Potential flow simulation through lagrangian interpolation meshless method coding," *Journal of Applied Fluid Mechanics*, vol.11, pp. 129-134, 2018.
- [22] N. G. Soydan, O. Şimşek ve M. S. Aköz, "Prediction and validation of turbulent flow around a cylindrical weir," *European Water*, vol. 57, pp. 85-92, 2017.
- [23] R. Dutta ve T. Xing, "Quantitative solution verification of large eddy simulation of channel flow," *In Proceedings of the 2nd Thermal and Fluid Engineering Conference and 4th International Workshop on Heat Transfer*, Las Vegas, 2017, April.
- [24] M. S. Kirkgoz, M. S. Akoz ve A. A. Oner, "Experimental and theoretical analyses of two-dimensional flows upstream of broad-crested weirs," *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol.35 no. 9, pp. 975-986, 2008.
- [25] O. Şimşek, N. G. Soydan, V. Gümüş, M. S., Aköz ve M. S. Kırkgöz, "Numerical modeling of B-Type hydraulic jump at an abrupt drop," *Teknik Dergi*, vol. 26, no. 4, pp. 7215-7240, 2015.
- [26] P. J. Roache, "Perspective: a method for uniform reporting of grid refinement studies," *Journal of Fluids Engineering -Transactions of the ASME*, c. 116, s. 3, ss. 405-413, 1994.

[27] L. Eça ve M. Hoekstra, “A procedure for the estimation of the numerical uncertainty of CFD calculations based on grid refinement studies,” *Journal of Computational Physics*, vol. 262, pp. 104-130, 2014.

[28] A. Mansour ve E. Laurien, “Numerical error analysis for three-dimensional CFD simulations in the two-room model containment THAI+: Grid convergence index, wall treatment error and scalability tests,” *Nuclear Engineering and Design*, vol. 326, pp. 220-233, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Üniversite Yerleşkelerinde Erişilebilirlik Değerlendirmesi: Düzce Üniversitesi Kampüsü Örneği

 Nuray ÖZKARACA ^{a,*},  Mehmet İNCEOĞLU ^b

^a Mimarlık Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozkaracanuray@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.866597

ÖZ

Erişilebilirlik, yapılı çevrede herkes için eşit koşulların sağlanması için gerekli bir ön koşuldur. İçinde yaşadığımız iç mekânlardan dış mekânlara, yapılı çevrenin genellikle ortalama bireyler göz önünde bulundurularak tasarlanması erişilebilirlik sorunlarına neden olmaktadır. Yapılı çevrede herkes için eşit koşulların sağlanması şüphesiz ki erişilebilirliğin sağlanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu doğrultuda herkes için eğitim hakkının sağlanması da yapılı çevrenin erişilebilir olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Eğitim alanları özellikle de üniversite yerleşkeleri kullanıcı çeşitliğini oluşturan tüm bireyler için bütün alanların ve unsurların erişilebilir ve kullanılabilir olması son derece önemlidir. Üniversite yerleşkelerinde, herkes için erişilebilirlik, evrensel tasarım/kapsayıcı tasarım veya herkes için tasarım gibi kavramlar son yıllarda yerleşke planlamada dikkate alınmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, Düzce Üniversitesi Konuralp yerleşkesinin engelli kullanıcılar için mevcut erişilebilirlik durumu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen tespitler sonucunda kampüs alanındaki erişilebilirlik sorunlarının neler olduğu ortaya konularak erişilebilirlik haritası oluşturulmuştur. Bu çalışmanın ilgili alanda mevcut erişilebilirlik sorunlarının tespiti konusunda bir kaynak oluşturma ve üniversite yerleşkelerinde bu şekilde yapılacak çalışmalar ile eğitim alanlarında evrensel erişilebilirlik anlayışının oluşturulmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmanın nihai amacı ise erişilebilirlik olanaklarını ortaya koymak ve bu doğrultuda erişilebilirlik haritası oluşturmaktır.

Anahtar Kelimeler: Erişilebilirlik, Mekânsal/fiziksel erişilebilirlik, Yapılı çevre, Evrensel tasarım, engel(li)

Accessibility Assessment in University Campuses: Case of Duzce University Campus

ABSTRACT

Accessibility is a necessary precondition for ensuring equal conditions for everyone in the built environment. From the interiors we live in to the outdoors, the built environment is generally designed by considering the average individuals causing accessibility problems. Providing equal conditions for everyone in the built environment is undoubtedly achieved by ensuring accessibility. In this respect, ensuring the right to education for everyone is directly related to the accessibility of the built environment. It is extremely important that all areas and elements are accessible and usable for all individuals who make up the user diversity in educational areas, especially in university campuses. In university campuses, concepts such as accessibility for all, universal design / inclusive design or design for all have been taken into account in campus planning in recent years. In this study, the current accessibility status of Düzce University Konuralp campus for disabled users was tried to be revealed. As a result of the findings obtained, the accessibility map was tried to be drawn by revealing the accessibility problems in the campus area. It is thought that this study will contribute to the creation of a resource for the determination of the existing accessibility problems in the relevant field and to create a universal accessibility understanding in the fields of education with the studies to be carried out in university campuses. The ultimate aim of the study is to reveal the accessibility possibilities and to create an accessibility map in this direction.

Keywords: Accessibility, Spatial / physical accessibility, Built environment, Universal design, disabled

I. GİRİŞ

Toplumları oluşturan bireyler çok çeşitli kullanıcılardan oluşmaktadır; çocuklar, gençler, yaşlılar, hamileler, hastalar, fazla kilolular, geçici veya kalıcı bir engelden etkilenenler, fiziksel veya zihinsel engelliler [1]... Yapılı çevrede, tasarımların genellikle ortalama kullanıcı gruplarına (insan çeşitliliğinde geneli teşkil eden) yönelik yapılaşma anlayışı [2] bulunan yapılaşma çevreden toplumları oluşturan tüm kullanıcıların eşit şekilde faydalanamama durumunu ortaya çıkarmakta ve engelli(lik) sorunlarına neden olmaktadır. Yani engellilik durumu kullanıcıdan değil tasarımların sonucu olarak ortamlardan kaynaklanmaktadır. Engelliğe neden olan ortamları daha somut olarak anlatmak gerekirse Turckcell'in Engelsiz Yaşam Eğitimleri: Görme Engelliler çalışmasında Engelsiz Erişim Derneği Başkanı Dr. Engin Yılmaz tarafından aşağıdaki sözler ile ifade edilmiştir:

“...Benim için kör olmak bir engel değil. Ama bir kısa boylu insan için yüksekte yapılmış terekler ne kadar bir engelse, mürekkep baskı ile basılı bir kitabı okumak da benim için o derece bir engel. Kör olduğum için okuyamıyor değilim o kitabı. Aksine bana uygun şartlarda, gerekli uyarlamalarda basılmadığı için okuyamıyorum ben o kitabı. Ben körüm, yolda yürümek benim için bir engel değil. Ama kaldırımların ortasına ağaç diktiğinizde, mantarları gelişigüzel yerleştirdiğinizde, masaları kasaları kendilerinize ayrılan alanın dışına taşırdığınızda, o zaman körlük benim için bir engelle dönüşüyor. Tıpkı bir sağırın işaret dili olmayan bir ortamda konuşulanları anlayamaması sağırlığından kaynaklanmıyorsa benim içinde okulumdaki bir sınıfı bulmak, sınıfın kapısında Braille alfabesi ile yazılı bir etiket yoksa aynı şekilde bir engelle dönüşüyor...” [3].

Tasarımlarda önemli bir gereklilik olması gereken “tam katılım” ve “fırsat eşitliği” nin sağlanması şüphesiz ki erişilebilirliğin sağlanması ile mümkün olmaktadır. Erişilebilirlik kavramının tanımı kaynaktan kaynağa değişmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne erişilebilirlik sağlık tesislerinin, mal ve hizmetlerin herkes tarafından yararlanılabilir olma durumudur ve devletlerin, tüm vatandaşlarına sağlanması gereken temel bir haktır. Erişilebilirliğin bu tanımlaması; ayrımcılık yapmama, fiziksel erişilebilirlik, ekonomik erişilebilirlik ve bilgi erişilebilirliğini kapsamaktadır [4]. İspanyol Akademisi Sözlüğü erişilebilirlik kavramını “erişilebilir olmanın kalitesi” olarak tanımlamaktadır. Mimarlık disiplininde ise erişilebilirlik çevreye ve alanlara kolay erişimin kalitesi olarak tanımlanabilir [1]. Erişilebilirlik, kamusal kentsel mekânda önemli bir kalite göstergesidir [5], [6]. Madanipour kamusal kentsel mekânı herkes tarafından fiziksel olarak erişilebilir mekânlar olarak tanımlamıştır. Lynch erişilebilirliği, işlevsel kalite konusunda belirlediği dokuz kriterden biri olarak belirlemiştir [6]. Özetle erişilebilirlik dış dünyanın erişilebilir olma halidir ve engellilik dış dünyadan kaynaklanan engellenme hali ve yeteneklerin kaybettirilmesi halidir. Bu doğrultuda kaliteli ve nitelikli yapılaşma çevrelerden bahsedebilmek için erişilebilirliğin sağlanması bir gereklilikten öte zorunluluk haline gelmiştir.

Yapılı çevrede herkes için eşit koşulların sağlanması şüphesiz ki erişilebilirliğin sağlanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu doğrultuda herkes için eğitim hakkının sağlanması da yapılaşma çevrenin erişilebilir olmasıyla doğrudan ilişkilidir. Eğitim alanları özellikle de üniversite kampüsleri, kullanıcı çeşitliliğini oluşturan tüm bireyler için bütün alanların ve unsurların erişilebilir ve kullanılabilir olması son derece önemlidir. Bu nedenle kampüs planları ve tasarımı bütüncül, sürdürülebilir ve geliştirilebilir olmasının yanı sıra herkes tarafından erişilebilir olması önemli bir zorunluluktur. Kampüs planlaması açısından vurgulanması gereken üç önemli gereklilik; güvenlik, sosyal katılım ve “erişilebilirlik” olarak ifade edilmektedir [7]. Engelli öğrencilerin erişilebilirlik gereksinimleri, engelleme durumunun türüne, durumun ciddiyetine ve bazı durumlarda öğrencinin geçirdiği durumun süresinin uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir [8]. Kullanıcı çeşitliliğinde olduğu gibi engellilik durumu da kendi içinde çeşitlilik göstermekte ve erişilebilirliğin kapsayıcı olması beklenmektedir.

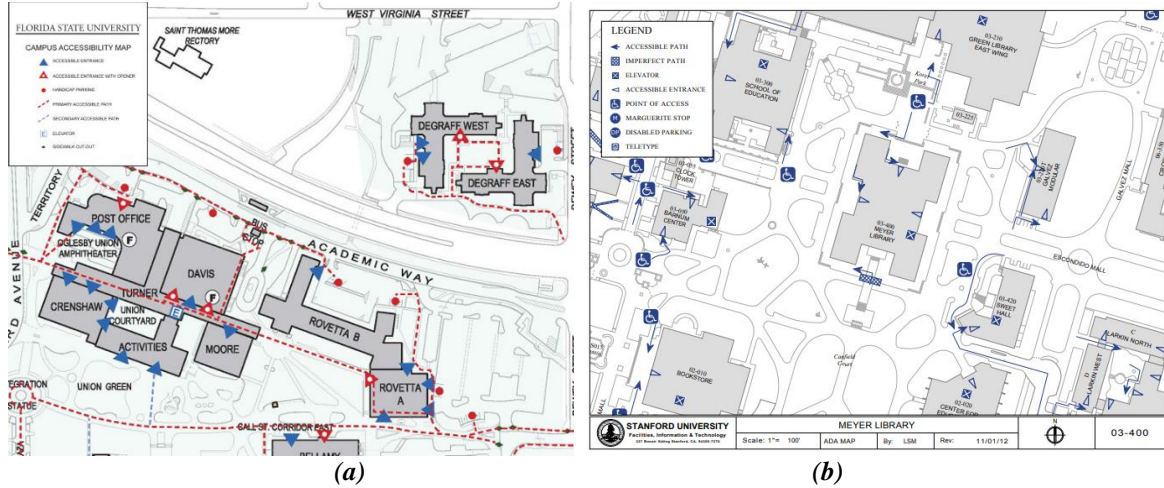
Bu çalışmada kapsamında ise üniversite yerleşkelerinde bina iç mekânlarının erişilebilirliğinden önce binalara yerleşke içerisinde ulaşımın erişilebilir olması gerekliliğinden hareketle örneklem alan olarak seçilen Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi yapılaşma ile çevresel ilişkilerinin mevcut erişilebilirlik düzeyinin tespit edilerek haritalara aktarılması ve iyileştirici önerilerde bulunularak katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak kampüslerde erişilebilirlik dünyadan ve Türkiye'den uygulamalar incelenmiş ve ilgili literatür ile desteklenerek aktarılmıştır. Daha sonra örneklem alan olan

Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi (Merkez Yerleşke) tanıtılmış ve erişilebilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir.

A. KAMPÜSLERDE ERİŞİLEBİLİRLİK: DÜNYADAKİ UYGULAMALAR

Dünyada engelli haklarına yönelik birçok yasal düzenleme bulunmaktadır. Bu düzenlemeleri getiren ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere vb. ülkeler gelirken Türkiye’de de konuya ilişkin düzenlemeler yapılmaktadır [9]. Türkiye’de engellilerin sahip olduğu haklar bilinmekle birlikte yapıları çevrenin engellilerin fiziksel erişilebilirliğine hizmet edecek şekilde düzenlenmesine yönelik çalışmalar yetersiz kaldığı görülmektedir [10]. Yapılı çevrenin erişilebilirlik sorunsalına yanıt olarak bazı ülkeler engelli insanların hareketliliğini ele alan özel standartlar yayınlamışlardır. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Engelli Amerikalılar Yasası (ADA) ve Mimari Engeller Yasasıdır (ABA) [11]. 1968 yılında kabul edilen ABA, yapıları çevreye erişimi ele alan ilk yasalardan biridir. Engelli Amerikalılar Yasası (ADA), engelli kişiler açısından önemli bir yasa olup engellilik hakkında uygulamalar ve erişilebilirlik standartlarını kapsamaktadır.

ADA standartlarına uygun olarak bazı üniversiteler ve eğitim kurumları kullanıcılarına erişilebilirlik haritaları (accessibility map) sağlamaktadır (Şekil 1). Kampüs erişilebilirlik haritaları genellikle engelli öğrencilerin üniversite veya eğitim kurumlarına gidiş geliş sağlarken kullanılabilecekleri erişilebilir rota gösterimlerinden ve günlük yaşam aktivitelerine yardımcı olacak kaynaklardan oluşmaktadır [12]. İyi tasarlanmış bir kampüs erişilebilirlik haritası, navigasyon yolları, erişilebilir girişler, rampalar, asansörler ve tuvaletler gibi gereksinimleri sunan, tesisler açısından erişilebilirliği artırmak için oldukça önemli bir uygulamadır. Erişilebilir kampüs haritası, ana yolları ve binaları, ayrıca erişilebilir giriş noktalarını ve park yerlerini açıkça gösteren basit ama bilgilendirici bir kullanım sağlamaktadır. Erişilebilirlik haritaları, kampüste yeni olanlar tarafından da sıklıkla kullanılmakta ve çevrimiçi olarak bulunmasının yanı sıra çeşitli tabelalara veya baskılara yerleştirilebilmektedir [13].



Şekil 1. Kampüs erişilebilirlik haritası (a) Florida Eyalet Üniversitesi'nin bir bölümü ve [14] (b) Stanford Üniversitesi'nin bir bölümü [15].

Karimi, Zhang ve Benner (2014) “Kişiselleştirilmiş erişilebilirlik haritası (PAM): engelli insanlar için yeni bir yardımcı yol bulma yaklaşımı” (Personalized accessibility map (PAM): a novel assisted wayfinding approach for people with Disabilities) adlı çalışmalarında 20 ABD üniversitesinin erişilebilirlik haritalarını inceleyerek sıklık sırasına göre erişilebilirlik katmanları belirlemişlerdir. Bu katmanlar; erişilebilir girişler, asansörler, rampalar, korkuluklar, tuvaletler, otoparklar, duraklar, erişilebilir binalar, kısmen erişilebilir binalar, yardımcı erişilebilir binalar, erişilemeyen binalar, gelecekte erişilebilir binalar, asansörlü girişler, dinlenme alanları, TYT telefonları ve yardımcı dinleme cihazlarıdır [12].

Mavi Kart sahipleri için tesis içi özel park yeri	Evet- 2 mekan	Erişilebilirlik Sembolleri
Mavi Rozet sahipleri için 200m içinde halka açık otopark	Hayır	
Yakındaki diğer park yerleri	Evet	
Ana giriş	Seviye, Elektrikli kapı	
alternatif giriş	Yok	
Tekerlekli sandalyeye uygun tuvaletler	Evet - 8	
asansör	Evet	
İşitme destek sistemleri	Hayır	

(a)

(b)

Şekil 2. Kampüs erişilebilirlik kılavuzu (a) Oxford Üniversitesi Spor Kompleksi için erişilebilirlik kılavuzu ve [16] (b) Bristol Üniversitesi Yaşam Bilimleri Binası için erişilebilirlik kılavuz sembolleri [17].

Bazı üniversiteler ve eğitim kurumları kullanıcılarına erişilebilirlik haritalarının dışında bir yer veya alanın erişilebilirliğini değerlendirebilmeleri için detaylı bilgiler içeren erişilebilirlik kılavuzları (accessibility guides) yayınlamaktadırlar (Şekil 2). Bu kılavuz “kampüs yapıları için tekerlekli sandalye erişilebilirliği ve diğer engelli erişilebilirlik bilgilerini detaylandıran çevrimiçi bir harita/kılavuz sistemi” olarak tanımlanabilmektedir. Kampüs erişim kılavuzlarında kampüsteki tüm binaların yer aldığı bir liste bulunmaktadır. İstenen bina veya binalar seçilerek yapının konum, kullanım, giriş ve sirkülasyon, tuvaletler, park yerleri ve ulaşım gibi bilgilerine ulaşılır [18]. Tabelalara veya baskılara yerleştirilmiş bir şekilde bulunan erişilebilirlik kılavuzlarına çevrimiçi olarak da ulaşılabilen ve engelli kullanıcıların erişimi için tasarlanmış web erişilebilirlik araçları (accessibility tools) ile farklı engelli türü olan kullanıcıların erişimine imkân sağlanmaktadır.

Öncelik 2: ERİŞİLEBİLİR YAKLAŞIM VE GİRİŞ (Dış Rotalar)

Engelli insanlar da herkes gibi siteye ulaşabilmeli, binaya yaklaşabilmeli ve binaya girebilmelidir. En az bir erişilebilir rota, herkes için güvenli ve erişilebilir olmalıdır.

<p>1. Zemin ve Zemin Yüzeyleri</p> <p>Erişilebilir rotalardaki zemin, zemin ve yürüme yüzeyleri sabit, sağlam, pürüzsüz ve kaymaya karşı dayanıklı mı?</p> <p>Not: "Erişilebilir rota", eğimi %5'ten (1:20) fazla olmayan kapılar, rampalar, kaldırım rampaları, asansörler, platform asansörleri ve diğer yürüme yüzeylerinden oluşabilir.</p>	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır		<p>Öncelik 2: ERİŞİLEBİLİR YAKLAŞIM VE GİRİŞ (Dış Rotalar)</p> <p>8. Rampalarda Korumacı Kenarlar</p> <p>Rampalar ve inişlerde kenar koruması var mı?</p> <p>Not: Kenar koruması şu şekilde sağlanabilir:</p> <ol style="list-style-type: none"> Bir rampanın zemin yüzeyini uzatarak veya korkuluğun en az 12 inç ötesine inerek veya, Koltuk değneklerinin, tekerlekli sandalyedeki tekerleğin veya diğer hareketlilik yardımcısının rampanın kenarından veya inişten geçmesini önleyen bir bordür veya bariyer. <p>Örnekler:</p> <ol style="list-style-type: none"> en az 4 inç yüksekliğinde bordür, yerden veya duvardan 4 inçten fazla olmayan yatay raylar 4 inçten daha az aralıklı dikey korkuluk, tekerlekli sandalyedeki tekerleğin ve diğer hareket yardımcılarının rampanın kenarından çıkmasını önlemek için kullanılabilir. 	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır	
<p>2. Yüzey Düzeyindeki Değişiklikler</p> <p>Erişilebilir yollar üzerindeki tüm zemin ve zemin yüzeyleri ani seviye değişikliklerinden arındırılmış mı?</p> <p>Yüzey seviyesi değişiklikleri, yüksekliği 1/4 inçten fazla olamaz. Dikley yükseklik değişikliklerinin yüksekliği 1/4 ila 1/2 inç arasında olduğunda, seviye değişikliği eğimli mi?</p> <p>Not: 1/2 inçten fazla olan her şey bir rampa olarak kabul edilir.</p> <p>Yükseklik olarak 1/2 inç'li aşan yüzey seviyesindeki değişiklikler için rampalar sağlanmış mı? (5. ve 6. sayfalardaki rampa gereksinimlerine bakın).</p>	<input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır <input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır <input type="checkbox"/> NAV <input type="checkbox"/> Evet <input type="checkbox"/> Hayır <input type="checkbox"/> NAV				

Şekil 3. Washington Eyalet Üniversitesi erişilebilirlik kontrol listesinin bir bölümü [19].

Erişilebilirlik kontrol listesi (accessibility checklist) erişilebilirlik standartlarına yönelik hazırlanan değerlendirmeye yönelik bir uygulamadır (Şekil 3). Kontrol listeleri, mevcut tesislerdeki gereklilikleri ve mevcut erişilebilirlik durumlarını aktararak erişilebilirlik sorunlarını ve çözümlerini belirlememize yardımcı olmaktadır. Bu tür kontrol listelerinin amacı tesisleri nasıl erişilebilir bir hale getirilebileceğini incelemektir [20]. Engelli Amerikalılar Yasası (ADA), Kolayca Ulaşılabilir Engel Kaldırma Kontrol Listesi, “Mevcut Tesisler İçin Kontrol Listesi” bölümünde mevcut binalar için standartlarda bulunan gereksinimler vurgulanmaktadır [21], [22].

Dünyadaki kampüs erişilebilirlik uygulamaları incelendiğinde;

- erişilebilirlik haritaları (accessibility map),
- erişilebilirlik kılavuzları (accessibility guides) ve
- erişilebilirlik kontrol listeleri (accessibility checklist) dikkat çekmektedir.

İlk olarak üniversite ana sayfalarında görüntülenen “Haritalar” için göze çarpan bir erişilebilirlik bağlantısı bulunmaktadır. Açılan bağlantı daha sonra bir “Erişilebilirlik Haritası” seçeneğine sahip olabilir veya etkileşimli bir harita, erişilebilirlik özelliklerini görüntüleme seçeneği sunabilir. Erişilebilirlik kılavuzları da yaygın kullanılmaktadır. Bu kılavuzlar, kullanıcılar için belirli bir bina hakkında erişilebilir rotalar, erişilebilir girişler gibi özelliklerinin yerleri ve kullanılabilirliği hakkında bilgi sağlamaktadır [18].

Margaret Milner (1977) “Erişilebilirlik için Planlama: Kampüs Değişim Planlarını Geliştirme ve Uygulama Rehberi (Planning for Accessibility: A Guide to Developing and Implementing Campus Transition Plans)” adlı kılavuzu okul ve üniversite yöneticilerine, kampüs yapılarını fiziksel engelli öğrenciler, öğretim üyeleri ve personel için erişilebilir hale getirme konusunda yardımcı olmak için hazırlanmıştır. Kılavuz, eğitim yapılarını engelli kişiler için başarıyla erişilebilir hale getiren dört kampüs vaka çalışmalarını içermektedir. Çalışmada bina erişilebilirliğini belirlemek için iki anket aracı da kullanılmıştır [23].

Maggie Coons ve Margaret Milner (1978) “Erişilebilir Bir Kampüs Oluşturma (Creating an Accessible Campus)” adlı kitabını yöneticilerin 1973 Rehabilitasyon Yasasının 504. bölümünü uygulayan düzenlemelere uyma zorluğunu aşmalarına yardımcı olmak için geliştirilmiştir. Sağlık, Eğitim ve Refah Bakanlığı (HEW) tarafından finanse edilen tüm okullar, üniversiteler ve diğer kuruluşlar, 3 Haziran 1980 tarihine kadar programlarını engelli kişiler için tamamen erişilebilir kılmak için gerekli yapısal değişiklikleri yapmak durumundadır. Kitap yapılı çevrede neyin engel teşkil ettiğini anlamaktan alan ve bina tasarımına ilişkin özel önerilere kadar erişilebilirlik için bir program geliştirmedeki adımları aktarmıştır. Çeşitli engeller ve çevrenin kullanımı arasındaki işlevsel ilişkiler anlatılarak bu işlevsel ilişkilerle ilgili tasarım gereksinimleri tanımlanmış ve gösterilmiştir. Öğretim araçlarıyla ilgili teknikler hareket engelliler için eğitim araçları, görme engelli öğrenciler için araçlar ve işitme engelli öğrenciler için araçlar olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Son bölümde erişilebilirlik için gerekli imkanlar ve finansman kaynakları tartışılmıştır [24].

Stephen Richard Cotler (1981) “Erişilebilirlik için Mevcut Kampüs Binasını Düzenleme: Erişilebilir Ürünler Kataloğu (Modifying the Existing Campus Building for Accessibility: Accessible Products Catalog)” adlı çalışmada mimarlara ve okul yöneticilerine, fiziksel engelli insanların mimari engellerden uzak bir yaşam sürmelerine yardımcı olacak ürünleri seçmelerine yardımcı olmayı amaçlamamıştır. Bu erişilebilir ürün kataloğu doğrudan üreticilerden elde edilen ürün bilgileri, tasarım tavsiyelerine ulaşmak için kullanılacak karşılaştırmalı matris sayfaları şeklinde listelenmiştir [25].

Margaret Milner (1980) “Tarihi Kampüs Yapılarını Erişilebilirliğe Uyarlanması (Adapting Historic Campus Structures for Accessibility)” adlı kitabında tarihi kampüs yapılarının iki önemli tasarım kriteri doğrultusunda tekrar uyarlanması gerekliliğini vurgulamıştır. Bahsi geçen tasarım kriterleri; tarihi binaların korunması ve kampüs yapılarının tümünün erişilebilir hale getirilmesi ihtiyacıdır. M. Milner hem eski hem de yeni yapılarda engellilere engel oluşturan yapılı çevrenin bu özelliklerinin insanın ilk inşa çabalarına kadar uzanan kökleri olduğundan bahsetmemiştir. Tarihi binaları erişilebilir hale getirme zorluğuna yeni yaratıcı bakış açısını getiren yazar soruna yenilikçi yaklaşımlar geliştirme konusunda önemli örnekler sunmuştur. Bu çalışmada kapsamında Clemson Üniversitesi, Iowa Eyalet Üniversitesi, Kansas Eyalet Üniversitesi, Kaliforniya Üniversitesi/Berkeley Üniversitesi, Colorado Üniversitesi ve Notre Dame Üniversitesi’nde tarihi kampüs yapıları incelenmiştir [26].

Kampüslerde erişilebilirlik: dünyadaki uygulamalar incelendiğinde ilgili çalışmaların 1970’li yıllara dayandığı söylenebilir. Yapılı çevrede erişimin yasal olarak ele alınmasıyla birlikte eğitim yapıları için de erişilebilirlik literatürü ortaya çıkarak hızlı bir gelişim süreci göstermiştir.

B. KAMPÜSLERDE ERİŞİLEBİLİRLİK: TÜRKİYE’DEKİ UYGULAMALAR

Türkiye’de engellilerin erişilebilirliğine yönelik ilk yasal düzenlemeler ise dünyadaki uygulamalardan yaklaşık 30 yıl sonra 1997 yılında yapılmıştır. Erişilebilirlik ile ilgili, başta İmar kanunu olmak üzere yönetmelikler ve standartlar gibi birçok yasal düzenleme bulunmaktadır. 3194 sayılı İmar

Kanunu’unda, “Fiziksel çevrenin engelliler için ulaşılabilir ve yaşanılabilir kılınması için, imar planları ile kentsel, sosyal, teknik altyapı alanlarında ve yapılarda, Türk Standartları Enstitüsünün ilgili standartlarına uyulması zorunludur.” maddesi yer almaktadır. İlgili standartlar TS 9111, TS 12576, TS 12460, TS ISO 23599, TS 13536, TS 23600 ve diğer standartlardan oluşmaktadır. İnşa edilecek çevreye yönelik olan bu standartların yanında mevcut yapı ve açık alanların erişilebilirliğine yönelik 2013 yılında Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı tarafından Erişilebilirlik İzleme ve Denetleme Yönetmeliği çıkarılmıştır [27]. Erişilebilirlik İzleme ve Denetleme Yönetmeliğinde yer alan formlar EK- I (Binalar için) (Şekil 4), EK-II (A. Yaya Kaldırımları, B. Yaya Geçitleri, C. Duraklar, D. Otoparklar, E. Halka Açık Telefon Kulübeleri, F. Halka Açık Tuvaletler ve G. Kent Parkları) ve EK-III den oluşmaktadır [28].

SORUNUN İDARI PARA CEZASINA ESAS SORU OLMASINA İLİŞKİN İBARE	SORU NO	SORULAR	CEVAPLAR	İDARI PARA CEZASININ UYGULANMASI ESASI
D. BİNA GİRİŞİ				
1. Binanın ana girişi denetim tabidir. 2. Bina ana girişinin erişilebilir olmayıp engelliler için alternatif erişilebilir giriş düzenlenmiş ise bu alternatif giriş denetim tabidir. 3. Binanın hangi girişinin denetlendiği belirtilmelidir. 4. 210 cm’den az derinliği bulunan veya kapının türüne göre uygulanması gereken uyarıcı yüzeylerin arasındaki mesafenin 30 cm’den küçük olduğu rüzgârlık kapısı arasında kalan rüzgârlık alanında hissedilebilir yürüme yüzeyi işaretli uygulanması (uyarıcı yüzey ve/veya kıtazuz iz) zorunlu değildir. 5. Bina girişi veya rüzgârlık kapısının merdiven sahanlığında bulunduğu durumlarda kapının türüne göre uygulanması gereken uyarıcı yüzey ile merdiven önünde uygulanması gereken uyarıcı yüzey ile arasındaki mesafenin 30 cm’den küçük olduğu sahanlıklarda sadece merdiven önündeki uyarıcı yüzeyin uygulanması esastır.				
Denetlenen Bina Girişi			Ana giriş <input type="checkbox"/>	
			Alternatif giriş <input type="checkbox"/>	
	D.a.1	Binanın çevresinde bahçe kotundan yüksekte kalan bir tretuvar var mıdır? Cevabınız Hayırsa D.1’e geçiniz.	<input type="checkbox"/> Evet / <input type="checkbox"/> Hayır	
*	D.a.2	Erişilebilir bina girişine erişişim sağlayacak yerde, tretuvarda kaldırım rampası düzenlenmiş midir? Cevabınız evetse EK II.AÇIK ALANLAR İÇİN ERİŞİLEBİLİRLİK İZLEME VE DENETLEME FORMU A.Yaya Kaldırımları-Kaldırım Rampaları bölümü sorularını cevaplayınız.	<input type="checkbox"/> Evet / <input type="checkbox"/> Hayır	
	D.1	Binanın kaç girişi vardır? adet	
	D.2	Binada birbirine 30 m’den fazla uzaklığı olan girişler var mıdır? Cevabınız hayırsa D.4’e geçiniz.	<input type="checkbox"/> Evet / <input type="checkbox"/> Hayır	
	D.3	Binadaki birbirine en yakın konumda bulunan girişlerin kaçının birbirlerine uzaklığı 30 m’den fazladır?adet	
*	D.4	Bina girişinin yüzeyi düz, sabit ve dayanıklı mıdır? (Tüm özellikler sağlandığında evet cevabı verilecektir.)	<input type="checkbox"/> Evet / <input type="checkbox"/> Hayır	
	D.4.a	Bina girişinin yüzeyi ıslak-kuru hâlde kaymayan malzeme ile kaplanmış mıdır?	<input type="checkbox"/> Evet / <input type="checkbox"/> Hayır	
	D.5	Bina girişinde merdivenin, rampanın veya kapının önünde herhangi bir alanda paspas var mıdır? Cevabınız hayırsa D.7’ye geçiniz.	<input type="checkbox"/> Evet / <input type="checkbox"/> Hayır	
*	D.6	Paspasların üst yüzeyleri zemin ile aynı seviyede midir?	<input type="checkbox"/> Evet / <input type="checkbox"/> Hayır	
*	D.7	Bina girişleri iyi aydınlatılmış mıdır?	<input type="checkbox"/> Evet / <input type="checkbox"/> Hayır	

Şekil 4. Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı EK I: Binalar İçin Erişilebilirlik İzleme ve Denetleme Formunun bir bölümü [29].

Erişilebilirlik ile ilgili düzenlemeler kapsamında üniversiteler için “Yükseköğretim Kurumları Engelliler Danışma ve Koordinasyon Yönetmeliği” (2010) yayımlanmıştır. Yönetmeliğin amacı; yükseköğrenim gören engelli öğrencilerin öğrenim hayatlarını kolaylaştırabilmek ve gerekli akademik ortamın hazırlanması ile eğitim-öğretim süreçlerine tam katılımın sağlanması amacıyla gerekli tedbirleri almak ve düzenlemeler yapmak üzere ilgili komisyon ve birimlerin çalışma usul ve esaslarını düzenlemektir. Bu yönetmelik kapsamında üniversite bünyelerinde Engelli Öğrenci Birimleri ile Yükseköğretim Kurulu bünyesinde Engelli Öğrenci Komisyonu oluşturulmuştur. Engelli Öğrenci Komisyonu ve Engelli Öğrenci Birimlerinin görevleri arasında “üniversite yerleşkelerinin engellilere göre düzenlenmesine ilişkin yapılanmaları takip etmek veya ettirmek, üniversite yerleşkelerinin ve yerleşkelerde bulunan binalar ile açık alanların engelli öğrenciler için erişilebilir olmasını sağlamak ve engelli öğrencilerin yükseköğrenimde karşılaşılabilecekleri ulaşılabilirlik ve erişilebilirlik sorunlarına çözüm üretmek” yer almaktadır [30].

Rae Ann Lindberg ve Ann Neal, 1977 yılında “Mimari Engeller” adlı yüksek lisans tez çalışmasında mobilite bağlamında yapı çevrenin sınırlarını incelemekte ve kampüs binalarını erişilebilirlik açısından değerlendirmektedir. Türkiye’de, üniversitelerde gerçekleştirilen erişilebilirlik düzenlemeleri genellikle

Engelli Öğrenci Birimleri tarafından yürütülmektedir. İlgili birimlerdeki uzman görevliler çoğunlukla mimarlık ve planlama alanı dışından (eğitim bilimleri, sosyal bilimler, tıp bilimleri vb.) olup nadiren bu alanlardaki uzman kişiler bulunmakta veya üniversitelerin Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlık'larında görevli inşaat mühendisi, mimar veya planlamacılar erişilebilirlik düzenlemelerinde ek olarak görev alabilmektedir [31].

Türkiye'de erişilebilirlik ile ilgili teorik araştırmalar ise son yıllarda başlamıştır. Üniversitelerin erişilebilirlik açısından değerlendirilmesine yönelik çalışmalar; Engelsiz Yerleşke için Mekânsal Erişilebilirlik Düzeyinin İyileştirilmesi Mühendislik Fakültesi ve Yakın Çevresi Pamukkale Üniversitesi, Evrensel Tasarım İlkeleri Kapsamında Üniversite Yerleşkesinde Erişilebilirliğin İncelenmesi: ODTÜ Örneği, Kamusal Alanların Peyzaj Düzenlemesi Açısından Erişilebilirliğin İncelenmesi: Dicle Üniversitesi Kampüsü Örneği Üniversite Yerleşkeleri ve Erişilebilirlik, Zorunluluktan Öte: Üniversite Yerleşkesinin Erişilebilirliği, Engelli Bireylerin Üniversite Yerleşkelerinde Ortak Mekânları Kullanabilmeleri Üzerine Örnek Bir Araştırma: Kilis 7 Aralık Üniversitesi Merkez Yerleşkesi, Erişilebilirlik Konusunda Bir Değerlendirme ve Yüksek Öğrenim Kurumlarından Bir Örnekleme Denemesi: İTÜ Öğrenci İşleri Hizmet Binası, Engelli Öğrencilerin Üniversite Yerleşkesi Dış Mekânlarında Eşit Erişimi İçin Performans Değerlendirme ve Tasarım Ölçütleri, Bartın Üniversitesi Yerleşkesi ve Çevresinin Engelliler İçin Ulaşılabilirlik ile İlgili Türk Standartları Bağlamında İncelenmesi, Engelli Bireyler İçin Erişilebilir Üniversite Kampüs Alanlarının Tasarım Stratejilerinin Geliştirilmesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Kampüs Örneği, Evrensel Tasarım İlkeleri Doğrultusunda Engelsiz Üniversite Kampüslerinin Tasarlanması ve Biçimlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Dicle Üniversitesi Kampüs Alanındaki Eğitim Yapılarının Engelli Kullanıcı Açısından Değerlendirilmesi, Bir Üniversite Yerleşkesinde Engelsiz Mekân Düzenlemesi Yapılabilirliğinin İrdelenmesi gibi üniversite yerleşkelerinde yapı, yapı grubu ve kampüs ölçeğinde sayılı çalışma tespit edilmiştir.

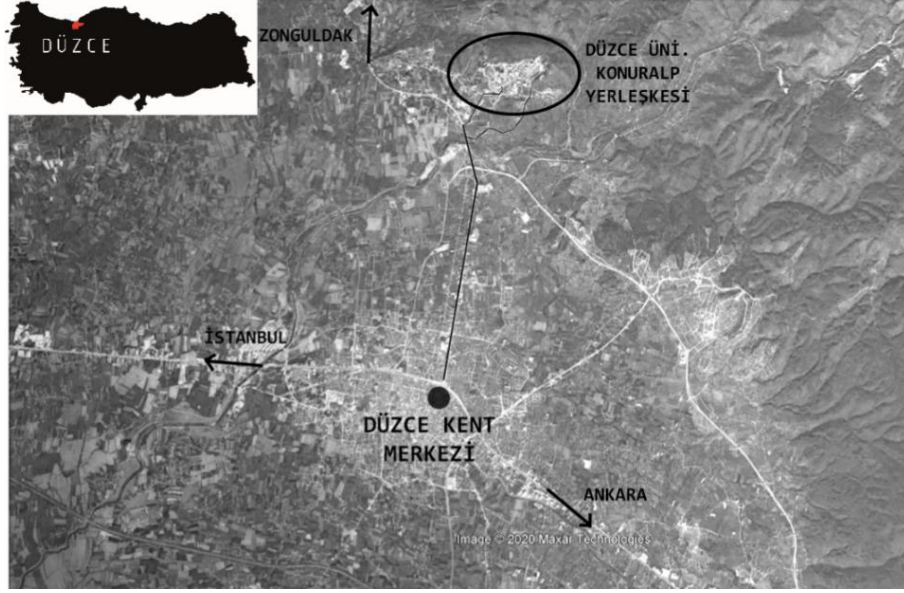
Üniversite kampüslerinin bir bölümünde fakülte veya bina ölçeğinde engelleri kaldırmak üzere yapılan çözüm önerilerinin bulunduğu çalışmalar çoğunlukta olmakta olup bütün bir kampüsü tüm yapılarıyla birlikte ele alan bütüncül yaklaşımlar oldukça azdır. Bu çalışma ise erişilebilirlik kapsamında daha önce incelenmemiş Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi örneklem alan olarak seçilmiş ve kampüste yer alan tüm yapılar ile çevresel ilişkilerinin erişilebilir olma durumu bütüncül bir bakış açısıyla ele alınılmaya çalışılmıştır.

Erişilebilirlik kavramının çok kapsayıcı bir kullanımı olduğu bilinmekle birlikte bu çalışmanın amacı engelli öğrenciler için kampüs mekânsal/fiziksel erişilebilirlik düzeyinin incelenmesidir. Bu doğrultuda tekerlekli sandalyeli, görme engelli ve yeni gelen kullanıcılara kampüs ortamında kullanım rahatlığı, yön bulma ve zamanında erişim gibi olanaklar sağlama durumu gözetilerek kampüs erişilebilirlik haritası oluşturulmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

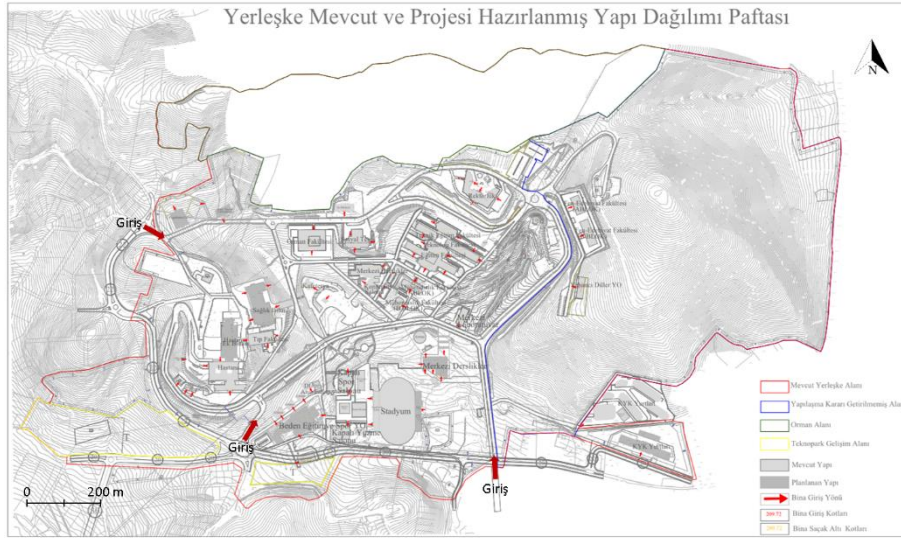
A. ERİŞİLEBİLİRLİK KAPSAMINDA BİR ALAN ÇALIŞMASI: DÜZCE KAMPÜS

Erişilebilirlik araştırmasının örneklendirilebilmesi için incelenen çalışma alanı, Karadeniz Bölgesi'nin batı kesiminde yer alan Düzce kentinde bulunmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın ana materyalini Düzce ilinde yer alan kent merkezinin kuzeyinde konumlanan Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi (Merkez Yerleşke) oluşturmaktadır (Şekil 5 ve 6). Araştırmanın diğer materyaller ise konuya ilişkin literatür kaynakları, çalışma alanında çekilen fotoğraflar, gözlemler ve analizlerden oluşmaktadır. Düzce Üniversitesi 01.03.2006 tarih ve 5467 sayılı yasayla bağlı bulunduğu Abant İzzet Baysal Üniversitesinden ayrılarak Düzce'de yeni bir üniversite kurulmasıyla oluşmuş bir devlet üniversitesidir. Düzce Üniversitesi'nde daha önce bu türden bir çalışmanın yapılmaması ve yeni kurulan gelişime açık olan bir üniversite olması sebebiyle araştırma alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanının konumu.

Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi (Merkez Yerleşke) konumu itibariyle kent merkezinin 7 km. kuzeyinde bulunmakta ve 168 hektarlık bir alana yayılmaktadır. Yerleşke içerisinde 3 enstitü (Fen Bilimleri Enstitüsü, Sağlık Bilimleri Enstitüsü ve Sosyal Bilimler Enstitüsü), 12 fakülte (Eğitim Fakültesi, İlahiyat Fakültesi, İşletme Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, Orman Fakültesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Fakültesi Tıp Fakültesi), 1 araştırma hastanesi, spor kompleksi, rekreasyon ve sosyal aktivite alanları bulunmaktadır. Yerleşkeye ait plan ve yapı dağılımı Şekil 6'da yer almaktadır. Konuralp Yerleşkesi mevcut yapıları, ek yapıları ve projeleri devam eden yapıları ile gelişime açık bir yapı dağılımı göstermektedir.



Şekil 6. Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi planı ve yapı dağılımı.

Düzce Üniversitesi Engelli Öğrenci Birimi sayfasından ulaşılan son verilere göre yerleşkede bulunan engelli kişilerin engel türleri ve sayıları Tablo 1'de gösterilmiştir. Erişilebilirliğin sadece engelli bireyler için bir gereklilik olduğu düşünülmemelidir. Tüm kullanıcılar bir engelli adayı, geçici veya kalıcı bir engellik, yaşlılık vb. durumlarda olabileceği doğrultusunda evrensel/kapsayıcı tasarım gözetilerek erişilebilirlik gerekliliğinin sağlanması gerekmektedir.

Tablo 1. Düzce Üniversitesi engelli öğrenci sayısı [32].

ENGEL TÜRÜ	SAYISI
Fiziksel Engelli	5
Görme Engelli	2
İşitme Engelli	1
Diğer	4

B. METOT

Araştırma yöntemi; veri toplama, gözlem ve fotoğraflama, analiz ve değerlendirmeye dayanmaktadır. Çalışma temel olarak literatür inceleme ve alan çalışması olarak iki aşamalıdır. Yöntem kurgusu;

1. Literatür inceleme,
2. Çalışma alanlarının belirlenmesi,
3. Gözlem ve fotoğraflama ve
4. Analiz ve değerlendirme olmak üzere 4 aşamada gerçekleşmiştir.

Bu çalışma kapsamında Konuralp kampüsünde bulunan kampüs giriş kapıları, bina girişleri, yollar, kaldırımlar, duraklar, otoparklar, açık alanlar, spor alanları, tuvaletler, kafeterya ve ATM'ler incelenerek mevcut erişilebilirlik durumları ortaya konulmuştur. Üniversite yerleşkesinde bulunan Rektörlük ve İdari Birimler binası, Orman Fakültesi, Kütüphane, Yemekhane, WC, İlahiyat Fakültesi, Teknoloji Fakültesi, Eğitim Fakültesi, Atatürk Eğitim ve Kültür Merkezi, Konferans Salonu, Mühendislik Fakültesi, Yüzme Havuzu, Spor Salonu, D.Ü. Anaokulu, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜBİT), Mehmet Akif Ersoy Eğitim ve Kültür Merkezi, Hakime Erciyas Yabancı Diller Yüksek Okulu, Üniversite Hastanesi, Düzce Üniversitesi Stadyumu, Fen Edebiyat Fakültesi A ve B blok, Mühendislik Fakültesi A ve B blok binalarının (Şekil 6) giriş erişilebilirlikleri incelenmiştir.

Ulusal ve uluslararası çalışmalar incelendiğinde;

- 1.yaya yolları ve kaldırımlar,
2. engelli otopark alanları,
3. bina girişleri,
4. rampalar ve
5. merdivenler yerleşke erişilebilirliğinde incelenmesi gereken temel ölçütler olarak belirlenmiştir. Bina iç mekânlarının erişilebilirliğinden önce binalara yerleşke içerisinde ulaşımın erişilebilir olması gerekmektedir. Bu doğrultuda ilk olarak kampüs yapılarına olan erişilebilirlik durumu incelenmiştir.

III. BULGULAR

Bulgular bölümü yerleşke erişilebilirlik kontrolü ve yerleşke erişilebilirlik haritası oluşturulması olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yerleşke erişilebilirlik kontrolü, yerleşke erişilebilirlik haritası oluşturulmasının ilk aşaması olarak da değerlendirilebilir.

A. YERLEŞKE ERİŞİLEBİLİRLİK KONTROLÜ

Yerleşke erişilebilirlik kontrolü için belirlenen mekânsal/fiziksel düzenlemeleri; ulaşım, dolaşım, yerleşke girişleri, yön-yol bulma, otopark alanları, ortak alanlar [33] ve yapı girişlerini kapsamaktadır. Konuralp yerleşkesine toplam üç girişten (kuzey-batı girişi, güney-batı girişi ve güney girişi)

erişilebilmektedir. Bunlardan biri yalnızca yaya erişimi için (güney-batı girişi) diğer iki giriş (kuzey-batı girişi ve güney girişi) hem yaya hem de araç erişimi için kullanılabilir. Yaya girişlerinde iki girişte turnike bulunmakta olup turnikesiz geçiş olmadığı için tekerlekli sandalye için erişilebilir giriş mevcut değildir. Üçüncü giriş aktif kullanılan bir giriş olmamakla birlikte turnikesiz bir geçiş düzeni vardır (güney-batı girişi). Kampüs içerisine personellerin ve öğrencilerin araç ve otobüslerle giriş yapmalarına izin verilmektedir. Otobüslerin hepsi engelli erişimini kolaylaştıran rampa gibi donatılara sahiptir. Üniversite içerisinde hizmet veren bir servis imkânı bulunmamaktadır. Yerleşkede araçlar tüm bina girişlerine doğrudan erişim sağlayabilmektedir. Otopark hizmetleri her yapı için yakın çevrede konumlandırılmıştır.

Tablo 2. Kampüsteki yapıların giriş erişilebilirlik kontrolü.

ÖLÇÜTLER TESİSLER					
	Bina Girişleri	Rampalar	Merdivenler	Trabzanlar	Kılavuz İzler
Rektörlük Binası	+	-	-	x	x
Rektörlük İdari Birimler	+	x	+	+	x
Hâkime Erciyas Yabancı Diller Yüksek Okulu	+	x	x	x	x
Fen Edebiyat Fakültesi A Blok	+	+	+	+	+
Fen Edebiyat Fakültesi B Blok	+	+	-	/	+
Kütüphane	+	+	+	+	x
Yemekhane	+	+	+	+	x
Orman Fakültesi	+	+	+	+	x
İlahiyat Fakültesi	+	+	-	/	x
Teknoloji Fakültesi	+	+	-	/	x
Eğitim Fakültesi	+	+	-	/	x
A. Eğitim ve Kültür Merkezi	+	x	x	x	x
Konferans Salonu	+	x	+	+	x
Kafeterya	+	x	+	+	x
M. A. E. Eğitim ve Kültür Merkezi	+	-	-	x	x
Mühendislik Fakültesi A Blok	+	x	+	+	x
Mühendislik Fakültesi B Blok	+	x	+	+	x
DÜBİTED	+	x	-	x	x
Kapalı Yüzme Havuzu	+	+	-	/	x
D.Ü. Anaokulu	+	-	-	x	x
D.Ü. Stadyumu	+	x	+	+	x
Üniversite Hastanesi	+	-	-	x	x
WC	-	-	-	x	x

+ Standartlara Uygun, - Standartlara Uygun Değil, X Alanda mevcut değil, / Alanda kısmen mevcut.

Kampüste bulunan tüm yapıların bina girişleri, rampalar, merdivenler, tirabzanlar doğrultusunda “+ standartlara uygun, - standartlara uygun değil, x alanda mevcut değil, / alanda kısmen mevcut” seçenekleriyle erişilebilirlik kontrolü yapılmıştır. Ayrıca engelli otopark alanlarının var olup olmadığı incelenmiştir.

Tablo 2’de aktarılan 23 yapının erişilebilirlik kontrolü sırasıyla; Rektörlük binasının girişi standartlara uygun olup rampa ve merdivenler standartlara uygun değildir, tirabzanlar ve kılavuz izler ise alanda bulunmamaktadır. Rektörlük İdari Birimler binasının girişi, merdivenler ve tirabzanlar standartlara uygun olup rampa ve kılavuz izler ise alanda mevcut değildir. Hâkime Erciyas Yabancı Diller Yüksek Okulu binasının girişi standartlara uygun olup rampa, merdivenler, tirabzanlar ve kılavuz izler alanda bulunmamaktadır. Fen Edebiyat Fakültesi A Blok binasının girişi, rampa, merdivenler, tirabzanlar ve kılavuz izler standartlara uygun ve alanda mevcuttur. Fen Edebiyat Fakültesi B Blok binasının girişi, rampa ve kılavuz izler standartlara uygun olup merdivenler standartlara uygun değildir ve tirabzanlar alanda kısmen mevcuttur. Kütüphane, yemekhane ve Orman Fakültesi binalarının girişleri, rampalar, merdivenler ve tirabzanlar standartlara uygun olup ve kılavuz izler alanda mevcut değildir. İlahiyat Fakültesi, Teknoloji Fakültesi ve Eğitim Fakültesi binalarının girişi ve rampası standartlara uygun olup merdivenler standartlara uygun değildir, tirabzanlar ise alanda kısmen bulunmakta olup kılavuz izler alanda bulunmamaktadır. A. Eğitim ve Kültür Merkezi binasının girişi standartlara uygun olup rampa, merdivenler, tirabzanlar ve kılavuz izler alanda mevcut değildir. Konferans Salonu ve kafeterya binalarının girişleri, merdivenler ve tirabzanlar standartlara uygun olup rampalar ve kılavuz izler alanda bulunmamaktadır. M. A. E. Eğitim ve Kültür Merkezi binasının girişi standartlara uygun olup rampa ve merdiven standartlara uygun olmayıp tirabzanlar ve kılavuz izler alanda mevcut değildir. Mühendislik Fakültesi A Blok ve B Blok binalarının girişleri, merdivenler ve tirabzanlar standartlara uygun olup rampalar ve kılavuz izler alanda bulunmamaktadır. DÜBİTED binasının girişi standartlara uygun olup merdivenler standartlara uygun değildir, rampa, tirabzanlar ve kılavuz izler ise alanda bulunmamaktadır. Kapalı Yüzme Havuzu binasının girişi ve rampası standartlara uygun olup merdivenler standartlara uygun değildir, tirabzanlar ve kılavuz izler alanda mevcut değildir. D.Ü. Anaokulu ve üniversite hastanesi binalarının girişleri standartlara uygun olup rampa ve merdivenler standartlara uygun değildir, tirabzanlar ve kılavuz izler alanda bulunmamaktadır. D.Ü. Stadyumu girişi, merdivenler ve tirabzanlar standartlara uygun olup rampa ve kılavuz izler alanda mevcut değildir. WC yapısının girişi, rampa ve merdiven standartlara uygun değildir, tirabzanlar ve kılavuz izler alanda bulunmamaktadır. Özetle 22 yapının bina girişleri standartlara uygun olup 1 yapının girişi standartlara uygun değildir, 9 yapının rampaları standartlara uygun olup 5 yapının rampaları standartlara uygun değildir, 9 yapıda ise rampa bulunmamaktadır. 10 yapının merdivenleri standartlara uygun olup 11 yapının rampaları standartlara uygun değildir, 2 yapıda ise rampa mevcut değildir. 10 yapının tirabzanları standartlara uygun olup 8 yapıda tirabzan alanda mevcut değildir, 5 yapıda ise kısmen tirabzan mevcuttur. Kılavuz izler ise 2 yapıda standartlara uygun olup 21 yapıda alanda bulunmamaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Kampüsteki 23 yapının giriş erişilebilirlik dağılımı.

ÖLÇÜTLER	Bina Girişleri	Rampalar	Merdivenler	Trabzanlar	Kılavuz İzler
KONTROL					
Standartlara uygun	22	9	10	10	2
Standartlara uygun değil	1	5	11	-	-
Alanda mevcut değil	-	9	2	8	21
Alanda kısmen mevcut	-	-	-	5	-

Kampüsteki yapıların erişilebilirlik kontrolleri incelendiğinde kampüs dış mekânları ile yapı ilişkileri doğrultusunda dolaşım ve yön-yol bulmada en büyük eksikliğin kılavuz izlerin eksikliği, giriş kılavuz izlerin kesintiye uğraması, giriş merdivenlerinin standartlara uygun olmayışı (Tablo 2 ve 3), engelli otopark alanlarının alanda mevcut olmayışı veya algılanabilir durumda olmaması ve yönlendirme tabelalarının yetersizliği gibi eksiklikler olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7. Fen Edebiyat Fakültesi görme engelliler için kılavuz izler (a) Dekanlık girişi ve (b) A blok girişi.

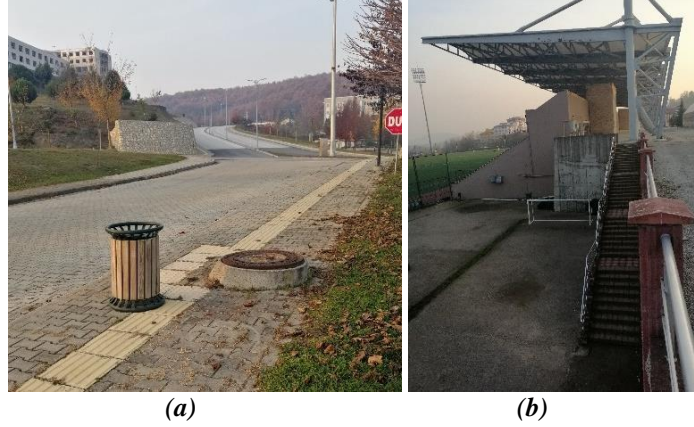
Kılavuz izlerin yapı boyunca devam ettiği Fen Edebiyat Fakültesi bu doğrultuda kampüs içinde görme engelliler için yapılan gereklilik olarak diğer yapılara örnek teşkil etmesi gerekmektedir (Şekil 7). Yapılan erişilebilirlik kontrolleri sonucunda özellikle engelli otopark eksikliği, yönlendirici tabelalar ve merdiven ve rampa korkuluklarının eksikliği dikkat çekmektedir. Binaların çoğunluğunda giriş rampası bulunmakta olup genelinde tırabzan bulunmamaktadır. Aynı zamanda donatı elemanları ve ATM'lerde yaklaşım ve kullanılabilirlik doğrultusunda eksiklikler bulunmaktadır.



Şekil 8. Kampüste bulunan bankamatiklerin durumu.

Kampüste bulunan bankamatiklerin fiziksel erişilebilirlik durumları incelendiğinde kullanılabılır ve ulaşılabilir olmadıkları tespit edilmiştir. Yol ile kaldırım arasında bulunan kot farkı ve daha sonra bankamatiklerin tasarımı bu üniteleri erişilemez kılmış ve tüm kullanıcıların bu hizmetten faydalanması sağlanamamıştır. Bankacılık Hizmetlerinin Erişilebilirliğine Dair Yönetmeliğin ATM cihazları bölümünde "...c) Tekerlekli sandalyeden ATM klavyesine erişebilmek için ATM yüksekliğinin uygun olması, ç) Tekerlekli sandalyenin ATM'ye kolaylıkla yanaşabilmesi için klavyenin altında yeterli alan bulunacak şekilde ATM'nin konumlandırılması, bunun mümkün olmadığı durumlarda ATM'ye yan yaklaşım için ATM'nin önünde yeterli alan bulundurulması, d) ATM önünde basamak veya kot farkı varsa, ATM'ye ulaşım için uygun bir rampa veya uygun diğer bir düzenleme oluşturulması, sağlanır" gibi fiziksel erişilebilirliği sağlayacak gerekliliklerin uygulanmadığı görülmektedir. ATM'lerde görme engelliler için sesli menü fonksiyonu ve kabartmalı klavyeler bulunmakla birlikte görme engellilerin bu alana ulaşabilmeleri için gerekli kılavuz izler bulunmamaktadır (Şekil 8).

Kampüs, görme engelliler için tamamen erişilebilir bir yapıda değildir. Yaya yollarında ve bina girişlerinde hissedilebilir ve yönlendirici kılavuz izlerin yer yer engelle veya kesintiye uğraması ya da tamamen ortadan kalkması görme engelli bireylerin yerleşkede yardım almadan rahat dolaşım haklarını kısıtlamaktadır (Şekil 9.a). Kampüsün genelinde kılavuz iz sirkülasyonu oluşturulmalı ve bağlantı noktalarında standartlara uygun yaya geçitleri düzenlenerek kesintisiz yönlendirme sağlanarak yerleşke erişilebilir hale getirilmelidir.



Şekil 9. Yerleşkedeki (a) engeller ve (b) spor alanlarına erişim.

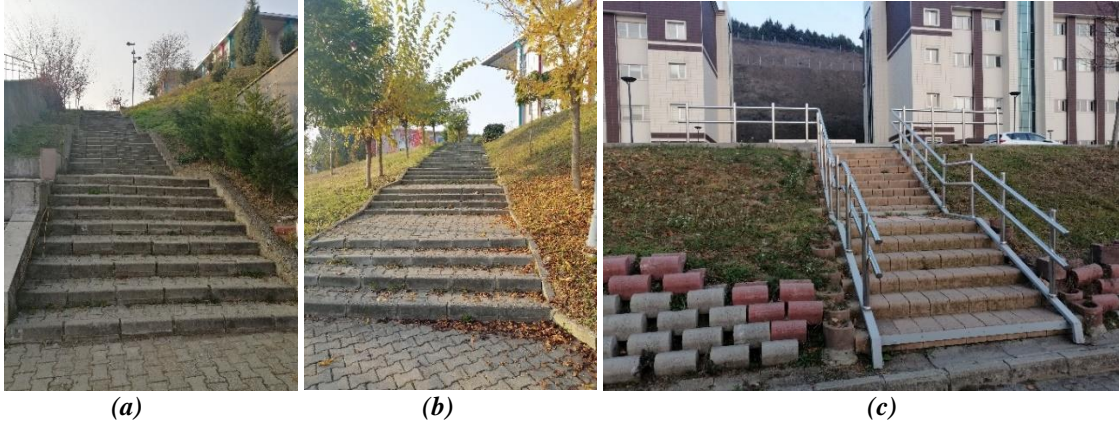
Kampüs oldukça eğimli bir arazide bulunmakta olup genel olarak kotlar, merdiven ile çözümlenerek yerleşke tasarlanmıştır. Bu doğrultuda kampüs tüm kullanıcıların eşit şekilde kullanabileceği bir yapıda değildir. Spor alanları gibi ortak kullanım mekânlarına ulaşımın merdiven ile çözümlenmesi herkes için kullanım ve erişim sorunlarına neden olmaktadır (Şekil 9.b). Bu soruna çözüm olarak yeterli alan bulunan noktalarda rampa yapımı yeterli alan bulunmayan noktalarda merdiven asansörü gibi elektronik çözümler sağlanarak herkes için eşit koşullar sağlanabilir.



Şekil 10. Yerleşkedeki (a) yaya yolları ve (b) merdiven ve rampa kullanımı.

Yerleşkedeki kot farklılıklarının neredeyse tamamında merdiven kullanımı bulunmakta olup Spor Tesislerine ulaşım için kullanılan yaya yolunda merdiven ile rampa erişiminin bir arada tasarlanmış olması kampüste gözlemlenen önemli bir erişilebilirlik yaklaşımı olarak dikkat çekmektedir. Her ne kadar rampanın eğimi oldukça fazla olsa da bu tarz yaklaşımlar ile kampüs alanlarında kullanılabilirlik ve erişilebilirlik düzeyleri artırılmaktadır (Şekil 10.a ve b).

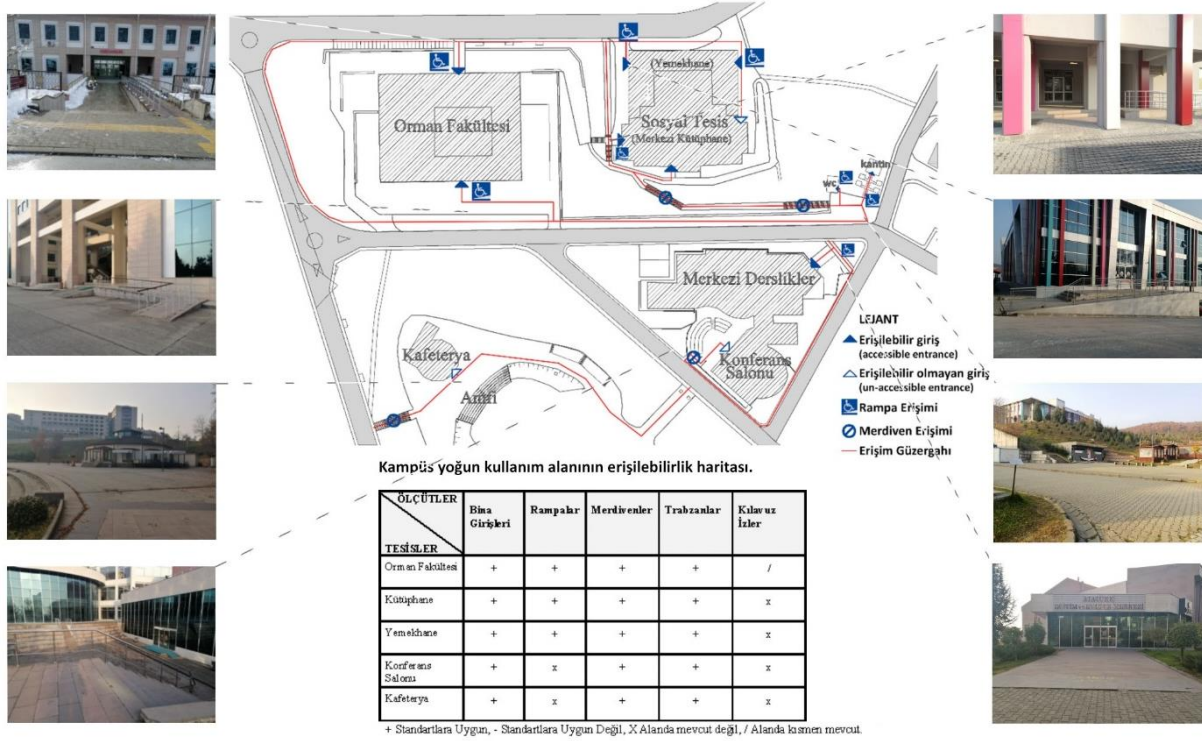
Kampüs yaya yollarının genelinde bulunan merdivenler incelendiğinde bir bölümünde trabzan mevcut iken önemli bir bölümünde trabzan bulunmadığı tespit edilmiştir. Yerleşkedeki yemekhane ve kütüphane gibi yoğun kullanılan binalara ulaşım için yaya yollarında sadece merdiven kullanılması ve kullanılan merdivenlerde trabzan bulunmaması bu binaların erişilebilirlik düzeyini zayıflatmaktadır (Şekil 11.a ve b). Fen Edebiyat Fakültesi'ne ulaşılan yaya yollarında bulunan merdivenlerde trabzan kullanımı ise erişilebilirlik düzeyini artırmaktadır (Şekil 11.c).



Şekil 11. Yemekhane ve kütüphaneye (a), (b) çıkış merdivenleri ve (c) Fen Edebiyat Fakültesi'ne çıkış merdiveni.

Erişilebilirlik kontrolleri doğrultuda elde edilen veriler aynı zamanda erişilebilirlik haritası oluştururken kullanılabilir. Bu çalışmada kampüste en yoğun kullanım varlığı olduğu düşünülen yerleşke bölümü için pilot bir erişilebilirlik haritası oluşturulmuştur. Bu pilot erişilebilirlik haritası detaylandırılarak ve genişletilerek kampüsün tamamı için yapılması planlanmaktadır.

B. YERLEŞKE ERİŞİLEBİLİRLİK HARİTASI



Şekil 12. Kampüs yoğun kullanım alanının erişilebilirlik haritası ve mevcut durumu.

Kampüs yoğun kullanım alanının bulunduğu Sosyal Tesis (yemekhane ve kütüphane), Merkezi Derslik, Konferans Salonu ve kafeterya çevresi erişim güzergâhı ve yapıların mevcut erişilebilirlik durumları bina girişleri, rampalar, merdivenler, trabzanlar ve kılavuz izler ölçütleri doğrultusunda incelenerek erişilebilirlik haritasında aktarılmıştır. Erişilebilir girişler, erişilebilir olmayan girişler, rampa erişimleri, merdiven erişimleri ve erişim güzergâhı gibi ölçütler ile aktarılan erişilebilirlik haritası tekerlekli sandalye kullanıcısı gibi ortopedik engelliler düşünülerek hazırlanmıştır. Alanda kılavuz izlerin eksikliği

veya kesintili olması görme engelli kullanıcılar için erişim sorunsalı yaratmakta olup erişilebilirlik haritasında gösterimi sağlanamamıştır (Şekil 4).

IV. SONUC

İlgili yönetmeliklerde fiziksel erişilebilirlik ile ilgili gereklilikler yer almakla birlikte uygulamaya geçilmesinde ve uygulamaların denetlemesindeki eksiklikler günümüzde mekânsal/fiziksel erişilebilirliğin sağlanamamasının en büyük nedeni olduğu ve fırsat eşitliği, eğitim hakkı gibi konularda önemli problemler açığa çıkardığı tespit edilmiştir. Kampüslerde bu problemlerin çözümlenebilmesi Engelli Öğrenci Birimleri gibi ilgili birimlerin sorumluluğundadır. Alan çalışması özelinde bu durum değerlendirildiğinde; erişilebilirlik ile ilgili “Düzce Üniversitesi Özel Gerekli Öğrenciler İçin Eğitimde Fırsat Eşitliği Yönergesi” bulunmakta olup yönergedeki gerekliliklerin bir kısmının sağlandığı önemli bir bölümünün sağlanmadığı görülmektedir. Örneğin; yönergenin üçüncü bölüm/hizmetlere erişim, mimari erişilebilirlik kısmının madde-13, d bendinde “az gören veya hiç görmeyen öğrenciler için kimseden yardım almadan dersliklerini bulabilmeleri doğrultusunda kabartma yazılar dâhil tüm gerekli tedbirler alınır” ibaresi yer almakta olup bu gerekliliğin kampüste sağlanmadığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda Düzce Üniversitesi Konuralp Yerleşkesi’nde (Merkez Yerleşke) standartlara uygun olmayan bina girişlerinde gerekli düzenlemeler yapılması, rampa mevcut olmayan yapılara rampa veya teknolojik çözümler eklenmesi, merdiven veya rampalarda tırabzan ihtiyacı olanlara tırabzanların eklenmesi, kesintili kılavuz izlerin devamlılığının sağlanması ve mevcut olmayan alanlarda kılavuz izlerin yapılması, yerleşkede yönlendirici tabelaların daha işlevsel olarak kullanılabilmesinin sağlanması, engelli otopark alanlarının planlanması veya mevcut olanların daha belirgin düzenlenmesi gibi çözümler ile erişilebilirliğin sağlanması veya artırılması gereklidir.

Yerleşkelerde erişilebilirlik rotalarının belirlenmesi ve bu rotaların haritalar ile çevrimiçi veya navigasyon bağlantılı dijital olarak ve basılı halde erişimine imkân verilebilmesi dünyadaki üniversitelerde oldukça yaygın olup ülkemizde bu tür çalışmalar yok denecek kadar azdır. Erişilebilirlik haritası kapsamında Mersin Üniversitesi Engelsiz Yaşam web sayfası oluşturularak erişim için ayrıntılı haritalar sağlamıştır. Fakat ilgili web sayfası erişime kapalıdır. Bu doğrultuda kullanılabilirliği sorgulanmaktadır. Özyeğin Üniversitesi’nin ise Turkcell iş birliği ile gerçekleştirdiği görme engellilerin sosyal hayata eşit katılımı için önemli bir adım olan “Engelsiz Kampüs” uygulaması bulunmaktadır. Bu uygulama ile görme engelli öğrencilerin kampüste de akıllı telefonlarını kullanarak sesli yönlendirmeler ile yönlerini bulmaları kolaylıkla sağlanabileceği söz konusudur [34].

Düzce Üniversitesi, Konuralp yerleşkesinde yapılan erişilebilirlik incelemeleri sonunda kampüslerde erişilebilirlik kontrolleri sağlanarak yerleşkedeki yapılar için erişilebilir güzergâhlar oluşturulması ve yapıların girişlerinde erişim ve kullanım kolaylığı gözetilerek düzenlemeler yapılması önem arz etmektedir. Oluşturulan erişilebilirlik haritaları sayesinde tüm kullanıcı grupları tarafından kolay erişim sağlanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda erişilebilirlik kılavuzları doğrultusunda yapılan kontroller önem arz etmekte ve erişilebilirlik haritaları oluşturulmasına kaynaklık etmesi bakımından bu tür çalışmaların ülkemizde artırılması gereklilikten öte bir zorunluluk haline geldiği tespit edilmiştir. Türkiye’de üniversite yerleşkelerinde erişilebilirlik çalışmalarının oldukça sayılı olması bu türden çalışmaları önemli kılmaktadır. Bu tür çalışmalar teorik bir alt yapı sunmakla beraber üniversitelerde uygulamaya geçirildiği takdirde erişilebilirlik konusunda olması gereken farkındalık oluşturularak konunun öneminin ülke gündemine taşınabilmesi sağlanabilir.

V. KAYNAKLAR

[1] J. M. J. Sandoval, “Accessibility, heritage, and project. Re-architectures for everyone,” *Millenium*, vol. 2, no.7, pp. 103-111, 2018.

[2] O. Tural, “Engelsiz Kent Engelsiz Yaşam Alanları,” *Şehir ve Toplum*, s. 11, ss. 50-60, 2018.

- [3] Turkcell, (2020). Turkcell Engelsiz Yaşam Eğitimleri: Görme Engelliler. Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2021. <<https://www.youtube.com/watch?v=juDKMZj8CaE>>.
- [4] WHO. (2017, 24 Aralık). *Human rights and health*. [Online]. Erişim:<https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/human-rights-and-health>.
- [5] EPOA (Essex Planning Officers Association), *The essex design guide for residential and mixed use areas*, England: Essex County Council and Essex Plannig, 1997, ss. 53-62.
- [6] M. İnceoğlu, “Kentsel açık mekânların kalite açısından değerlendirmesine yönelik bir yaklaşım: İstanbul meydanlarının incelenmesi,” Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [7] Ö. Yerli ve S. Özdede, “Design process of a campus plan: a case study of Düzce University Konuralp Campus,” *International Journal of Engineering Research and Application*, vol. 7, no. 4, pp. 50-59, 2017.
- [8] J. L. Hill, “Accommodating a student with a disability: Suggestions for faculty,” *The Canadian Journal of Higher Education*, vol. 22, no. 1, pp. 48-83, 1992.
- [9] M. A. Alp, “Engelliler için dış mekân kullanım olanaklarının araştırılması: İstanbul Üniversitesi Beyazıt Yerleşkesi örneği,” Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [10] E. Türkyılmaz ve E. İskender “Mimari tasarımda ulaşılabilirlik kavramının tekerlekli sandalye kullanıcıları açısından irdelenmesi,” *Megaron*, c. 13, s. 2, ss. 297-323, 2018.
- [11] US Acces Board. (2010, 24 Aralık). *ADA Guidelines*. [Online]. Erişim: https://www.ada.gov/2010ADASTandards_index.htm.
- [12] Hassan A. Karimi, Lei Zhang ve Jessica G. Benner, “Personalized accessibility map (PAM): a novel assisted wayfinding approach for people with disabilities,” *Annals of GIS*, vol. 20, no. 2, pp. 99-108, 2014.
- [13] K. Chhabra, M. Cuyugan, D. Tam ve C. Tomaszkiwicz, “An investigation into campus accessibility,” Undergraduate research, University of British Columbia, Canada, 2016.
- [14] Florida State University. (2021, 29 Mayıs). *Main campus accessibility map*. [Online]. Erişim: https://www.facilities.fsu.edu/depts/designConstr/ADA_MAP_5.php.
- [15] Stanford University. (2021, 29 Mayıs). *Campus acces guide*. [Online]. Erişim: <http://maps.stanford.edu/ada/>.
- [16] Oxford University. (2021, 29 Mayıs). *Iffley road sports complex access guide*. [Online]. Erişim: <https://www.accessguide.ox.ac.uk/iffley-road-sports-complex>.
- [17] Bristol University. (2021, 29 Mayıs). *Life sciences building access guide*. [Online]. Erişim: <https://www.accessable.co.uk/university-of-bristol/access-guides/life-sciences-building-city-of-bristol#8609a7b2-440e-e54e-b4fc-382e3123ab07>.
- [18] D. J. Raiees-Dana, “Navigation and accessibility for persons with disabilities: An anthropological study using GIS on the university of Arkansas Campus,” Theses and dissertations, University of Arkansas, Arkansas, USA, 2012.

- [19] Washington State. (2021, 29 Mayıs). *Accessibility checklist 2012*. [Online]. Erişim: [https://nwadacenter.org/sites/adanw/files/files/AccessibilityChecklist_Hotels%202012\(1\).pdf](https://nwadacenter.org/sites/adanw/files/files/AccessibilityChecklist_Hotels%202012(1).pdf).
- [20] H. I. Sarsak, "Assessing building accessibility for university students with disabilities," *MOJ Yoga & Physical Therapy*, vol. 3, no. 4, pp. 69-75, 2018.
- [21] The Americans with Disabilities Act Checklist for Readily Achievable Barrier Removal, (1995, Ağustos). *Checklist for existing facilities version 2.1*. [Online]. Erişim: <https://www.ada.gov/checktxt.htm>.
- [22] The Americans with Disabilities Act Checklist for Readily Achievable Barrier Removal (1995, Ağustos). *Checklist for existing facilities version 2.1* [Online]. Erişim: <https://www.ada.gov/racheck.pdf>.
- [23] M. Milner, *Planning for Accessibility: A Guide to Developing and Implementing Campus Transition Plans*, Washington, USA: Association of Physical Plant Administrators of Universities and Colleges, 1977.
- [24] M. Milner & M. Coons, *Creating an Accessible Campus*, Washington, USA: Association of Physical Plant Administrators of Universities and Colleges, 1978.
- [25] S. R. Cotler (1981). "Modifying the existing campus building for accessibility," in *Accessible Products Catalog*, 1st ed., Washington, USA: Association of Physical Plant Administrators of Universities and Colleges, 1981, pp. 1-127.
- [26] M. Milner (1980). *Adapting Historic Campus Structures for Accessibility*. Washington: Department of Education.
- [27] G. A. Güler & O. Tural, "Tarihi yapılarda erişilebilirlik ve kullanılabilirlik," *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, Trabzon, Türkiye, 2017, ss. 351-361.
- [28] Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı (2013, 20 Temmuz). *2020/3 sayılı erişilebilirlik izleme ve denetleme formları hakkında genelge yazdır*. [Online]. Erişim: <https://www.ailevecalisma.gov.tr/eyhgm/mevzuat/ulusal-mevzuat/genelgeler/2020-3-sayili-erisilebilirlik-izleme-ve-denetleme-formlari-hakkinda-genelge/>.
- [29] Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı (2021, 17 Ocak). *Erişilebilirlik izleme ve denetleme Formları*. [Online]. Erişim: <https://ailevecalisma.gov.tr/media/5615/erisilebilirlik-izleme-denetleme-form-kitaplari.pdf>.
- [30] T. C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. (2010, 8 Ağustos). *Yükseköğretim kurumları engelliler danışma ve koordinasyon yönetmeliği*. [Online]. Erişim: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=14214&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.
- [31] İ. U. Uyaroğlu, "Zorunluktan öte: kapsayıcı üniversite yerleşkesinin erişilebilirliği," *Mimarlık*, c. 404, ss. 70-74, 2018.
- [32] Düzce Üniversitesi Sağlık, Kültür ve Spor Daire Başkanlığı. (2020, 24 Aralık). *Engelli öğrenci*. [Online]. Erişim: <https://sks.duzce.edu.tr/Sayfa/7f5a/engelli-ogrenci>.
- [33] Ş. Özdemir, "Üniversite kampüslerinin kapsayıcı tasarım kavramına uygun hale getirilmeleri için bir değerlendirme aracı önerisi," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.



[34] Özyeğin University. (2021, 29 Mayıs). *Accessible Campus-Özyeğin University 2018*. [Online].
Erişim: https://www.youtube.com/watch?v=G_U22ZM2BgY.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

1923 Yılından Günümüze Apartman Tipi Konutlardaki Yatak Odası Gelişimi: Konya Örneği

 Betül HATİPOĞLU ŞAHİN^{a,*},  Ayşenur DAĞ GÜRCAN^b

^a Mimarlık Bölümü, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, KTO Karatay Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: betulhatip@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.868831

ÖZ

Cumhuriyetin kurulması ve sonrasında Sanayi Devriminin/endüstrileşmenin etkilerinin kentlerde hissedilmeye başlamasıyla konut sorunu ortaya çıkmıştır. Apartman tipi konut da en önemli konut sunum biçimlerinden bir tanesi olup, kentlerde kapladıkları alanlar dolayısıyla önem taşımaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen Konya kenti de konut sorunundan etkilenmiştir. Bu nedenle farklı dönemlerde farklı tipte apartmanlar kentte yerini almıştır. Belirlenen dört dönem içinde üçer adet seçilen apartman tipi konutlarla, çalışmada on iki adet apartman mekân kurgusu bağlamında irdelenmiştir. Çalışmanın amacı ise; konutun en önemli birimlerinden olan, yatma-uyuma-dinlenme-giyinme bazen yıkanma gibi temel ihtiyaçları karşılayan “yatak odası” mekânının, belirlenen dönemler içindeki değişimini irdelemek olarak belirlenmiştir. İncelenen örneklerin planları üzerinden yapılan mekân okuması, erişim grafiği ve görünür alan analizleriyle yatak odası biriminin değişimi tartışmaya açılmak istenmiştir. Konutun en kişisel/mahrem mekânı olan yatak odasının değişimini tartışmaya açmak ve gelecek çalışmalara referans olmak amacıyla bu çalışmanın önemli olacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Konut, Yatak odası, Apartman, Konya

Bedroom Development in Apartment Types Houses since 1923: The Case of Konya

ABSTRACT

Especially after the establishment of the Republic, effects of the Industrial Revolution and industrialization began to be felt in the cities with the arising housing problem. Apartment type housing is also one of the most important forms of housing production, because of the areas it occupies in cities. Konya, which was chosen as the study area, was also affected by the housing problem. For this reason, different types of apartment buildings took place in the city in different periods. In the study, three apartments selected for each specified period. Totally twelve apartments were examined in the context of the spatial setup. The aim of the study has been determined as examining the change of the "bedroom" space, which is one of the most important units of the residence and meets the basic needs such as sleeping, resting, dressing, and sometimes washing, over the specified periods. The change of bedroom unit was asked to be discussed with the location reading, justified access graph and visible area analysis made on the plans of these structures. It is anticipated that this study will be important in order to open the discussion of the change of the bedroom, which is the most personal space of the house, and to reference future studies.

Keywords: Housing, Bedroom, Apartment, Konya

I. GİRİŞ

Tarihi Roma'daki İnsula konutlarına kadar uzanan apartman yapıları kent dokusunda önemli bir yer oluşturmaktadır. Sıkışık kentlerde çok katlı barınma imkânı tanınmasından ötürü yüzyıllardır kullanılagelen bir yapı türü olmuştur. Ancak bugünkü anlamıyla bakacak olduğumuzda apartman 18. Yüzyılda Paris'te ve diğer büyük Avrupa şehirlerinde orta sınıf kiracılar için ortaya çıkmıştır [1]. Bu dönem Avrupa'sında kentlere olan göç dalgası beraberinde, yüksek arsa maliyetini de getirmiş olup bu maliyeti karşılayamayan orta sınıf için apartman, kentlerin vazgeçilmezi olmuştur [2]. Türkçeye de Fransızca *appartement* kelimesinden geçmiş olan kavram; batı kökenli dillerde bina içindeki bağımsız birim olan tek bir daireyi tanımlarken [3,4] Türkçede bu konut birimlerinin tümünü ifade eden bina anlamında kullanılmaktadır. Türkiye'de yer alan apartman tipi konutlar, 19. Yüzyıl Osmanlısı ve Erken Cumhuriyet döneminde üst-orta gelir grubuna yönelik bir konut üretim biçimiyken, zaman içerisinde hızla artan nüfustan dolayı kentlerde beliren konut sorununa çözüm olma noktasında karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda toplu konut, gökdelen, rezidans gibi farklı konut biçimleriyle kentsel dokuda önemli bir yer tutmaktadır. [5]. Bu çalışma; apartman tipi konutun Türkiye'deki gelişimini dönemsel olarak irdeleyerek, apartmanın Cumhuriyet döneminden günümüze nasıl bir gelişim gösterdiğini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda çalışmanın temel kurgusunu oluşturan ve araştırmayı özgünleştiren kısım, konutun en mahrem ve özel alanı olan “yatak odası” biriminin mekânsal gelişim ve değişiminin, dönemler üzerinden sınıflandırılarak yerel ölçekte irdelenmesi olmuştur.

A. TÜRKİYE'DE KONUT POLİTİKALARI

Apartment tipi yapıların Türkiye sınırları içerisindeki ilk örnekleri Osmanlı dönemine rastlamaktadır. Osmanlı'da kolektif yaşamın ilk temsilcisi olarak görülen, 15. Yüzyılda büyük kentlerde vakıflara ait kiralık odaların, 18. yüzyılda ise her katı bağımsız ve mutfağı, helası ayrı olan konut birimlerinin varlığı bilirse de günümüze ulaşamamıştır [2]. Batılı anlamda apartman ise 19. Yüzyıl'ın ikinci yarısından sonra başkent İstanbul'da, Müslümanların yanında daha çok azınlıklar, Levantenler ve elçilik mensuplarının yaşadığı çok kültürlü bir yerleşim olan Galata-Beyoğlu'nda görülmeye başlanmıştır [6]. Bölgedeki apartmanların mimarları ve ilk sakinleri yabancı kökenli olup, batılılaşma hareketleriyle birlikte Müslüman kesim de buradaki apartman hayatına dahil olmuştur. Fakat apartman hayatına dahil olan bu kesim batı kültürünü benimsemiş ve refah düzeyi yüksek Osmanlı elitlerinden oluşmaktaydı. Bu sürecin devamında Taksim, Sıraselviler, Cihangir, Şişli, Nişantaşı ve Teşvikiye gibi semtlerde tarihi konaklar yerini apartmanlara bırakmıştır. Ancak kat mülkiyeti kavramı henüz yasallaşmadığından, ayrıca Müslüman ailelerin güvenlik ve mahremiyet unsurlarına gösterdiği hassasiyetten ötürü bu apartmanlar yalnızca akrabaların bir arada oturduğu konutlar haline gelmiştir [7]. Müstakil ve çoğunlukla bahçe içerisinde yer alan, ahşap karkas sisteme ve sofalı plana sahip geleneksel Osmanlı konutundan farklılaşan bu apartmanlar cadde üstünde konumlanan, 5-6 katlı, tuğladan örülmüş yığma yapılarıdır. Ayrıca bu yeni yapı tipolojisinde sofa mekânı farklı olarak yorumlanmıştır. Sedat Hakkı Eldem'in Türk Evi Plan Tipleri çalışmasında sofasız, dış, iç ve orta sofalı olarak sınıflandırdığı Osmanlı konutu, son dönem İstanbul konaklarında orta sofalı tipte gelişim göstermiştir [8]. Orta sofalı şemada, sofa merkezli odalara dağılım gösteren kurgu bu yapılarda farklılaşmış, sofa-salon mekânı ortaya çıkmış ya da sofa küçülerek giriş holüne dönüşmüştür [9]. Batılı yaşamı benimsemiş Osmanlı bürokrat ve burjuva kesiminin yaşadığı bu konutlarda, iç mekân organizasyonu da Avrupalı mobilya anlayışı ile düzenlenmiştir. Aynı zaman da bu organizasyon ve mobilya tercihi yatak odası, salon gibi özelleşmiş mekânları da beraberinde getirmiş ve bu birimler apartman plan tipolojisinde yerini almıştır. Demirarslan (2006), bu durumu “Yer sofrasından masaya, döşekten karyolaya, sedir ve minderden koltuk ve iskemleye, “baş oda”dan “salon”a, “sofa”dan “koridor”a, geleneksel konuttan apartmanlaşmaya varan bir kimlik dönüşümü” olarak ifade etmiştir [10]. Osmanlı'nın son döneminde gerçekleşmeye başlayan bu kimlik dönüşümü özellikle başkent İstanbul'da etkili olmuş, yaşamın her alanında batı etkisi gözlenmiştir. Bu sürecin devamında Cumhuriyetin ilanı ile birlikte batılılaşma faaliyetleri daha çok hız kazanmış fakat dönemin atılımları İstanbul'dan ziyade Ankara üzerinde gerçekleşmiştir.

Türkiye'deki Cumhuriyet sonrası apartmanlaşmanın gelişimini tartışmaya açmadan önce, ülkemizdeki konut politikaları hakkında genel bir çerçeve çizmek doğru olacaktır. Çalışma kapsamında konut politikaları ve çalışmanın ana kurgusunu oluşturan apartman kavramının gelişim süreci açıklanacaktır. Bu noktada incelenen literatür araştırmaları ışığında Akalın'ın yapmış olduğu sınıflandırma çalışma kapsamında kullanılmıştır. Akalın bu dört dönemi:

- 1923-1950 Yılları Arasındaki Dönemi Ulus Devlet Anlayışı ve Memur Merkezli Konut Politikaları
- 1950-1980 Arası: Savaş Sonrası Planlı Dönem
- 1980-2002 Yılları Arası Liberal Dönem
- 2002 Sonrası: Adalet ve Kalkınma Partisi Dönemi olarak sınıflandırmıştır [11].

1923-1950 yılları arası Cumhuriyetin ilan edilmesiyle birlikte yeni başkentinin imar ve iskan edilmesi sonrasında, memur konutlarının üretilmesi açısından önem taşımaktadır. 1950-1980 yılları arası; kentleşmenin hızla kentlerde etkisinin görüldüğü, kırdan kente durmaksızın bir göç dalgasının yaşandığı ve bu noktada kentlerin yapısının hızla değiştiği bir dönem olmasının getirisi olarak çok çeşitli konut politikalarının yürürlüğe girmesi nedeniyle önemlidir. 1980-2002 yılları arası liberal politikaların toplum yapısına etki etmesiyle konut politikalarının da değiştiği bir dönem olarak değerlendirilmektedir. 2002 yılından günümüze olan süreç ise özellikle merkezi otoritenin değişmesiyle TOKİ ve yerel yönetimlere verilen yetkilerle konut üretiminde devlet kurumunun başrole geçmesi açısından önem kazanmıştır.

1923-1950 yılları arası dönemin en önemli özelliği Sey'in de tariflediği gibi savaştan yeni çıkmış bir ülkenin kaynaklarındaki yetersizlikle birlikte yeni sanayileşmeye başlayan kentler ve kırsal alandaki insanların yoğunluğudur [12]. Bu nedenle genel olarak bakıldığında kaynakların sanayileşmeye aktarıldığını söylemek mümkündür. Bu dönemin konut politikaları bağlamında özelleşmesini sağlayan en önemli gelişme Ankara'nın başkent olmasıdır. Bu dönemde özellikle Ankara'nın imarıyla ilgili çeşitli gelişmeler olduğunu söylemek mümkündür. Özellikle Ankara gelişmesi bir plana bağlı ilk kent oluşuyla oldukça önemli bir noktadadır. 1932 yılında Jansen Planının yürürlüğe girmesinden önce günümüzde Yenışehir olarak bilinen semtin kurulması, arsa kamulaştırılması yoluyla olmuştur. Ayrıca dönemde kentte hızla artan memur nüfusu nedeniyle konut sorununa devlet bütçesinin bir bölümünden memur konutlarına ödenek ayrılması yoluyla çözüm aranmıştır. Bu noktada Paul Bonatz'ın tasarlamış olduğu Saraçoğlu Mahallesi önemli bir adım teşkil etmektedir. 1926 yılında kurulan, ucuz konut için kredi vermek, bina yapıp satmak gibi görevleri bulunan Emlak ve Eytam Bankası'nın (1946 tarihli yasayla görevleri ve sermayesi artırılarak ismi Emlak Kredi Bankası'na dönüştürülmüştür) vermiş olduğu konut kredisiyle Saraçoğlu devlet lojmanları 1944-45 yıllarında inşa edilmiştir [13]. Özellikle sosyal yapılar ve açık alanlarla bir mahalle fikri kurma amacıyla yola çıkan planlama [14], üst düzey bürokratlar için kiraya verilmiştir [15]. Daha önce inşa edilen müstakil evlerden oluşan Bahçelievler yerleşkesine alternatif bir öneri olan bu yerleşke, sekiz farklı konut tipinden oluşan, 2-3 katlı çok aileli konut blokları olarak düşünülmüştür [16]. Saraçoğlu apartmanları, cephede yer alan çıkmaları, ahşap kafesli korkuluklara sahip balkonları, plan kurgusundaki odaların hol olarak adlandırılan sofa benzeri merkezi mekâna açılmaları ile modern milli mimari örneği olarak döneminde yankı uyandırmıştır.

Bu dönemde aynı zamanda bireysel konut üretimi de başlamıştır. Tekeli bireysel konut üretimini "Yavaş bir kentleşme, kentsel arsaların henüz spekülatif değer kazanmaması, dolayısıyla konut maliyeti içinde arsa maliyetinin düşük olması, yerel yönetimlerin yavaş olan kentleşme hızına paralel olarak yeterli alanlar planlayabilmesi ve kentsel altyapı sağlamakta önemli sıkıntılarla karşılaşmaması bu tür üretimin toplumsal gereksinmeyi karşılayabilmesi için gerekli koşulları oluşturuyor." [17] şeklinde açıklamıştır. 1930-40 yılları arasında görülen özel mülkiyete ait bu konutlar, yüksek gelirli mal sahipleri tarafından apartman dairelerini kiraya vermek amaçlı yaptırılmalarından ötürü "kira evleri" olarak adlandırılmış [5], dönemin başlıca mimarlık dergisi olan Mimar/Arkitekt'de de sıkça yer almışlardır. Bu dönemin konut mimarlığına ilişkin önemli metinsel kaynak ve proje arşivi sunan Arkitekt dergisi 1931 yılında, Zeki Sayar öncülüğünde kurulmuş, 50 yıl kadar yayın hayatına devam etmiştir. Cumhuriyetin ve Kemalist ideolojilerin çizgisine bağlı kalan dergi, dünyadaki gelişmelerden mimarlık çevresini haberdar etmenin yanı sıra, o sırada sayıları çok az olan ve Türkiye'deki uygulamalarda yabancı

mimarların gerisine itilme durumunda kalan Türk mimarların, projelerine öncelik tanımak gibi bir misyon da edinmiştir [18]. Dönemde etkin rol oynayan, Almanca konuşan ülkelerden misafir olarak ülkeye gelen yabancı mimarlar cumhuriyetin kamu binalarını modern mimarlık ilkelerine bağlı kalarak tasarlamışlardır. Aynı zamanda akademisyenlik görevini de devam ettiren Clemens Holzmeister, Bruno Taut, Ernst Arnold Egli, Paul Bonatz gibi mimarların yetiştirdiği Türk mimarlar bu ekole sadık kalmış, dönemde “kübik mimari/Ankara Kübiği” olarak adlandırılan “asri mimarlık” örneklerini tasarlamışlardır. Kamu yapılarının ihaleleri yabancı mimarlara gidince yeni yetişen yerli mimarlar müstakil ve apartman konut tasarımına yönelmişlerdir. Avrupa etkilerinin yerel teknik imkanlar ile birleştiği bu konutlar Bozdoğan’ın (2002) ifadesiyle *kıyıda kalmış modernizm* olarak adlandırılan, düz çatıları, yuvarlak köşeleri, sürekli balkonları, dairesel pencereleri ve kübik formları ile kolay tanınabilen bir estetik oluşturmaktaydı [19]. Bir önceki dönemde İstanbul, Galata’da yer alan apartmanlara göre daha küçük ölçekli, daha yalın ve süsleme unsurlarından arındırılmış olan bu apartmanlar değişen yaşam standartları ve teknolojiyle birlikte çekirdek aileye uygun ölçekte tasarlanmıştır. Bu apartmanlar genellikle bodrum üzerine üç kat ve çatı katından oluşmaktaydı [20]. Aynı zamanda cephede yatay hatların vurgulandığı pencerelere sahip, kolonatlara yer verilen, balkonları çıkma yapan, geometrik çizgiler barındıran, kübik formlu bazen de kübik ve yarı dairesel köşeli formların birlikte yer aldığı örneklerdir. Bu konutlar kâgir yığma veya betonarme taşıyıcı sistemle kurgulanmıştır. Ayrıca kaloriferin de konutlarda yer almasıyla birlikte plan kurgusu; merkezi hole/sofaya açılan veya koridora sıralanmış odalardan oluşmaktadır [5]. Aslanoğlu’nun [20] ifadesiyle bu dönemde her katta yer alan ikişer daire genellikle üç oda ve bir sofadan meydana gelmektedir. Çoğunlukla bu tip konutlar Batılı yaşamı benimseyen üst düzey memur veya orta üst sınıfa yönelik inşa edilmiştir. Bu konutlarda özelleşmiş odalar görülmeye başlanırken geleneksel Türk evinin çok fonksiyonlu olan odası ve iç mekân organizasyonu artık kaybolmuştur. Türk odasının sabit ve geleneksel donatı anlayışı, Bauhaus ekolünü takip eden çağdaş malzemelerden üretilen modern mobilyalara yerini bırakmıştır. Ancak bu modernist tutumların yanında, 1930ların sonuna doğru başlayan milli mimari arayış çerçevesinde sofa oluşumu çoğu örnekte hol adıyla devam etmiş, yüklük, sandık odası gibi birimler bazı örneklerde yerini almış, mutfaklar ise kadının mahremiyeti ile ilişkili olarak girişten uzak noktalarda konumlanmıştır. Bu dönemde holün gerekliliği mimari metinlerde vurgulanmıştır. Konuta gelen misafirin kapıdan girer girmez holde kabul edilmesi ve misafirin evin içinde gezmesinin, toplu olmayan odaları ve yatak odalarına açılan koridorları görmesinin doğru olmadığı yer almıştır [21]. Bu bağlamda apartman özelinde konu irdelenecek olursa bu geçiş dönemini yansıtan farklı apartman tipoloji denemelerinin olduğu görülmektedir. İlk dönem örneklerinde uluslararası üslubun içselleştirilmeden biçimsel yönden ele alınmış 30’lu yılların sonunda bu yapılara eleştiri oklarının yönelmesine neden olmuştur. Sedat Hakkı Eldem öncülüğünde geleneksel Türk evi, Egli önderliğinde ise Anadolu’nun yerel ve eski ev mimarisi etüd edilmiş, buradan hareketle modern mimarlığın Eldem’in ifadesi ile milli, Egli’nin ifadesi ile muhit’e göre karakter kazandığında başarılı olabileceği görüşü öne sürülmüştür [16]. Bu bağlamda Saraçoğlu apartmanlarında olduğu gibi modern ve geleneksel unsurları birlikte barındıran üslup 1940-50’ler boyunca cephede ve/veya planimetride kendini göstermiştir. Ancak gerek uluslararası gerek milli çizgiler taşıyan bu modern konutlar toplumun sadece üst orta gelir grubuna yönelik bir barınma şeklini ifade etmekteydi. 1930 ve 40lı yıllarda bu üst sınıf kentli, apartmanlaşma olgusunu başlatmış ve apartmanda oturmak bir prestij unsuru haline gelmiştir. Tanyeli’nin [22] ifadesiyle “Türk apartmanlaşmasında Modernite’ye ilişkin olan taraf, ülkeye giren yeni mimari repertuardan çok, apartman aracılığıyla zevkini ve modernliğini gösteren yeni insan” olmuştur. Apartmanın modern bir temsil aracına dönüşmesi, ülkenin çok küçük bir grubunun bu yaşam tarzına entegre olmuş olması cumhuriyetin ilkeleri ile ters düşse de işçi ve orta sınıf için küçük ve standart konut üretimini karşılayacak ekonomik ve teknik imkan yeterli değildi. 1950’lerden sonra köyden kente göçlerin artması ve gereken hesaplı konut stokunun sağlanamaması sonucunda ilerleyen dönemde bu eksikliğin yerini, gecekondulaşma dolduracaktı [16].

1950-1980 yılları arası dönem, önceki döneme kıyasla gecekondulaşma probleminin tüm ülkeye yayıldığı, yap-satçılık, kooperatifçiliğin hızla arttığı, toplu konut sunum biçiminin ise ilk örneklerinin görüldüğü bir dönem olması açısından, apartman özelinde çok önemlidir. Bu dönemde 2. Dünya savaşının bitimiyle tüm dünyada ve Türkiye’de yeniden artan sanayileşme hareketleri, ülkede köyden kente göçün yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Bu da beraberinde göç eden kesimin barınma sorununa neden olmuş ve gecekondulaşma süreci hızlanmıştır. Çoban bu dönemi “emekçinin barınma sorunu”

olarak nitelendirmekte olup, gecekondulaşmayı engelleme ve kamu arsalarının satılarak konut üretimini artırmayı hedefleyen yasaların amacına ulaşamadığını belirtmiştir [13]. Bu bağlamda dönemde ortaya çıkan ve apartmanlaşmanın gelişiminde önemli katkıları olan üretim biçimi yap-satçılıktır. 1954 tarihli Tapu Kanunu'nda yapılan değişikliklerle birlikte tek parseldeki bina üzerinden birden çok kişinin irtifak hakkı kurmasına olanak tanınması ve devamında 1965'te çıkan kat mülkiyeti kanunu yap-satçılığın doğmasında etkili olmuştur. Tekeli yap-satçılığı; orta sınıfın tek parsel üzerinde ev yapabilecek maddi gücü bulamayışından dolayı arsa ücretinin bölüşülerek mülk sahibi olma durumu olarak özetlemektedir [17]. Bu noktada yapsatçı üretim; eski az katlı bahçeli ev sahiplerinden daire karşılığı arsa temini yapılması ve alanın apartmana dönüştürülmesi, kalan dairelerin de satılıp müteahhitlerin neredeyse hiç sermaye koymadan ortaya koydukları bir sistem halini almıştır [6]. Ancak yüksek kâr amacı güdülen bu sistemle estetik ve yapı kalitesinden ödün verilmiş olup, konut mimarisinde monotonluk ve kimlik kaybının ortaya çıkması kentlerin doku ve görünümünü olumsuz etkilemiştir [23]. Bu dönemdeki bir diğer konut üretim biçimi ise kooperatifçiliktir. Özellikle işçi ve memurlardan oluşan grupların kooperatifler kurarak apartman sahibi olmaya yönelik girişimleri mevcuttur. Bu kooperatiflerin kent dışında ucuz arsalarda kurulmasıyla, toplu apartman yapımları görülmektedir [24]. Özetle bu dönemde 1950 öncesi modern mimarlık çizgilerinin vurgulandığı, kübik, küçük ölçekli, az katlı yapıların yerini kooperatifler ve Emlak Bankası tarafından üretilen savaş sonrası Avrupa'daki apartmanlaşma tipolojisinin benimsendiği, birbirini tekrar eden blok apartman yerleşmeleri almış, yap-sat düzeniyle birlikte kat yükseklikleri de artmıştır [5]. Bu dönemle birlikte apartman Türkiye için temel konut normuna dönüşmüş, beton bloklardaki standart apartman hayatı önceki dönemin kübik apartmanlarından farklılaşmıştır. Bu apartmanlara misafir odası-oturma odası ayrımı, ailenin yemek odası yerine mutfakta yemek yemesi, batı tarzı tuvalet-banyonun yanına alaturka tuvalet eklenmesi gibi geleneksel ev hayatının birçok yönü dahil edilmiştir [19]. Daha önce üst ve orta sınıfa hitap eden apartman, bu dönemde alt gelir grubunun da dahil olduğu barınma şekli olmuştur. Bu nedenle evlerin metrekareleri küçülmüş temel işlevleri karşılayan iki oda, salon, mutfak, wc ve banyodan oluşan standart bir konut tipi benimsenmiştir. Ancak 1965 Kat Mülkiyeti Yasası'ndan önce gerçekleştirilen, ailenin yaşam şekli ve gereksinimlerine uygun tasarlanmış apartmanlarda üç veya iki adetten oluşan dar holler ile konut içine dağılım görülmektedir. Bu dönemde kullanıcı talepli daha özelleşmiş mekânlar olarak hizmetçi odası, ayrı bir servis girişi, sandık odası, kiler, yüklük, vestiyer, çalışma odası ve mutfakların dar olmasından ötürü ayrı bir yemek odası konut planlarında karşımıza çıkmaktadır [25]. Bu dönemin sonlarına doğru konut planlarında girişin yer aldığı antre önceki dönemdeki sofaya göre küçülmüştür. Bu antreye bağlanan yatak odası/ları ve banyonun açıldığı gece holü oluşumu da görülmektedir. Ayrıca dönemdeki ilk örneklerde yatak odalarına yüklük donatı olarak eklenmiş, dönemin sonlarına doğru ise hâkim mobilya anlayışı olan yatak odası takımlarının içerisinde yer alan gardıroba yerini bırakmıştır.

1980-2002 yılları arası dönem Yenice tarafından "Liberal-imar afları dönemi" olarak adlandırılmaktadır. Bu dönemde özellikle gecekondular ve kaçak yapıların ruhsatlandırılmasıyla ilgili uygulamalar görülmektedir. Gecekondular alanlarının apartman türü konuta dönüşmesini amaçlayan yasalar çıkarılmıştır [26]. Ayrıca dönemdeki en önemli gelişme 1984 tarihinde Toplu Konut ve Kamu Ortaklığı İdaresi'nin kurulmasıdır. Keleş'e göre 2487 sayılı Toplu Konut Kanunu bireysel konut üretimi yerine geniş çaplı üretimini özendirilmektedir [15]. Bu bağlamda alt ve orta gelir grubunun konut edinmesine yönelik kolaylık sağlanmıştır. Ayrıca konut kooperatifleri de teşvik edilip, farklı fonlar konut edindirmeye destek olunma amacı güdülmüştür. Bu dönemde bir başka konut tipi ise genel olarak üst gelir grubu kullanıcıların tercih ettiği, kent dışında ya da çeperde kurulu, kendi kendine yetebilen "kapalı site" olarak adlandırılan yapıların ilk örnekleri görülmüştür [27]. Konutla birlikte bir yaşam tarzının da satıldığı ilk örnekler; İstanbul'da Kemer Country ve Alkent 2000 kapalı siteleridir [28]. Yine bu dönemde bir diğer barınma biçimi alternatifi ise ilk örnekleri İstanbul'da görülen; kapalı sitelerin kent dışındaki yaşam biçimine alternatif, kent merkezinde inşa edilen "rezidans"lardır. Kent merkezinde küçük parsellerde, çok katlı binalar şeklinde inşa edilen konutlar kullanıcılarına birçok farklı sosyalleşme mekânlarını sunmaktadır.

2002 yılı sonrası dönemde; merkezi yönetimin değişip, Acil eylem planının yürürlüğü girmesiyle birlikte TOKİ'nin etkin olarak konut üretimi yapması başlamıştır. Özellikle alt ve orta gelir grubu bireyleri konut edindirmeye yönelik yapılan konut seferberliği sayesinde Kurum, inşaat sektörünün baş aktörü haline gelmiştir. O tarihten günümüze olan süreçte yaklaşık 940 bin konut üretilmiştir. Bu

dönemde Türkiye’de konut oldukça çeşitli varyasyonlarda kendini göstermiş bir yanda yasallaşan gecekondu, bir tarafta tekil apartmanlar diğer tarafta blok apartmanlar, daha çok üst orta sınıfa yönelik toplu konutlar görülmektedir. 90’lar ile büyük şehirlerde başlayan fakat 2000’lerden sonra Anadolu’da da gelişme bulan kent çeperinde izole edilmiş bahçeli villalardan oluşan sitelerde yaşayan yeni bir üst sınıf yaşamı ve devamında yer alan kapalı siteler, yine üst ve üst orta sınıf için kent merkezinde yapılmış rezidanslar, çekirdek aileden ayrılan gençler, tek başına yaşayan fertlere hitap eden stüdyo apartmanlar [29], alt gelir grubu için üretilen toplu konutlar, kentsel dönüşümle gecekondu bölgelerine yerel yönetimlerce yapılan blok apartmanlar olarak yerini almıştır. İçinde bulunduğumuz bu dönemde konut yelpazesindeki çeşitlilik apartman tipolojisine de yansımıştır. Tekil birey veya çiftler için tasarlanan 1+1, 1+0 stüdyo dairelerin yanında standartlaşmış 2+1, 3+1 daire uygulamaları devam etmekte, çok çocuklu ailelerin ya da üst orta sınıfın tercih ettiği 4-5 odalı dairelere kadar büyümenin de görüldüğü gözlemlenmektedir. Lüks daire kapsamı altında emlak piyasasında yer eden 4 veya 5 odaya sahip bu evlerde önceki yıllarda görülen özelleşmiş mekânlar yeniden gündeme gelmiştir. Bu dairelerde geleneksel evlerde görülen gömme dolap/yüklük geleneği giyinme odasıyla veya sabit dolaplarla yeniden gündeme gelmiş, çamaşır odası, ütü odası, kiler, hobi odası, banyolu misafir yatak odası gibi çeşitli özelleşmiş mekânlar konut birimine eklenmiştir [7]. Ebeveyn yatak odası diğer yatak odalarından büyüklük ve donatı bakımından ayrılmış, giyinme odası ve özel banyosuyla mekân farklılaşmıştır. Bu konutlarda daire başına ayrılan birden fazla araç yeri, kapalı otopark ve otoparktan direkt daireye çıkılması gibi imkanlar kullanıcı için önemli bir tercih sebebi olmuştur.

II. MATERYAL-METOT

Çalışma kapsamında seçilen Konya kenti; Türkiye’nin yüzölçümü bakımından en büyük kenti olmasının yanı sıra aynı zamanda nüfus büyüklüğü açısından da 7. büyük kentidir. Genel olarak bakıldığında bir tarım kenti olmasına karşın, 1950’li yıllardan itibaren hızla nüfusu artmış, sanayileşme kenti de etkisi altına almıştır. Bu bağlamda planlı bir kentleşmeye sahip olsa da süregelen yıllar boyunca değişen yaşam koşulları, ekonomik durum, farklı konut politikaları nedeniyle kentin yapısı değişmiştir. Bu çalışmada; yukarıda tariflenen farklı konut politikalarının şekillendirmiş olduğu, apartman tipi özelinde mekân organizasyonunun özellikle yatak odaları ve ona bağlı sabit donatı elemanlarının nasıl bir değişim gösterdiğini tespit etmek amaçlanmıştır. Bu bağlamda yukarıda ifade edilen 4 dönem içerisinde, çalışma kapsamında incelenecek apartman örnekleri her dönem için üçer yapı olmak üzere gruplandırılmıştır. Örnekler belirlenirken konutun -yapım yılı esas alınarak- ait olduğu dönemin özelliklerini ve mimari karakterini yansıtmaya dikkat edilmiştir. Dönem özelliklerini taşıma unsuru ele alınırken konutun yapım hikayesi göz önünde bulundurulmuş, kira evi, yap-sat, kooperatif, kapalı site, toplu konut gibi her dönemde farklılaşan ağırlıklı konut üretim biçimine göre örnekler belirlenmiştir. Konutun plan kurgusu, kütle ve cephe biçimlenişi ise dönemin mimari karakterini taşıma unsuru kapsamında dikkat edilen parametreler olmuştur. Bunun yanında apartman yapılarının, Konya kentinin gelişiminde önemli olan caddeler üzerinde veya genişleyen kentin yeni yerleşim bölgelerinde konumlanma durumu göz önünde bulundurulmuştur. Mevlana Caddesi, Alaaddin Bulvarı, İstasyon Caddesi, Nağacı Caddesi üzerinde veya civarında konumlanan ilk üç dönem örnekleri kent merkezine yakın noktalarda yer alırken son dönem örnekler büyüyen kentin çeperlerinde yer alan yeni konut üretim alanlarında konumlanmaktadır. Söz konusu yapıların kent hafızasında yer etme durumu (ilk apartman, ilk kooperatif, ilk çok daireli ve yüksek katlı konutlar, dönemin ilk lüks apartmanı) da ayrıca göz önüne alınmıştır. Örneklerin planlarına arşiv ve konut literatürü üzerinden erişilebilirliği de bir diğer belirleyici nitelik olmuştur. Söz konusu araştırmanın pandemi döneminde yapılması konut içlerine girilmesine imkân tanıyamamıştır. Araştırma alanı belirlendikten sonra yerinde inceleme yapılmış, planlar bilgisayar ortamında yeniden çizilmiş ve plan kurgusu okunmuştur. Daha sonra bu apartmanların mekân organizasyonları, girişten görünürlük analizleri, erişim grafikleri ve tüm konut içerisindeki yatak odasının ve sabit donatıların kapladıkları alanlar ortaya konmuştur. İncelenen yapılara ait planların morfolojik özelliklerini tespit etmek adına Hillier ve Hanson’un 1984’te mekân dizim kuramı ve yöntemini açıkladıkları çalışmalarında yer alan mekânsal konfigürasyonu nicel olarak ifade etmek için tanımladıkları geçiş grafiği yönteminden faydalanılmıştır [30]. Konutun erişim grafiği ve dallanma yapısı tespit edilirken yatak odası ve destek birimleri mekânlarının ise mekân derinlik derecesine

bakılmıştır. Ancak graf yönteminde yer alan bütünleşme ve derinlik değerleri burada hesaplanmamış olup yalnızca sistemin dizimsel yapısına bakılarak değerlendirme yapılmıştır. Mekânsal analiz olarak görünür alan yöntemini ilk ortaya atan Benedikt, mekân içerisinde belirlenen bir nokta üzerinden görünen tüm noktaların tamamı olarak isovistleri/görünür alanı tanımlanmıştır [31]. Küçük ölçekli çevrelerin mekânsal analizi için önerilen isovistlere bu çalışmada başvurulmuştur. Konutun girişi bakış noktası olarak tanımlanmış buradan konutun içerisine bakılarak görünür alanlar taranmıştır. Görünürlük analizi yöntemi ile konutun en özel mekânı olarak kabul edilen yatak odasının mahremiyet derecesi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada aynı zamanda yatak odalarına bağlı sabit yüklük, sandık odası gibi elemanların süreç içerisinde hangi mekân ve donatılara evrildiğini ortaya koymak amaçlanmıştır. Genel bir bakış açısıyla özellikle konutun en önemli ve mahrem mekânı olan yatak odasının süreç boyunca değişiminin irdelenmiş olduğu bu çalışmanın, ilerleyen çalışmalar için bir referans kaynağı olması umulmaktadır.

A. ALAN ÇALIŞMASI: KONYA

Cumhuriyetin başkenti Ankara 1920'lerden sonra yeniden imar edilmiş, cumhuriyet ilkelerine bağlı yeni devleti temsil eden yeni bir kent kurulmuştur. Bu kentin yapılaşma süreci ve apartmanın da gelişimi diğer Anadolu kentlerine de örnek olmuştur. Modernleşme ile bağdaştırılan kübik apartmanlar, Anadolu kentlerinde çoğunlukla köyden kente göçlerin arttığı 1950'lerden sonra görülmeye başlanmıştır. Konya da bu gelişim sürecine ayak uydurmuştur. Konya kentinde apartmanlaşma 1937 yılında yapılan Hayat apartmanı istisna kabul edilirse 50'li yıllarda başlamıştır. 50'li yıllardan önce geleneksel konut üretimi devam etmektedir. Kentte büyük ölçüde yer alan bu geleneksel yapılar Konya yöresine özgü kerpiç malzemeden inşa edilen avlulu/hayatlı, mabeyinli, tek katlı, toprak damlı içe kapalı yapılarıdır [32-33]. 19. Yüzyıldan itibaren ise batı etkisinde gelişen, başkent İstanbul'daki köşkleri örnek alan iç veya orta sofalı, iki ya da üç katlı, cumbalı, kerpiç/taş yığma veya ahşap karkas iskeletli, kırma çatılı olan Osmanlı konutları görülmeye başlanmış, dönemin kentin ileri gelen sakinleri tarafından kent merkezinde inşa ettirilmişlerdir [34-35].

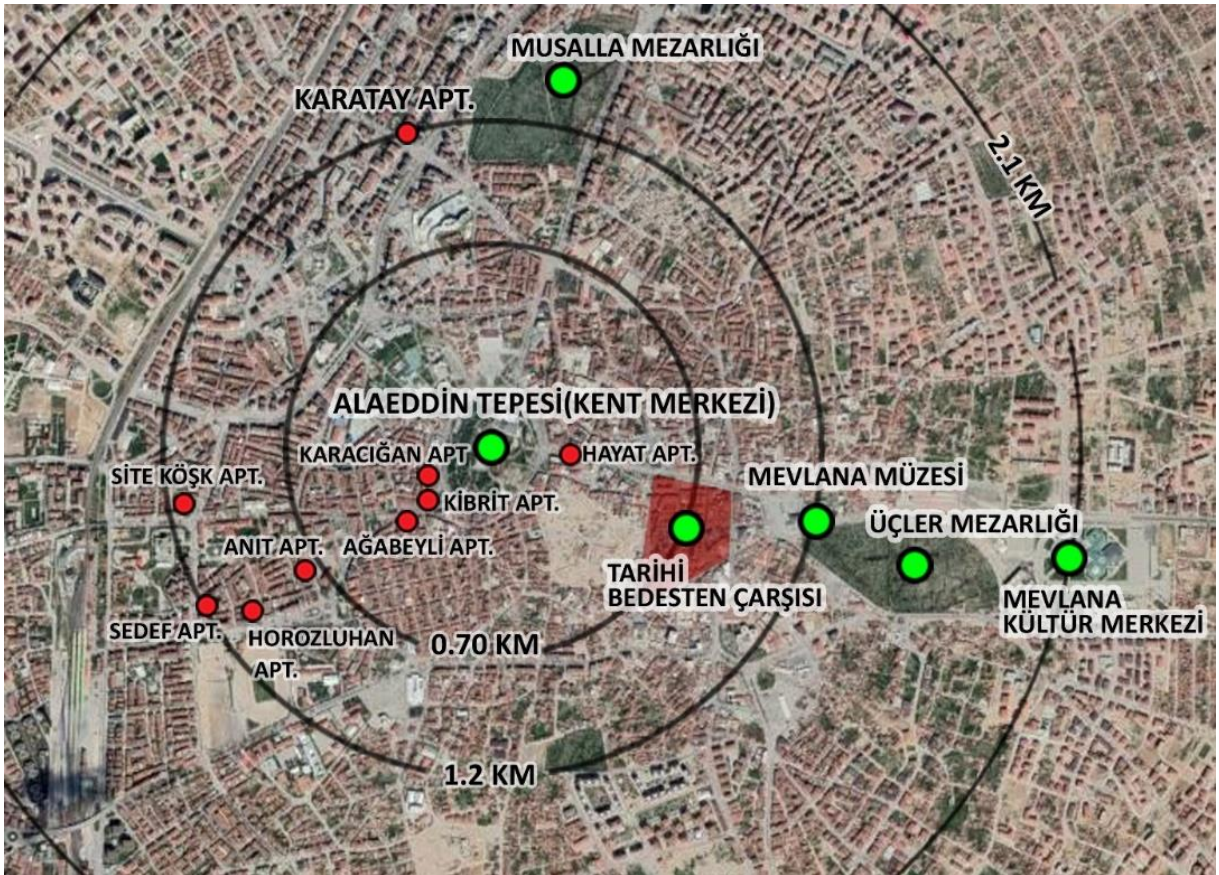
Kentin ilk apartman yapısı olan Hayat apartmanı Ankara ve İstanbul'da görülen kira evlerinin bir benzedir. Kentin önemli bir aksı olan Mevlâna caddesinde konumlanan yapı, zemin üzerine üç katlı, zemin katta dükkanların yer aldığı üst katlarda ise ikişer dairenin konumlandığı, betonarme bir yapı olup kübik apartman imgesini taşımaktadır. Bir köşede yer alan yarı dairesel formun kübik yapı ile bütünleşmesi, yatay çizgilerin pencereler ile vurgulaması dönemin özelliklerini yansıtmaktadır. 1950'lerden sonra kentte yükselen diğer apartman yapıları öncü yapı olan Hayat apartmanını izler niteliktedir. Kentte yer alan bu ilk apartman örnekleri geleneksel şemaya bağlı kalan yapılarıdır. Bu yapılarda sofa/hol oluşumu görülmekte hem dönemin karakterine hem de mabeyinli evlere öykünülmektedir. Ulusoy'a göre mutfak ve hela ise hem geleneksel alışkanlıklardan hem de tesisat birliği açısından yan yana olup, sofadan ve yaşama mekânlarından en uzak noktada konumlanmıştır [34].

1960'lı yıllarda kat mülkiyeti yasası ile ülkede yoğunlaşan apartmanlaşma faaliyetleri Konya'da da izlenmektedir. Bu dönemde kent çeperlerine doğru yayılmalar başlamış, Nalçacı caddesi gibi yeni caddeler açılmış, önceki örneklere göre daha yüksek katlı apartmanlar kooperatifler yoluyla bu bölgelerde inşa edilmiştir. Bu dönemde Konya'da Vedat Dalokay, Şevki Vanlı, Coşkun-Filiz Erkal gibi dönemin tanınmış mimarları kamu ve sivil mimari alanında eserler vermiştir. Dönemdeki önemli konut yapılarına Yeşil Meram Sitesi, Anıt Apartmanı, Horozluhan Apartmanı, Ankara Apartmanı örnek gösterilebilmektedir. 1970'ler ile birlikte özellikle Nalçacı caddesi üzerinde konumlanan yüksek katlı apartmanlar bir bir boy göstermeye başlamıştır. Bu konutların büyük çoğunluğu orta sınıfa yönelik olup, memur ve esnaf gruplarının kooperatifler yoluyla inşa ettirdiği yapılarıdır. Bu dönem yapılarına bakıldığında metrekarelerin küçüldüğü, sofa/hol mekânının yerini antreye bıraktığı, gece holünün küçülerek ebeveyn yatak odası ve banyoya açıldığı ayrıca yatak odalarındaki yüklük geleneğinin devam ettiği gözlemlenmektedir. Bunun yanından dönemin modası olan salon salamanje olarak adlandırılan oturma ve misafir bölümünden oluşan iki mekânla salon uygulaması görülmektedir. 1985 yılından sonra site tipli lüks apartmanlar ilgi görmeye başlamış [34], 1990'lı yıllar ile Meram ilçesinde siteler boy

göstermeye başlamıştır. Üst ve üst orta gelir grubu için bu konutlarda yaşamak bir prestij olarak algılanmıştır. Bunun yanında kentte apartmanlaşma devam etmiş kent merkezinde konumlanan Köşk apartmanı yine üst orta gelir grubuna hitap eden bir yapı olarak değerlendirilmiştir.

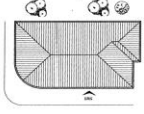
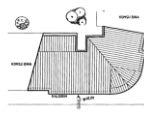
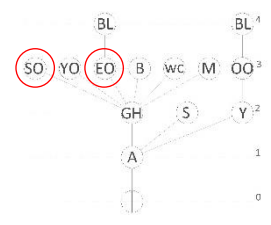
Konya kentinde alt gelir grubunun konut sorununa ilişkin çözümler ise 1960'lerden sonra başlamıştır. Bu dönemde köyden kente artan göçlerle beraber kent büyümeye devam etmiş 1969 yılında 1.nolu gecekondulu önleme bölgesi olan Aydınlık Evler olarak adlandırılan bölge tahsis edilmiştir. Bu gelişimi 1980'lerde kurulan diğer bir gecekondulu önleme bölgesi olan Cumhuriyet Mahallesi izlemiştir. 1990lar ile birlikte Selçuk Üniversitesi yakınına kurulan Bosna Hersek mahallesindeki yapı kooperatifleri ile devam etmiştir. Kent çeperlerine kurulan bu bölgeler ile Konya kentinde gecekondulaşmanın önüne geçilmiş olup alt gelir grubunun konut ihtiyacı karşılanmıştır. Bu ihtiyacı karşılamaya yönelik diğer bir adım ise 2000'lerden sonra TOKİ'nin kent çeperlerinde yapmış olduğu toplu konutlardır.

Bu çalışma kapsamında yukarıda açıklanmış olan 4 dönemi referans alan bir gruplandırmaya gidilmiştir. Şekil 1'de Konya kentinde seçilmiş olan apartmanların konumları belirtilmiştir. (Son döneme ait 3 örnek kent çeperlerinde oldukları için haritaya işlenmemiştir.) Bu bağlamda öncelikle ilk dönemde yer alan Hayat Apartmanı (1937), Kibrit Apartmanı (1951) ve Ağabeyli Apartmanı (1952) ilk grupta incelenmiştir. Kibrit ve Ağabeyli Apartmanı 1950 yılından sonra yapılmasına rağmen, mekân organizasyonu ve form bakımından 1950 yılı öncesi dönemi yansıtmaktadır. Bu bağlamda ilk grupta değerlendirilmiştir. 1950-1980 yılları arasında Anıt Apartmanı (1964), Horozluhan Apartmanı (1966) ve Karatay Apartmanı (1973) ikinci grupta değerlendirilmiştir. 1980-2002 yılları arasında Karacığın Apartmanı (1988), Site Köşk Apartmanı (1990) ve Sedef Apartmanı (1994) üçüncü grupta incelenmiştir. 2002 yılı sonrası ise dönemdeki farklı konut üretim biçimlerinden seçilen apartmanlar ise Yazır TOKİ (2007), Zermeram (2012) ve Natura Park (2013) değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında yatak odası odağında Tablo 1-2-3-4'te görülmekte olan analiz tabloları oluşturulmuştur.

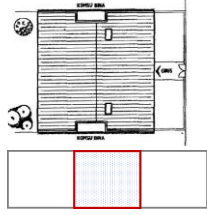
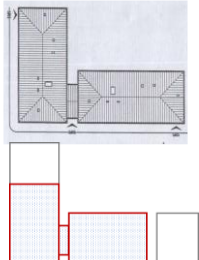
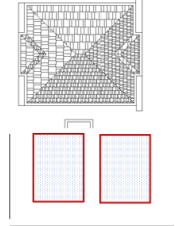
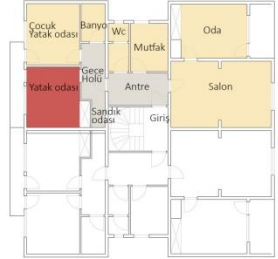


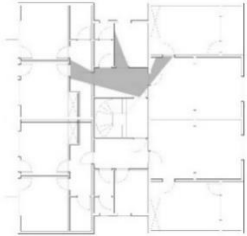
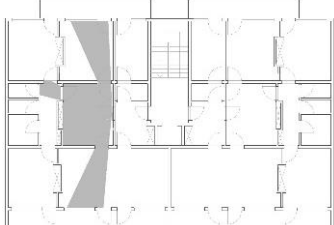
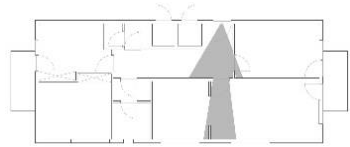



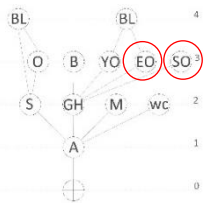
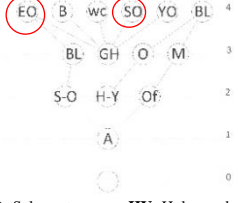
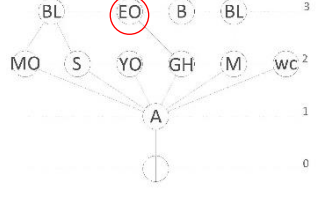


Şekil 1. Seçilen apartmanların Konya kentindeki konumu.

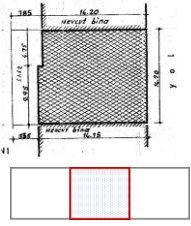




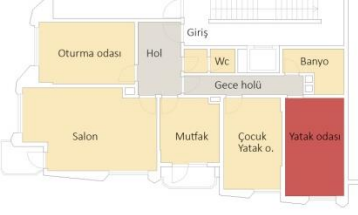
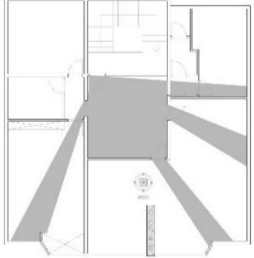
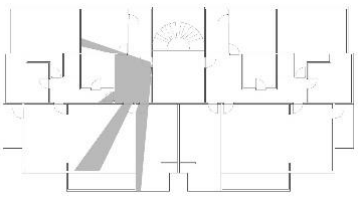
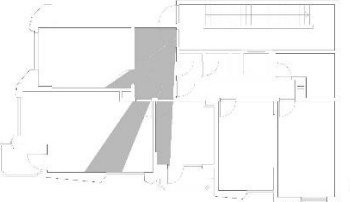



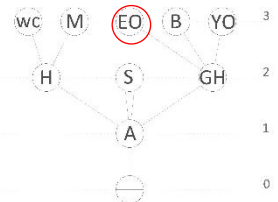
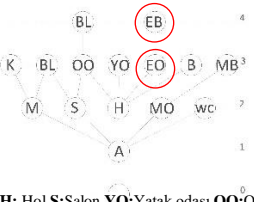
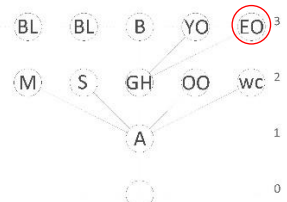
Tablo1. 1.Dönem (1923-1950) yılları arası seçilen apartmanlar (Tabloda bulunan planlar Süslü (2009) 'dan alınmış ve yazarlar tarafından yeniden çizilmiştir.

	HAYAT APARTMANI 1937- Karatay	KİBRİT APARTMANI 1951- Meram	AĞABEYLİ APARTMANI 1952- Meram
VAZİYET PLANI	 <p>Konum özellikleri: Köşe parsel Pahlı ceph Tek yönlü bitişik nizam</p>	 <p>Konum özellikleri: Köşe parsel Pahlı ceph 2 yönlü bitişik nizam</p>	 <p>Konum özellikleri: Cadde üzeri 2 yönlü bitişik nizam</p>
KAT PLANI			
GÖRÜNÜRLÜ			
YAPI FOTOĞRAFI			
ERİŞİM GRAFİĞİ	 <p>A:Antre H-S: Sofa-Hol S:Salon O: Oda EO: Ebeveyn yatak odası B: Banyo M: Mutfak BL: Balkon</p>	 <p>S-H: Sofa-Hol H: Hol O: Oda B: Banyo M: Mutfak BL: Balkon</p>	 <p>A:Antre G-H: Gece holü SO: Sandık odası S:Salon OO: Oturma odası EO: Ebeveyn yatak odası YO: Yatak odası Y: Yemek odası B: Banyo M: Mutfak BL: Balkon</p>
DEĞERLENDİRME	<p>Kütle biçimlenişi, form özellikleri ve mekân kurgusu bakımından dönemin özelliklerini taşımaktadır. Sofa oluşumu gözlenmekte ve yatak odası merkezi mekâna açılmaktadır. Yatak odasından ayrıca banyoya geçiş yapılmaktadır. Tüm ıslak hacimler girişten bağlanan bir hole açılmaktadır. Bu noktada görünürlüğü en az olan mekânlar wc, banyo ve mutfaktır.</p>	<p>Kütle biçimlenişi, form özellikleri ve mekân kurgusu bakımından dönemin özelliklerini taşımaktadır. Sofa oluşumu gözlenmekte ve yatak odası merkezi mekâna açılmaktadır. Tüm ıslak hacimler girişten sofadan bağlanan bir koridora açılmaktadır. Bu noktada girişten bakıldığında görünürlüğü en az olan mekânlar yatak odası, wc, banyo ve mutfaktır. Banyo ve yatak odası iki ayrı mekân olarak kurgulanmıştır.</p>	<p>Sofa oluşumugörülmemektedir. Antre mekânıküçülmüştür. Mutfak küçülmüş ve diğer ıslak hacimlerle birlikte ışıklığa bakmaktadır. E. Yatak odası ve Ç. Yatak odası antreden bağlanan bir gece holüne açılmaktadır. Yatak odası girişten en uzak noktaya konumlandırılmıştır. Yatak odası banyonun hemen yanında yer alırken sandık odası da konuta getirilen yeni bir mekân önerisi olarak gece holünde yer almaktadır. Yatak odasından banyoya bağlanan ikinci bir kapı bulunmaktadır. Girişten bakıldığında yalnızca salon ve oturma odası görülmektedir.</p>




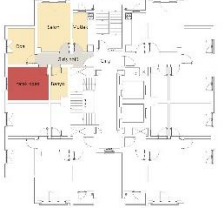
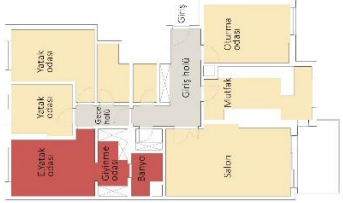

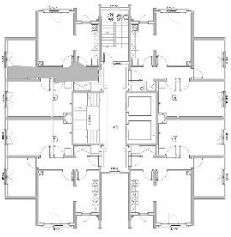
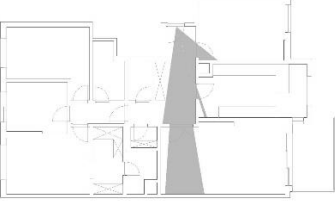




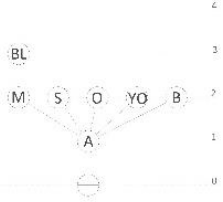
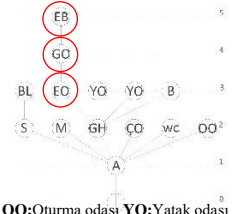
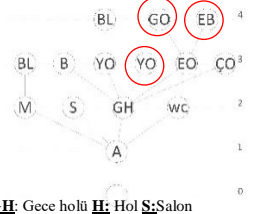
Tablo 2. 2. Dönem (1950-1980) yılları arası seçilen apartmanlar (Tabloda bulunan planlar Süslü (2009) 'dan alınmış ve yazarlar tarafından yeniden çizilmiştir.

	ANIT APARTMANI	HOROZLUHAN APARTMANI	KARATAY APARTMANI
	1964- Meram	1966- Meram	1973- Selçuklu
VAZİYET PLANI	 <p>Konum özellikleri: Cadde üzeri 2 yönlü bitişik nizam</p>	 <p>Konum özellikleri: Köşe parsel tek yönlü bitişik nizam</p>	 <p>Konum özellikleri: Köşe parsel, 2 Blok, Ayrık nizam</p>
KAT PLANI			
GÖRÜNÜRLÜK			
YAPI FOTOĞRAFI			
ERİŞİM GRAFİĞİ	 <p>A:Antre GH: Gece holü S:Salon O: Oda YO:Yatak odası EO: Ebeveyn yatak odası B: Banyo M: Mutfak</p>	 <p>A:Antre S:Salon- oturma o. HY: Hol-yemek Of: Ofis GH: Gece holü O: Oda YO:Yatak odası SO:Sandık odası EO: Ebeveyn yatak odası B: Banyo M: Mutfak BL: Balkon</p>	 <p>A:Antre MO: Misafir odası S:Salon YO:Yatak odası BL: Balkon GH: Gece holü EO: Ebeveyn yatak odası B: Banyo M: Mutfak</p>
DEĞERLENDİRME	<p>Dönem özelliklerini yansıtmaktadır. E. Yatak odası, Ç. Yatak odası, sandık odası ve banyo antreden bağlanan bir gece holüne açılmaktadır. Bu örnekte yatak odası banyodan uzaklaşmıştır. Sandık odası yatak odası yanında yer alırken yatak odasına yüklük eklenmiştir. Yatak odaları ortak bir balkona açılmaktadır. Girişten bakıldığında yatak odası mekânı dolaylı olarak görülmektedir.</p>	<p>Üst gelir grubuna yönelik olarak V. Dalokay tarafından tasarlanmış olup öncü bir yapıdır. Yatak odasına giriş ilişkisi dolaylı olarak yapılmakta olup doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır. Antreye açılan hol görevi gören yemek salonundan gece holüne bağlantı sağlanmaktadır. Gece holünde yatak odaları, sandık odası, banyo, WC, yüklük yer almaktadır. Yatak odalarında ayrıca yüklük alanı bulunmaktadır. Holden bakıldığında yalnızca gece holü görülmektedir.</p>	<p>Dönem özelliklerini yansıtmaktadır. Sofa-hol mekânı yerini antreye bırakmıştır. Gece holü küçülerek ebeveyn yatak odası ve banyoya açılmıştır. Antreden yatak odasına doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır. Yatak odasında yüklük yer almaktadır. Girişten bakıldığında yalnızca salon ve oturma odası görülmektedir.</p>

Tablo 3. 3.Dönem (1980-2002) yılları arası seçilen apartmanlar (Tabloda bulunan planlar Süslü (2009) 'dan alınmış ve yazarlar tarafından yeniden çizilmiştir.

	KARACIĞAN APARTMANI	SİTE KÖŞK APARTMANI	SEDEF APARTMANI
	1988- Meram	1990- Meram	1994- Meram
VAZİYET PLANI	 <p>Konum özellikleri: Cadde üzeri 2 yönlü bitişik nizam</p>	 <p>Konum özellikleri: Köşe parsel Bitişik 5 blok Ayrık nizam</p>	 <p>Konum özellikleri: Köşe parsel tek yönlü bitişik nizam</p>
KAT PLANI			
GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ			
YAPI FOTOĞRAFI			
ERİŞİM GRAFİĞİ			
DEĞERLENDİRME	<p>Sofa-hol geleneğinin yeniden yorumlandığı bir örnektir. Yatak odasında biri büyük, biri küçük olmak üzere iki adet yükük bulunmaktadır. Yatak odası mekân büyüklüğü açısından diğer örneklerden büyüktür. Diğer yatak odası ve banyoyla birlikte gece holüne açılmaktadır. Girişten bakıldığında yatak odası kısmı olarak görülmektedir.</p>	<p>Üst orta gelir grubuna yönelik tasarlanmış apartman dairesinde geniş bir giriş holünden yaşam alanlarına, özel banyolu misafir yatak odasına ve gece holüne geçilir. L planlı gece holüne yatak odaları ve banyonun yanında, oturma odasına ikinci bir kapı açılması yönü ile dönem örneklerinden farklılaşmaktadır. E. Yatak odası gece holünün sonunda yer almakta olup ebeveyn banyosuna sahip olan erken örneklerdendir. Yükük çocuk odasında yer alırken E. Yatak odasında giyinme dolabı için özel yer bırakılmıştır. Giriş baz alındığında görünürlüğü en az olan ve erişimi en uzak olan mekân E. Yatak odasıdır.</p>	<p>Giriş holünün yaşam mekânlarına, wc'ye ve gece holüne açılması yönü ile dönem özellikleri taşımaktadır. Gece holünde çocuk odası ile birlikte yer alan yatak odası koridorun sonunda banyo ile karşılıklı konumlandırılmıştır. Yükük artık yatak odasından kalkmıştır. Giriş baz alındığında görünürlüğü en az olan ve erişimi en uzak olan mekân E. Yatak odasıdır.</p>

Tablo 4. 4.Dönem (2002 ve sonrası) yılları arası seçilen apartmanlar (Tabloda bulunan planlar Süslü (2009)'dan alınmış ve yazarlar tarafından yeniden çizilmiştir.

	TOKİ YAZIR 2007- Selçuklu	ZERMERAM 2012- Meram	NATURA PARK 2017- Selçuklu
VAZİYET PLANI			
KAT PLANI			
GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ			
YAPI FOTOĞRAFI			
ERİŞİM GRAFİĞİ			
DEĞERLENDİRME	<p>Alt gelir grubu için tasarlanan TOKİ uygulamalarından biri olan bu örnekte daha küçük metrekarelerde konut çözümlenmiştir. Giriş holüne konutun bütün mekânları açılmaktadır. Gece holü ayrılmamaktadır. Banyo ve yatak odası yan yana konumlanmıştır. Girişten bakıldığında yatak odası görünmemektedir.</p>	<p>Üst gelir grubuna yönelik tasarlanmış olup kent çeperinde yer alan kapalı sitelerin özelliklerini taşımaktadır. Vestiyerli giriş holü L planlı olup, ortak kullanılan mekânlara açılırken wc ve çamaşır odası da gece holünden hemen önce burada yer almaktadır. Gece holü ise banyo ve yatak odalarına açılmaktadır. Ebeveyn yatak odasında banyo ve giyinme odası yer almakta olup giyinme odasından banyoya geçilmektedir. Giriş baz alındığında görünürlüğü en az olan ve erişimi en uzak olan mekân E. Yatak odası, giyinme odası ve e. banyosudur.</p>	<p>Üst-orta gelir grubuna yönelik tasarlanmış olup kapalı sitelerin özelliklerini taşımaktadır. Vestiyerli giriş holü olan antre, ortak kullanılan mekânlara açılırken yatak odaları ve banyonun yanında çamaşır odası da gece holüne eklenen yeni bir birim olarak karşımıza çıkmaktadır. Ebeveyn yatak odasında banyo ve giyinme odası yer almakta olup dönem özelliği taşımaktadır. Giriş baz alındığında görünürlüğü en az olan ve erişimi en uzak olan mekân E. Yatak odası ve ona bağlı birimlerdir.</p>

III.BULGULAR

Çalışma kapsamında incelenen apartman yapıları ait oldukları dönemin özelliklerini gösteren yapılardır. 1923-50 döneminin örneklerinden olan Hayat ve Kibrit Apartmanı, köşe parselde yer almalarından kaynaklı olarak kütle biçimlenişinde dairesel geçişlere başvurulması ve plan kurgusunda merkezi mekân olan sofa/holün etrafında odaların konumlanması bakımından benzer özellikler taşımaktadır. Bu iki örnekte odalar henüz özelleşmemiştir ve yatak odasına sofadan giriş yapılmaktadır. Islak hacimlere ise Hayat Apartmanı'nda antreden, Kibrit Apartmanı'nda ise sofadan açılan ayrı bir hol üzerinden bağlanılmaktadır. Hayat Apartmanı'nda yatak odasından banyoya ikinci bir kapı açılması döneminde başvurulan bir uygulamadır ve Güney'in ifadesine göre bu uygulama Türk odasındaki gusülhane alışkanlığının yeni bir yorumudur [36]. Kibrit apartmanı ise yatak odası ve banyo ilişkisinin en dolaylı kurulduğu örnek olarak karşımıza çıkmaktadır. Döneme ait bir diğer örnek olan Ağabeyli apartmanı ise ilk iki örnekten ayrılarak sofa yerine antreli bir giriş ve ona eklenen ıslak hacimler ile yatak odalarının yer aldığı bir gece holünden oluşmaktadır. Yalnız buradaki gece holü tam anlamını karşılamamakta olup wc, mutfak ve yaşam alanının bir diğer kapısının açıldığı bir ara mekândır. Yatak odası banyo ile yan yana konumlanmış olup Hayat Apartmanı'nda olduğu gibi yatak odasından ikinci bir kapı da ayrıca açılmıştır. Bu örnekle birlikte mekânlar özelleşmeye başlamış yatak odalarına yakın konumlanan sandık odası yeni bir saklama mekânı olarak karşımıza çıkmış, ikinci bir sirkülasyon mekânının varlığı ile yatak odasının hem görünürlüğü azalmış hem de mekân derinlik değeri artmıştır.

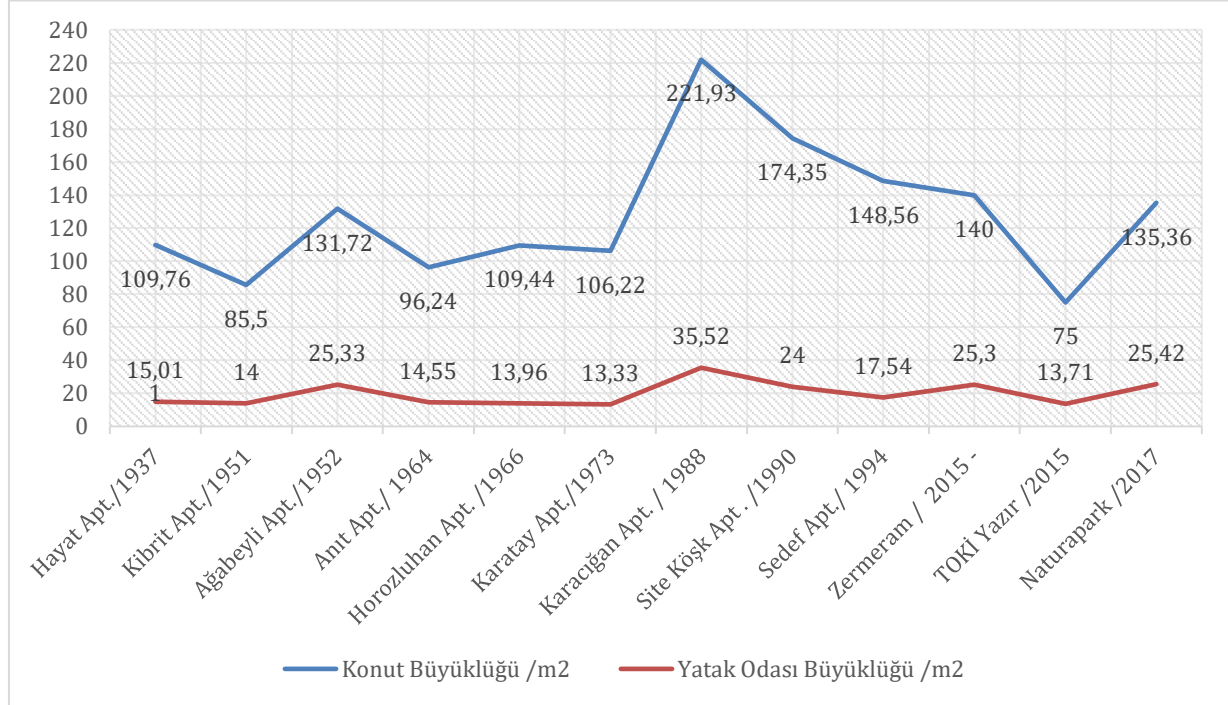
1950-80 dönemindeki ilk örneklerden olan Anıt Apartmanı gece holü kavramının oluştuğu bir örnek olup yaşam alanları ve ortak mekânların, yatak odalarından ayrı tutulması açısından önemlidir. Gece holünde yatak odaları ile banyo ve sandık odası yer alırken artık odalarda yüklükler de görülmektedir. Dönem yapılarından Horozluhan apartmanı ise farklılaşan bir örnektir. Dönemin üst gelirli aileleri için mimar Vedat Dalokay tarafından tasarlanan yapı 40 daireden oluşmaktadır ve dairelerin metrekareleri ile oda sayıları dönemdaşlarına göre fazladır. Bu örnekte mutfak girişe yakınlaşmış ve mutfak önüne ofis mekânı eklenmiştir. Giriş bir antreye açılmakta ve oradan ulaşılan yemek odası olarak tanımlanan bir hol sofa görevi görmektedir. Bu orta hole bağlanan bir gece holü de ayrıca eklenmiştir. Gece holü, banyo, wc, sandık odası ve yüklüklü iki yatak odasına açılmaktadır. Horozluhan apartmanı, kullanıcının isteklerini karşılayan özel mekânların yer aldığı, sofa etkisinin devam ettiği ancak konut planında yeniliklerin de gözlendiği bir geçiş yapısı olarak değerlendirilebilir. Bu örnekte yatak odasının derinlik değeri artmıştır. Karatay Apartmanı dönemdeki kooperatif üretiminin bir örneği olup burada konut metrekarelerinin küçüldüğü gözlemlenmektedir. Burada ana sirkülasyon mekânı büyümüş gece holü ise küçülerek yalnız yatak odası ve banyonun açıldığı özel bir ara mekân olmuştur. Sandık odası kalmış, yüklükler ise iki yatak odasında da görülmektedir.

1980-2002 dönemi içerisinde değerlendirilen Karacığın apartmanı plan şema olarak erken dönem örneklere benzemektedir. Sofa-hol oluşumunun gözlemlendiği bu örnekte gece holü de bulunmakta olup bu mekâna açılan yatak odası konut içindeki büyüklük oranı en fazla olan örnektir. Yatak odasında farklı boyutlarda iki yüklük bulunması biri büyük olan yüklüğün sandık odası olarak değerlendirilmiş olabileceğini düşündürmektedir. Bir diğer örnek olan Köşk Apartmanı'nın -kapalı otoparkıyla, dairelerin büyüklüğü ve içerisinde yer alan özel banyolu bir misafir odasıyla, banyolu olan geniş metrekareli ebeveyn yatak odasıyla, kilerli mutfağıyla- 2000lerden sonra kentte tercih edilen 4+1 olarak adlandırılan konut tipinin öncül bir örneği olduğu söylenebilir. Yüklük ebeveyn yatak odasında kalkarken çocuk yatak odasında görülmektedir. Köşk Apartmanı bulunduğu dönem içerisindeki örneklere göre yatak odası mekân derinliği bakımından daha yüksek bir değere sahiptir. Sedef Apartmanı ise dönemin oturma odalı 3+1 olarak adlandırılan konut tipinin tipik bir örneğini yansıtmakta olup yatak odalarında artık yüklük görülmemektedir.

2002 sonrası örnekler içerisinde TOKİ uygulaması olan yapı, en küçük metrekareye sahip olup gece holünün görülmediği, yatak odası ile ilişkili özel mekânların bulunmadığı ve yatak odasının banyoya en yakın mekân olarak konumlandırıldığı bir örnektir. Üst ve orta gelir grubuna yönelik olan Zermoram ve Natura Park konutları günümüz kapalı sitelerinin bir temsili olup Konya kentinde talep edilen, emlak sektöründe 3+1, 4+1 daire olarak lanse edilen içerisinde ihtiyaca yönelik özelleşmiş mekânlar barındıran

örneklerdir. Bu iki örnek de benzer mekân kurgusuna sahip olup çamaşır odası gibi yeni birimlerin yanında yatak odasında giyinme odası ve ebeveyn banyosunun da yeni bir destekleyici mekân olarak karşımıza çıktığı görülmektedir. Bunun yanında yatak odası ve ona bağlı mekânların derinliği artmıştır.

Şekil 2’de görüldüğü üzere tüm konutların büyüklük analizi yapılmıştır. Bu noktada Karacığın apartmanı hem dönemdaşlarına göre hem de tüm dönemlere göre büyüklük açısından farklı bir noktadadır. Diğer konut örneklerinde ise genel bir bakış açısıyla bakıldığında yatak odası büyüklüklerinin toplam konut büyüklüğüne oranının %15-18 aralığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Toplam konut büyüklüğü ile yatak odası büyüklüğü ilişkisi.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tanzimat ile başlayan Cumhuriyetin ilanı ile devam eden Türkiye’deki modernleşme süreci Türk aile yapısında değişime yol açmış ve bu değişim konutlara da yansımıştır. Geleneksel, ataerkil, geniş ailelerin yerini çekirdek aileler alırken çok fonksiyonlu odalara ve sabit donatılara sahip konakların yerini de özelleşmiş mekânları ve o mekânlar için tasarlanmış mobilyaları olan apartman daireleri almıştır. Sanayileşme ile kırdan kente artan göçler kentlerdeki nüfusun artmasına neden olmuş bundan ötürü hızla artan konut ihtiyacını karşılamaya yönelik uygulamalar Türkiye’deki konut yelpazesini genişletmiştir. Bu çalışmada ülkemizdeki konut politikalarına göre tanımlanmış dört dönem içerisinde konut payının büyük çoğunluğuna sahip olan apartmanlar ve bu yapı tipinin farklı örnekleri yatak odası özelinde Konya kenti üzerinden değerlendirilmiştir. Tablo 6’da değerlendirmeye konu olan kriterler doğrultusunda bir çizelge hazırlanmıştır. Buna göre ilk dönem örnekleri geleneksel plan şemanın devamı niteliğinde olan sofa ve ona bağlı odalardan oluşan bir kurgu olup banyonun ayrı bir holde yer aldığı ancak bazı örneklerden ikinci bir kapının yatak odasından açıldığı anlaşılmaktadır. Bu dönem örneklerde yatak odasının derinlik derecesi düşüktür. Bundan dolayı ilk dönem örneklerinin sunduğu mekânsal mahremiyetin sonraki dönemlere göre daha az olduğu görülmektedir. Daha sonraki dönemde gece holü ayırımı oluşmaya başladığı görülmekte olup sandık odası ve yüklük uygulamaları ile yatak odası mekânı desteklenmiştir. Bu örneklerde artık banyo gece holünde yer alırken yatak odasından kapı ile banyoya bağlanma durumu da görülmemektedir. 1980 sonrası dönemin ilk örneklerinde yatak odasında yüklük gözlemlenirken sonraki dönemde kalkmıştır. Yatak odası, banyo ile gece holünde yer alırken ebeveyn banyosu kullanımının ilk örneği de yine bu dönemde görülmektedir. Günümüze bakıldığında ise alt gelir grubuna yönelik toplu konut uygulamaları istisna tutulursa kentteki apartman yapılarında

ebeveyn yatak odasının gece holünde diğer yatak odaları, banyo ve çamaşır odası gibi mekânlarla birlikte yer aldığı görülmekte olup yatak odasının giyinme odası, duş ya da özel banyo gibi birimlerle desteklendiği ve konut içindeki büyüklüğü ile mekân derinliğinin arttığı gözlemlenmektedir.

Değişen ihtiyaçlar, modern insanın artan tüketimi, kalorifer sistemleri ve konutlardaki ısıtma probleminin azalması, buna bağlı olarak çekirdek aileye yönelik konutlarda metrekarelerin büyümesi ve ihtiyaca yönelik özelleşmiş mekânların ortaya çıkmasında etkili olmuştur. İlk dönem örneklerinde mekânlar oda olarak tanımlanırken bir sonraki dönemde yatak odası birimi ayrılmaya başlanmış, daha sonraki süreçte çocuk odası da bu ayrıma eklenerek bireyselleşmenin konut içine etkisi görülmüştür. Bu noktada, süreç içerisinde toplumsal yaşama göre biçimlenen Türk tipi apartmanlaşmada konut içi özelleşmiş mekânların organizasyonunda antre, gece holü gibi ara mekânlar mahremiyet denetimini sağlayan geçiş mekânları olarak önemli bir yer tutmaktadır. Yatak odasının da bu geçiş mekânlarından en son ulaşılan yer olarak karşımıza çıkmasında konut içi mahremiyet denetim mekanizmasının süreç içindeki işleyişinin göstergesinin yanında toplumsal yaşam biçiminin konuta kazandırdığı ifade olarak da yorumlanabilmektedir. Bu bağlamda Güney, yatak odası mekânının oluşumunu Türkiye’de davranış biçimlerinde en zorlu değişimlerden biri olduğunu ifade etmiş, gündüz yüklüklerde saklanan yatak ve yorganların sürekli görünür hale gelmesine alışmanın kolay olmadığını Osmanlı döneminde batıdan ithal edilen karyoların önüne paravan eklenmesi durumuyla örneklendirmiştir [36]. Geleneksel Türk odasındaki gusulhane ve yüklük, erken dönemlerde sandık odası ve yüklük olarak karşımıza çıkarken bugün yatak odalarında giyinme odası ve ebeveyn banyosu olarak karşımıza çıkması ise kültür kodlarının devamlılığı olarak yorumlanabilmektedir. Bu çalışma yatak odası mekânı üzerinden kültürün modern yaşama entegrasyonuna örnek olarak gelecek çalışmalara bir kapı açmaktadır.

Tablo 6. Seçilen apartmanların belirlenen parametreler doğrultusunda değerlendirilmesi.

ÖRNEKLER/ YATAK ODASI	Konut içi büyüklük oran (%)	Girişten görünürlük derecesi	Derinlik değeri	Açıldığı mekân	İlişkili olduğu mekânlar						
					Banyo	E. Banyosu	Sandık O.	Yüklük	G. odası	Bal kon	
1923 1950	Hayat Apt.	% 13,68	Kısmi	3	Sofa	F.H. 2. kapı	—	—	—	—	—
	Kibrit Apt.	% 16,37	Yok	2	Sofa	F.H.	—	—	—	—	—
	Ağabeyli Apt.	% 19,23	Yok	3	2. Hol	A.H. 2. kapı	—	✓	—	—	✓
1950 1980	Anıt Apt.	% 15,11	Dolaylı	3	Gece holü	A.H.	—	✓	✓	—	✓
	Horozluhan Apt.	% 12,75	Dolaylı	4	Gece holü	A.H.	—	✓	✓	—	✓
	Karatay Apt.	% 12,54	Yok	3	Gece holü	A.H.	—	—	✓	—	—
1980 2002	Karacığın Apt.	% 16	Kısmi	3	Gece holü	A.H.	—	—	✓	—	—
	Site Köşk Apt.	% 13,76	Yok	3-4	2. Hol	A.H.	✓	—	—	—	—
	Sedef Apt.	% 11,81	Yok	3	Gece holü	A.H.	—	—	—	—	—
2002 -	Yazır TOKİ	% 18,28	Yok	2	Giriş holü	A.H.	—	—	—	—	—
	Zermeram	% 18,07	Yok	3-5	Gece holü	A.H.	✓	—	—	✓	—
	Natura Park	% 18,77	Yok	3-4	Gece holü	A.H.	✓	—	—	✓	—

Kısaltmalar: A.H. : Aynı holde yer alıyor.

F.H. : Farklı holde yer alıyor.

Yukarıdaki verilerden hareketle Türkiye’de konut politikaları bağlamında irdelenen apartman tipi yapıların gelişim süreci; cumhuriyet ile birlikte yoğunlaşan batılılaşma ve çağdaş yaşama entegrasyon faaliyetlerine, endüstrileşme sürecine, değişen siyasi yapıya, yaşam biçimine ve aile yapısındaki değişime göre ifade kazanmıştır. Tanyeli’nin ifadesiyle 1970lerde konut gereksinimi hiç bitmeyecekmiş izlenimi veren ülke birkaç on yılın ardından, bugün konut arzı fazlasıyla karakterize olmuştur. Bunun sonucunda konut artık bir yatırım nesnesine dönüşmüş, barınma ekonomi gerçekliğine indirgenmiştir. Konut reklamcılarının, pazarlamacıların, iktisatçıların, kredi kurumlarının ve yatırımcıların diline persenk olmuş, mimarlar ise konuta tasarım ve marka değeri katan aktörlere dönüşmüştür [37]. Bugünün Türkiye’inde artık konut marka değeri ile orta ve üst gelir grubu için bir prestij imgesine, talep fazlası durumu ile de alınıp-satılan, üzerinden kar edilen bir metaya dönüşmüştür. Yatak odası mekânı da bu metanın pazarlanma stratejilerinden birine dönüşmüş, gerek konutun barındırdığı yatak odası sayısı ile gerek ebeveyn yatak odası ve onu diğer odalardan özelleştiren destek mekânlarıyla konut tercih ediniminde dikkate alınan bir unsur olmuştur.

V. KAYNAKLAR

- [1] Encyclopaedia Britannica. (2020, 7 Eylül). *Apartment house*. [Online]. Erişim:<http://www.britannica.com/technology/apartment-house>
- [2] Anonim, “Apartman, çok katlı kolektif konut, bir görsel belgeleme,” *Arrademento Mimarlık Dergisi*, s. 4, ss. 48-56, 2007.
- [3] A. Stevenson, "Apartment," *Oxford Dictionary of English*, 3. baskı, Oxford, UK: Oxford University Press, 2010, ss. 521.
- [4] Dictionnaire de Français Larousse. (2020, 7 Eylül). *Appartement*. [Online]. Erişim: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/appartement/4651?q=appartement#4632>
- [5] T. Görgülü, “Apartman tipolojisinde geçmişten bugüne; kira apartmanından “Rezidans’a Geçiş,” *TÜBA-KED*, s. 14, ss. 165-178, 2016.
- [6] U. Tanyeli, *İstanbul 1900-2000 Konutu ve Modernleşmeyi Metropolden Okumak*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Akın Nalça Kitapları, 2004, ss. 25.
- [7] G. P. Gökmen, “Türkiye’de apartmanlaşma süreci ve konut kültürü,” *Güney Mimarlık*, s. 5, ss. 12-16, 2011.
- [8] S.H. Eldem, *Türk Evi Plan Tipleri*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları, 1954, ss. 25.
- [9] A. D. Öncel, *Apartman-Galata'da Yeni Bir Konut Tipi*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Kitap Yayınevi, 2010, ss.263.
- [10] D. Demiralıslan, “Osmanlı’da Modernleşme/ Batılılaşma Sürecinin İç Mekân Donanımına Etkileri”, *Erdem*, c.16, s. 45-46-47, ss. 35-66, 2006.
- [11] M. Akalın, "Sosyal konutların Türkiye’nin konut politikaları içerisindeki yeri ve Toki’nin sosyal konut uygulamaları," *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 26, s. 1, ss. 107-124, 2016.
- [12] Y. Sey, “Cumhuriyet Döneminde Konut,” *Bilanço ’98 75 Yılda Değişen Kent ve Mimarlık*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Tarih Vakfı, 1998, ss. 273-300.

- [13] A. Çoban, "Cumhuriyetin ilanından günümüze konut politikası," *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, c. 67, s. 03, ss. 75-108, 2012.
- [14] N. Bayraktar, "Bonatz'ın Türk Evi Sevgisinin Biçimsel Aktarımı: Saraçoğlu (Namık Kemal Mahallesi)", *Arredamento Mimarlık*, s.06, ss. 66-74, 2011.
- [15] R. Keleş, *Kentleşme Politikası*, 14. baskı, Ankara, Türkiye: İmge Kitabevi, 2015, ss. 422-485.
- [16] E. Akcan, *Çeviride Modern Olan – Şehir ve Konutta Türk-Alman İlişkileri*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye: Yapı Kredi Yayınları, 2009, ss. 228-241, 314, 363.
- [17] İ. Tekeli, *Konut Sorununu Konut Sunum Biçimleriyle Düşünmek*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Tarih Vakfı Yurt Yayınları, 2009, ss. 178.
- [18] A. Batur, "Modern Mimarlık Hareketinin Mimarlık Yayınlarında Ele Alınışı ve Yayınların Uygulamaya Etkisi", *Mimarlık*, s.215-216, ss.35-38, 1985.
- [19] S. Bozdoğan, *Modernizm ve Ulusun İnşası: Erken Cumhuriyet Türkiye'sinde Mimari Kültür*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Metis Yayınları, 2002, ss: 203, 322.
- [20] İ. Aslanoğlu, *Erken Cumhuriyet Dönemi Mimarlığı (1923-1938)*, 3. baskı, İstanbul, Türkiye: Bilge Kültür Sanat, 2010, ss. 79-81.
- [21] E. B. Fındıklı, "Millilik, mobilya ve zevk terbiyesi: mimar ve dekoratörlerin mobilya üzerine sürdürdükleri tartışmalar (1931-1950)," *Tarih Okulu Dergisi (TOD)*, s. 32, ss. 87-114, 2017.
- [22] U. Tanyeli, "Konut Mekânında Modernite Kavgası" *Mimarlık*, s. 262, ss. 16-18, 1995.
- [23] S. Bozdoğan, "Türk Mimari Kültüründe Modernizm: Genel Bir Bakış," *Türkiye'de Modernleşme ve Ulusal Kimlik*, 3. baskı, İstanbul, Türkiye: Tarih Vakfı Yurt Yayınları, 1998, ss. 190-217.
- [24] D. Koca, "Türkiye'de çağdaş konut üretiminin yeniden okunması," *Tasarım + Kuram*, c. 11, s. 19, ss. 19-36, 2015.
- [25] S. F. Büyükçam, "Türk evinden apartmana Türkiye'de konut olgusu; 1950-1980 dönemi İstanbul apartmanları," *Dicle Üniversitesi 1. Uluslararası Mimarlık Sempozyumu*, Diyarbakır, Türkiye, 2018, ss. 64-78.
- [26] M. Yenice, "Türkiye'nin kentsel dönüşüm deneyiminin tarihsel analizi," *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 16, s. 1, ss. 76-88, 2014
- [27] T. Görgülü ve S. K. Koca, "Türkiye'de barınma biçimlerinde yaşanan değişimler: son dönemde yapılan tüketim odaklı konutlar", *Mimarlık*, s. 337, ss. 29-33, 2007.
- [28] M. Akalın, "Mekânsal Ayrışmanın Bir Yeni Biçimi Olarak Kapalı Siteler Akkent Konutları Örneği", *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 923-956, Ara. 2016, doi:10.17218/hititsosbil.280823
- [29] T. Görgülü, "İstanbul'da çeşitlenen konut üretim biçimleri ve değişen konut alışkanlıkları", *Mimarist*, s. 7, ss. 50-56, 2003.
- [30] B. Hillier ve J. Hanson, *The Social Logic of Space*, Londra, UK: Cambridge University Press, 1984, 147-155.


- [31] M. Benedikt, "To Take the Hold of Space: Isovists and Isovist Fields", *Environment and Planning B*, c. 6, s.1, ss. 47-65.
- [32] C. Berk, *Konya Evleri*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Matbacılık, 1951, ss. 46-48.
- [33] M. Ulusoy ve H. E. Ulusoy, "Kültürel değişim bağlamında konut; Konya örneği," *Artium*, c. 3, s. 1, ss. 30-38, 2015.
- [34] M. Ulusoy, *Konya'da Apartman Yapılarının Tarihi Gelişimi*, 1. baskı, Konya, Türkiye, 2006, ss. 43-44, 213-216.
- [35] Ş. Süslü, "Konya'da apartman yapılarının tarihi süreç içinde cephe özelliklerinin gelişimi," Yüksek lisans tezi, Mimarlık, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [36] Y. İ. Güney, "Konutta mekânsal organizasyon ve toplumsal cinsiyet: yirminci yüzyıl Ankara apartmanları," *Cins Cins Mekân*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Varlık, 2009, ss. 102-135.
- [37] U. Tanyeli, *Yıkarak Yapmak: Anarşist Bir Mimarlık Kuramı İçin Altılık*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Metis Yayınları, 2017, ss: 341-342.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Mechanical, Thermal and Surface Properties of a New Kind of Polybenzoylthiourea

 Gülşah KURT^{a,*}

^aDepartment of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Aksaray University, Aksaray, TURKEY

* Corresponding author e-mail: gkurt81@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.878203

ABSTRACT

A new kind of polybenzoylthiourea polymer (PBTU) was synthesized through a polycondensation reaction between 3,5-diamino-1,2,4-triazole and tereftaloil diisothiocyanate in poly(ethyleneglycol)dimethylether (PEG) as the phase transfer catalyst. Obtained polymer was highly soluble in organic solvents including N,N-dimethyl formamide (DMF) and dimethyl sulfoxide (DMSO) in contrast to the insoluble nature of similar benzoyl thiourea polymers reported in the literature. Solubility of the obtained polymer allowed us to measure the molecular weight of the obtained samples by gel permeation chromatography (GPC) analysis. GPC analysis results interestingly showed bimodal molecular weight distribution probably due to the oligomeric PEG residuals during the workup procedure. Structure of the obtained polymer was characterized by ¹H NMR, ¹³C NMR and elemental analysis. The glass transition temperature (T_g) and the melting temperature (T_m) of the polymer was observed at 229°C and 304°C, respectively. Total pore volume and surface area of the polymer were calculated as 0.292 cm³/g and 17.773 m²/g, respectively. Hardness and elastic modulus of the obtained PBTU capsule were measured respectively as 2.353 GPa and 0.136 GPa using nanoindentation technique.

Keywords: Polybenzoylthiourea, Polycondensation, Tereftaloil diisothiocyanate, 3,5-Diamino-1,2,4-triazole, Nanoindentation

Yeni Bir Polibenzoiltiyoüre'nin Mekanik, Termal ve Yüzeysel Özellikleri

ÖZ

Yeni bir polibenzoiltiyoüre polimeri (PBTU), faz transfer katalizörü olarak poli(etilenglikol)dimetileter içerisinde 3,5-diamino-1,2,4-triazol ve tereftaloil diizotiyosiyanat'ın polikondenzasyon reaksiyonu ile sentezlendi. Elde edilen polimer, literatürde bildirilen çözünürlüğü oldukça az olan benzer benzoiltiyoüre polimerlerinin aksine, N,N-dimetilformamit (DMF) ve dimetil sülfoksit (DMSO) gibi organik çözücüler içinde çözünmektedir. Elde edilen polimerin yüksek çözünürlüğü sayesinde, polimer numunesinin moleküler ağırlığı, jel geçirgenlik kromatografisi (GPC) ile analiz edilebilmiştir. GPC analizi sonuçları ilginç bir şekilde, iki modlu moleküler ağırlık dağılımını göstermiştir, buda muhtemelen deneysel işlem esnasında ürün içerisinde oligomerik artıkların kaldığını göstermektedir. Elde edilen polimerin yapısı, ¹H NMR, ¹³C NMR ve elementel analiz ile karakterize edildi. Polimerin camsı geçiş sıcaklığı (T_g) ve erime noktası (T_m) sırasıyla 229°C ve 304°C'de gözlemlendi. Polimerin toplam gözenek hacmi ve yüzey alanı sırasıyla 0.292 cm³/g ve 17.773 m²/g olarak hesaplandı. Elde edilen PBTU kapsülün sertliği ve elastik modülü nanoindentasyon tekniği kullanılarak sırasıyla 2.353 GPa ve 0.136 GPa olarak ölçüldü.

Anahtar Kelimeler: Polibenzoiltiyoüre, Polikondenzasyon, Tereftaloil diizotiyosiyanat, 3,5-Diamino-1,2,4-triazol, Nanoindentasyon

I. INTRODUCTION

Benzoylthioureas are important class of compounds due to their semi- or fully aromatic structures, resonance characters, coordination properties with metal ions, hydrophilic properties, high dipole moment, different crystal structures with different dipole moments, redox properties and isomeric structures. These materials can be used in a variety of analytical and environmental applications due to their biological activities, coordination properties with toxic, radio active or heavy metal ions.

Benzoylthioureas have potentially two donor atoms, O and S. Their well-known properties are their complexation with metal ions [1-5]. d^8 and d^9 are versatile ligands capable of forming stable complexes with a large number of transition metals, such as giving square planar complexes with metal ions. In addition to being an important class of compounds in the field of coordination chemistry with its rich coordination properties, the sorption properties of benzoylthioureas in selective recovery and preconcentration applications are also remarkable [6]. Polymeric benzoylthiourea structures can be considered as having superior properties in terms of separation, recovery and convenience. Utilizations of benzoylthiourea compounds in membrane systems are also very important [7].

Here, we report a new kind of polybenzoylthiourea polymer (PBTU) synthesized through polycondensation reaction between 3,5-diamino-1,2,4-triazole and terephthaloyl diisothiocyanate in poly(ethylene glycol)dimethylether as the phase transfer catalyst. While different polybenzoylthiourea derivatives [8] are insoluble in any organic solvents, obtained PBTU is highly soluble in solvents including DMSO and DMF, and show a glass transition temperature. With the synthesis of PBTU, a new polybenzoylthiourea containing triazole and thiourea units in the backbone was synthesized. When PBTU was compared with BTP1 and BTP2 polymers reported in the literature, the main difference was the existence of the triazole unit in the PBTU chain [8]. The triazole ring is a heterocyclic aromatic compound with large dipole moment, hydrogen bonding ability and biological activity [9-11]. Due to its aromatic structure, the triazole ring shows high stability. Polymer films containing triazole ring in the backbone exhibited high thermal and mechanical properties. It has been reported in the literature that triazole-containing polymers can be dissolved in polar organic solvents including DMSO and DMF even at room temperature [12]. In addition, the synthesis of highly-soluble and thermally stable polytriazole membranes with improved mechanical properties using appropriate processes were reported in the literature [13]. In the literature, there are no research on the mechanical properties of polybenzoylthioureas and there is a limited number of research about the surface properties of polybenzoylthioureas. This study investigated both surface and mechanical properties of the new polybenzoylthiourea polymer (PBTU) containing triazole unit in the backbone. Aromatic structures in the repeating units of the product with thiourea functional groups provide more hardness. Nanoindentation technique is used to characterize the mechanical properties of PBTU capsules.

II. EXPERIMENTAL SECTION

A. EXPERIMENTAL

A.1. Chemicals

Potassium thiocyanate (Sigma-Aldrich, catalog#333-20-0), terephthaloyl chloride (Sigma-Aldrich, catalog#100-20-9), 3,5-diamino-1,2,4-triazole (Sigma-Aldrich, catalog#1455-77-2), 4,4-diaminodiphenylmethane (Sigma-Aldrich, catalog#101-77-9), 1,5-diaminonaphthalene (Sigma-Aldrich, catalog#2243-62-1), dichloromethane (anhydrous>99,8%; Sigma-Aldrich, catalog#75-09-2), diethylether(anhydrous>99%; Sigma-Aldrich, catalog#60-29-7), poly(ethyleneglycol)dimethylether ($M_n \sim 500$; Merck, catalog#24991-55-7) used as the phase transfer catalyst were purchased with high-grade purities and used without further purification

A.2. Experimental Procedures

BTP1 (benzoylthiourea polymer 1) and BTP2 (benzoylthiourea polymer 2) polymers were synthesized and characterized according to the literature [8] to compare their mechanical properties with PBTU polymer.

A.2.1. Preparation of PBTU

2.5 g (0.025 mol) potassium thiocyanate and 2.5 g (0.012 mol) of terephthaloyl chloride was dissolved in dichloromethane. 1 mL of poly(ethyleneglycol)dimethylether (average molecular weight $M_n \sim 500$) was added to the mixture. After 2h stirring at room temperature, the obtained mixture was filtered and obtained precipitate (potassium chloride) was removed. 40 mL of terephthaloyl diisothiocyanate solution was obtained [8]. To a solution of 3,5-diamino-1,2,4-triazole (2.486 g, 0.024 mol) in 40 mL of dichloromethane, terephthaloyl diisothiocyanate filtrates in 1:1 stoichiometry (40 mL) was dropwise added. 1 mL of poly(ethyleneglycol)dimethylether was added to the mixture as phase transfer catalyst. Reaction occurred within minutes. It was then refluxed for 24h at 50°C. The yellow precipitated polymer was filtered, washed several times with methylene chloride, water and diethyl-ether and dried at 100°C. The synthesis route of the PBTU was shown Figure 1.

Color: Yellow. Elemental analysis found for: $[C_{12}H_9N_7O_2S_2]_n$: C: 40.4, H: 3.63, S: 14.07, N: 27.5. 1H NMR (400 MHz, DMSO- d_6 , δ ppm): 12.5-11.6 (1H, m, N-H), 10.0 (1H, s, N-H), 8.80-7.00 (4H, m, Ar-H). ^{13}C NMR (100 MHz, DMSO d_6 , δ ppm): 172, 167, 166, 162, 158, 155, 138, 136, 134, 130, 129, 128, 127.

III. RESULTS AND DISCUSSION

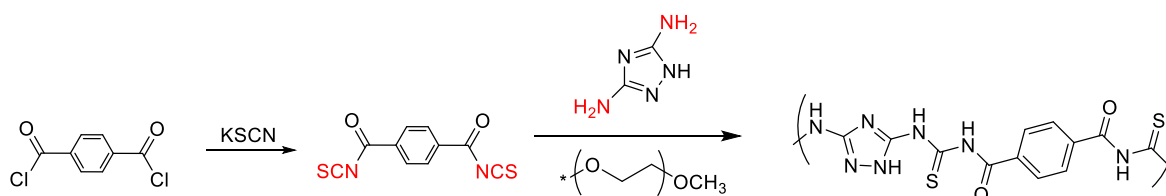


Figure 1. Synthesis of PBTU.

Polybenzoylthiourea polymer (PBTU) was synthesized through polycondensation reaction between 3,5-diamino-1,2,4-triazole and terephthaloyl diisothiocyanate in poly(ethyleneglycol)dimethylether as the phase transfer catalyst. The structure of the obtained PBTU was characterized by 1H NMR and ^{13}C NMR recorded in DMSO- d_6 . In the 1H NMR spectrum (Figure 2), the chemical shifts of -NH proton signal between the carbonyl and thiocarbonyl functional groups appeared in the range of 12.5 to 11.6 ppm. The peak of the -NH proton of the triazole ring was observed at 10.0 ppm. Aromatic proton signals of the PBTU belonging to the triazole and phenyl rings were assigned in the range of 8.80-7.00 ppm. 1H NMR spectrum also showed some residual protons at 3.50 and 3.23 ppm coming from the PEG phase transfer catalyst due to probably insufficient washing with water of the final product.

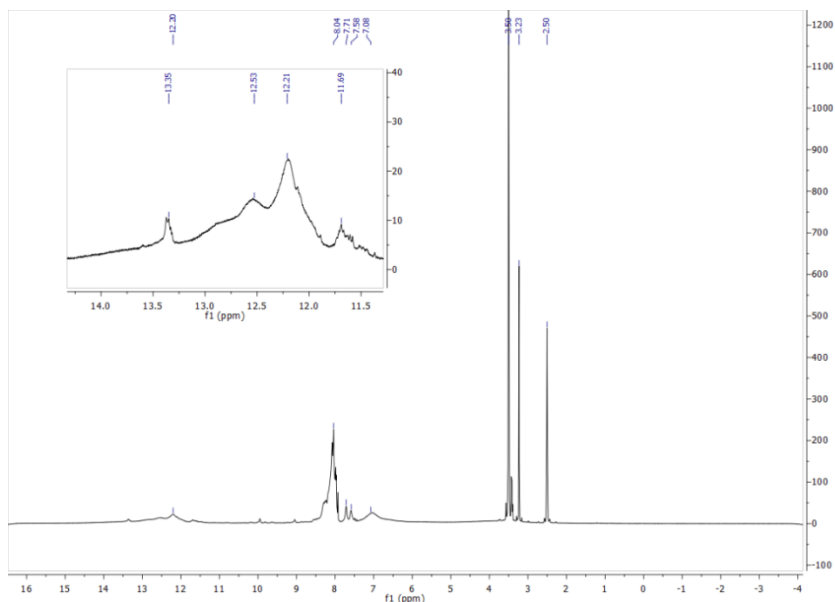


Figure 2. ¹H NMR spectrum of PBTU.

Figure 3 shows the ¹³C NMR spectrum of the PBTU. The peaks observed around 172-166 ppm can be assigned as thiocarbonyl carbons of PBTU. The presence of carbonyl carbon can be recognized in the range of 155-158 ppm. Aromatic carbon atoms in the PBTU belonging to the triazole and phenyl rings were observed between 127-138 ppm. Some carbons belonging to the residual PEG in the product were also observed in the ¹³C NMR spectrum of the PBTU. Peaks observed at 70 and 58 ppm were assigned to be PEG carbons. The ¹H and ¹³C NMR spectra results of the obtained product confirmed the expected PBTU structure.

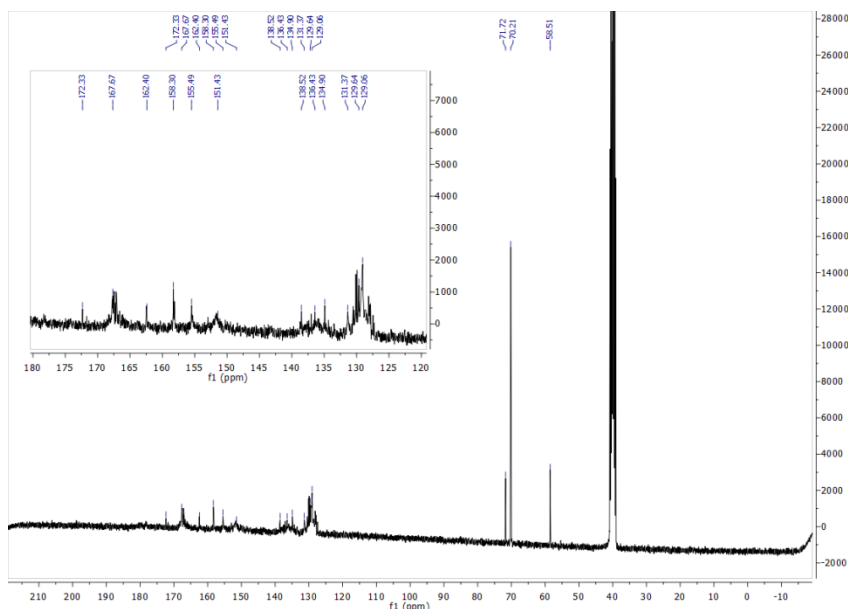


Figure 3. ¹³C NMR spectrum of PBTU.

Table 1. Polymerization results of benzoylthiourea.

Yield (%)	T _g (°C)	T _m (°C)	T ₅₀ (°C)	E (GPa)	H (GPa)	M _n	PDI	Surface area (m ² /g)	Total pore volume (cm ³ /g)
% 100	229	304	440	2.35	0.136	101000	1.75	17.77	0.29

Sample weight was 0.0718 g and Outgas temperatures was kept at 80 °C

Table 2. Mechanical properties of benzoylthiourea based polymers reported in the literature [8].

Polymer	E (Gpa)	H (Gpa)
BTP1	0.48	0.049
BTP2	1.42	0.0892

Thermal properties of the PBTU were evaluated by TGA and DSC analyses. According to the TGA curve of PBTU shown in Figure 4, the product showed three steps thermal degradation characteristics under nitrogen atmosphere. Thermal decomposition of the PBTU starts around 150 °C. 10 % and 50 % degradations occur at 230 and 440 °C, respectively. About 5% carbonaceous residue left after heating at 900 °C.

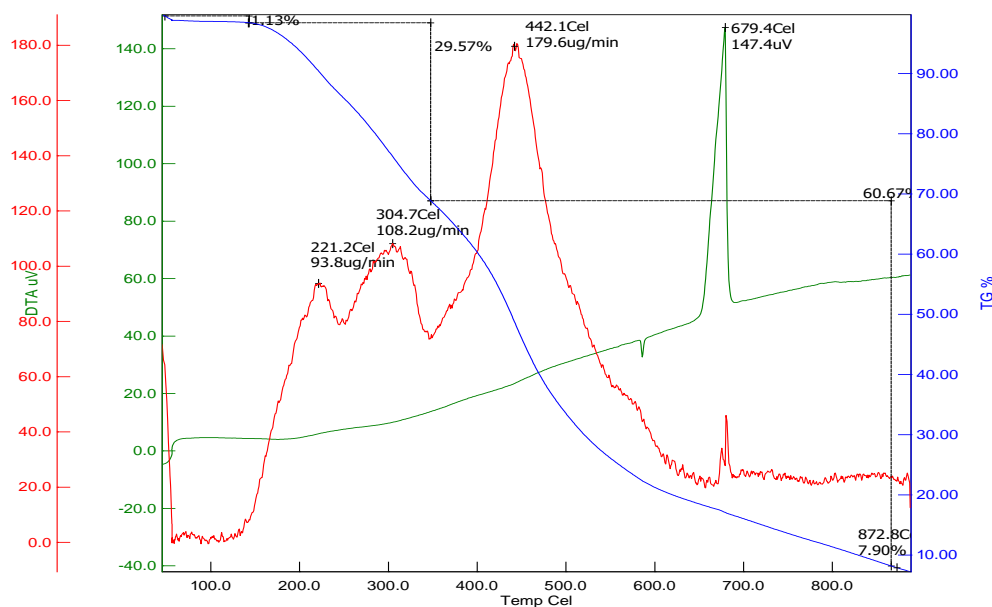


Figure 4. Thermogravimetric analysis (TGA) result of PBTU.

Differential scanning calorimetry (DSC) analysis result of the PBTU showed both glass transition and melting temperatures. The glass transition temperature (T_g) of PBTU was observed at 229 °C according to the DSC (Figure 5). Observation of the high T_g is probably due to the strong intermolecular forces in the polymeric structure such as hydrogen bonds, the presence of amide and carbonyl groups reducing chain flexibility, the presence of phenyl groups reducing the freedom of rotation, and the high molecular weight of the polymer. The glass transition temperatures of the reported polybenzoylthiourea derivatives was not observed in previous reports [14]. The melting temperature of the PBTU was observed at 304°C under nitrogen atmosphere (Figure 5).

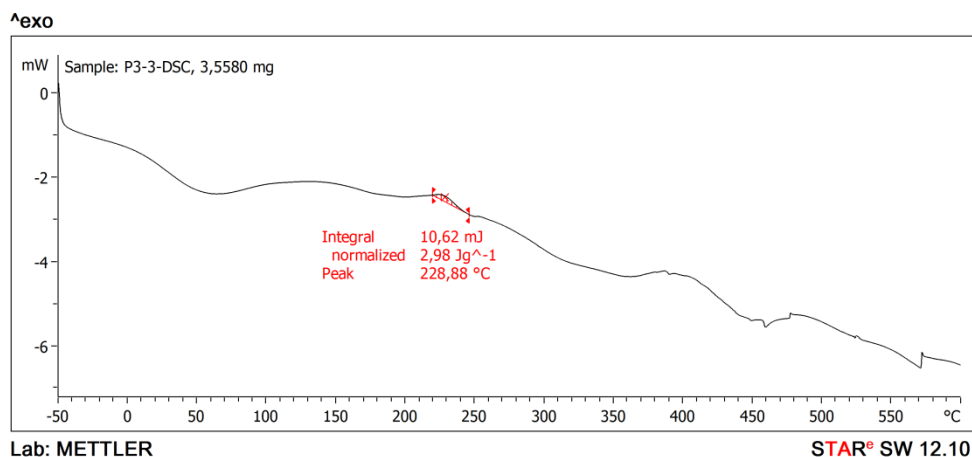
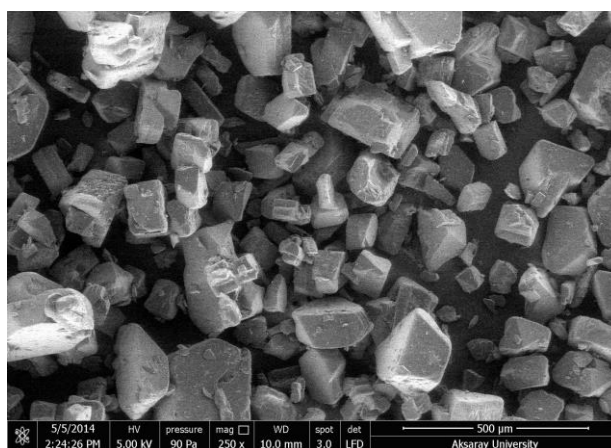
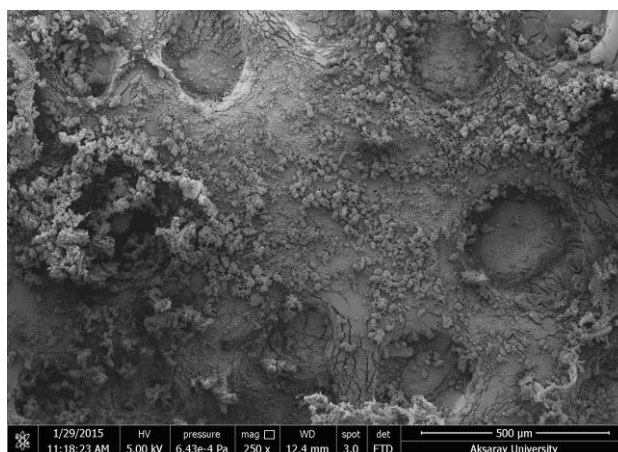


Figure 5. DSC curve of PBTU.



(a)



(b)

Figure 6. Comparison of SEM images of (a)3,5-diamino-1,2,4-triazole and (b)PBTU.

Scanning electron microscopy (SEM) analysis (Figure 6) was carried out to detect the morphological properties of the synthesized product and the diamine starting reagent. The Figure 6b illustrates the morphology of the obtained PBTU. According to the SEM image of the PBTU, the morphology of the obtained PBTU (Figure 6b) is completely different compared to the morphology of 3,5-diamino-1,2,4-triazole (Figure 6a) starting material. When the morphological properties of PBTU, BTP1 and BTP2

polymers are compared, it can be seen that the morphological properties of these polymers resemble to each other and they have dense and homogeneous structures.

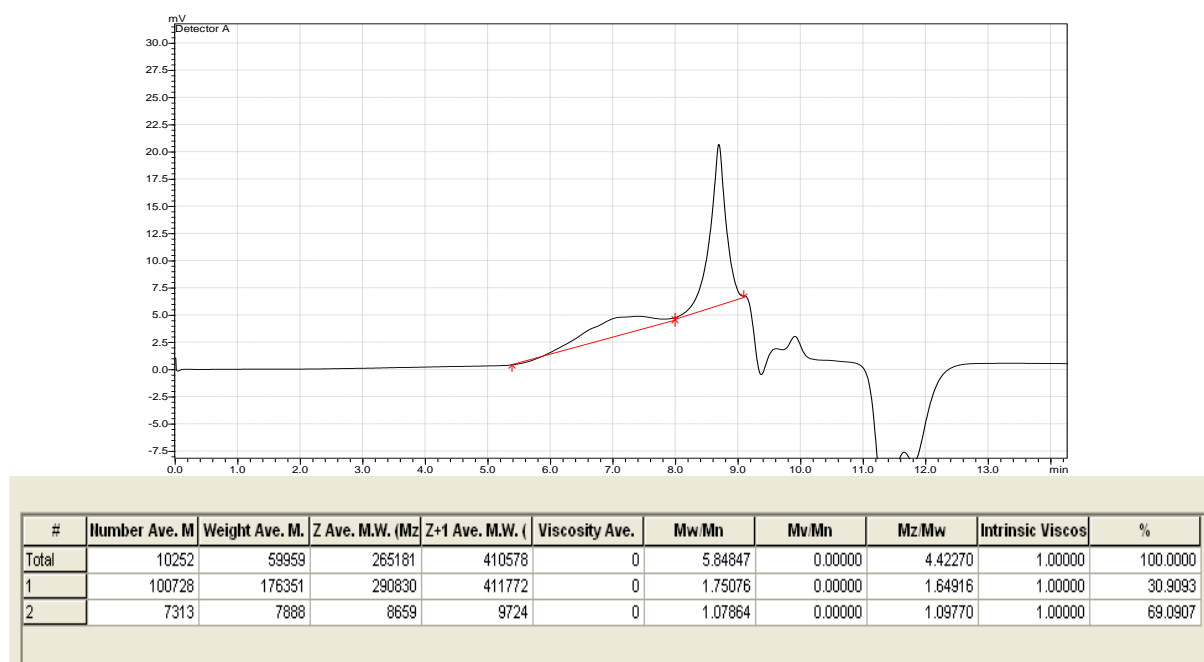


Figure 7. Molecular weight analysis of PBTU.

Molecular weight measurement of the obtained product was carried out with GPC instrument in DMF solvent with calibration of narrow polydispersity polystyrene (PS) standards (Figure 7). GPC trace of the product showed bimodal molecular weight distribution. As explained above, the product contained a small amount of PEG residue according to the ^1H and ^{13}C NMR spectra. Due to the PEG residue, obtained product possessed bimodal molecular weight distribution. Probably, the lower molecular weight belongs to the trace amounts of PEG residue and the main polymer showed very high number average molecular weight, M_n : 101000 g/mol. Polydispersity index (PDI) of the obtained polymer was found to be 1.75.

Mechanical measurements of cylindrical PBTU, BTP1 and BTP2 capsules (13.0 mm x 1.2 mm dimension) were evaluated by nanoindentation technique with HYSITRON TI 950 TriboIndenter instrument. Nanoindentation is an effective technology for the determination of the mechanical properties of thin films and coatings. Mechanical properties of the obtained capsules of PBTU, BTP1 and BTP2 polymers were investigated using this method. Elastic modulus (E) and hardness (H) of the polymer capsule were found to be 2.35 GPa and 0.136 GPa, respectively (Table 1). Mechanical properties of BTP1 and BTP2 polymers reported in the literature are given in Table 2. Comparing to the mechanical properties of BTP1 and BTP2 (Table 2), obtained polymer PBTU showed better mechanical properties and had higher elastic modulus and hardness. PBTU polymer containing triazole ring in the backbone indicated improvement in the mechanical properties. In addition to that, the average size of the porosity could be a possible reason for the mechanical strength since polymer having smaller pore sizes showed higher elastic modulus and hardness. Another reason of showing increasing mechanical strength for the PBTU was probably due to the increasing crystallinity.

The synthesized PBTU was insoluble in water and organic solvents including alcohol, acetonitrile, acetone, etc., but it was dissolved in dimethyl sulfoxide (DMSO) and N,N-dimethylformamide (DMF). It has been reported in the literature that BTP1 and BTP2 polymers were not soluble even in DMSO and DMF. The reason of having insoluble nature and not showing glass transition temperatures of these polymers was not only the result of intramolecular and intermolecular interactions of the benzoylthiourea chains or possible crosslinking, but also the weak interaction with the solvent

molecules. The polymer synthesis containing 1,2,4 triazole unit in the polymer backbone enabled the formation of soluble benzoylthiourea polymer. Since the PBTU polymer was soluble, its average molecular weights were determined. Physical properties of polymers are mainly related to having high average molecular weights. PBTU has a high molecular weight. Obtaining higher molecular weight results in the higher the attraction forces between the polymer chains. As a result of that, the elastic modulus increases and the material hardens. Polymer becomes harder and more durable with increasing the average molecular weight.

Surface area evaluation and the pore size distribution of the polymer were measured by the Brunauer–Emmett–Teller (BET) method under nitrogen atmosphere (Table 1). These properties were determined by nitrogen adsorption at 77 K bath temperature and degassing temperatures in 80°C. Total pore volume of the PBTU was measured as 0.29 cm³/g. In addition to that, the surface area of the product was calculated as 17.77 m²/g. PBTU can be considered as mesoporous materials since it has some characteristics of those materials. Therefore, PBTU can be possibly used for membrane applications

IV. CONCLUSION

Polybenzoylthiourea was synthesized from the reaction between a diamine (3,5-diamino-1,2,4-triazole) and a diisothiocyanate (tereftaloyl diisothiocyanate) in the presence of poly(ethyleneglycol) dimethylether phase transfer catalyst. According to the literature, similar polybenzoylthiourea based polymers were insoluble in common organic solvents and did not show glass transition temperatures. In this study, obtained polybenzoylthiourea (PBTU) was highly soluble in organic solvents including DMSO and DMF. The glass transition temperature (T_g) and the melting temperature (T_m) of the PBTU was observed at 229°C and 304 °C, respectively. Total pore volume and surface area of the polymer was calculated as 0.29 cm³/g and 17.77 m²/g, respectively, which are higher than the reported values for different types of polybenzoylthioureas in the literature. Hardness and elastic modulus of the obtained PBTU capsule were measured respectively as 2.353 GPa and 0.136 GPa using nanoindentation technique. PBTU polymer can be possibly used in a variety of industrial applications including water treatment, waste water treatment, desalination and bio-separation due to its homogeneous and stable structure, coordination properties, high thermal stability, adsorption properties and specific surface area and pore volumes.

ACKNOWLEDGEMENTS: This work was supported by Aksaray University Coordinator ship of Scientific Research Projects (Project no: 2012/06). The abstract of this research was presented at the 31st National Chemistry Congress 2019 as a poster presentation.

V. REFERENCES

- [1] H.Refiker, M.Merdivan, and RS.Aygun,“Selective preconcentration of gold from ore samples,”*International Journal of Analytical Chemistry*,vol.10, pp.1-8, 2018.
- [2] TO.Brito, LO.Abreu, KM.Gomes, MCS.Lourenço, PML.Pereira, SF.Yamada-Ogatta, A.Fátima, CA.Tisher, JrF.Macedo, MLF.Bispo,“Benzoylthioureas: design, synthesis and antimycobacterial evaluation,”*Med.Chem*, vol.16, no.1, pp. 93-103, 2020.
- [3] S.Belveren, HA.Dondasa, M.Ülger, S.Poyraz, E.García-Mingüens, M.Ferrandiz-Saperas, JM.Sansano,“Synthesis of highly functionalized 2-(pyrrolidin-1-yl)thiazoleframeworks with interesting antibacterial and antimycobacterial activity,” *Tetrahedron*,vol.73, no.48, pp.6718-6727, 2017

- [4] P.Tashakkori, SS.Bozkurt, M.Merdivan, G.Binzet, and N.Kulcu, "Separation and preconcentration of palladium using benzoylthiourea immobilized on a cationic surfactant coated silica gel," *Analytical Methods*, vol.12, no.4, pp.4135-4139, 2012.
- [5] HN.Hung, U.Abram, "Rhenium and Technetium Complexes with N,N-Dialkyl-N-benzoyl thioureas," *Inorg.Chem.*, vol.46, no.13, pp.5310-5319, 2007
- [6] S.Ayata, S.Aydinci, M.Merdivan, G.Binzet, N.Külcü, "Sorption of uranium using silica gel with benzoylthiourea derivatives," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol.285, no.3, pp.525-529, 2010.
- [7] C.Fontàs, M.Hidalgo, V.Salvadó, E.Anticó, "Selective recovery and preconcentration of mercury with a benzoylthiourea-solid supported liquid membrane system," *Analytica Chimica Acta*, vol.547, no.2, pp.255-261, 2005.
- [8] G.Kurt, "Synthesis of new poly-benzoylthiourea and thermal and surface properties," *J.Polym.Res.*, vol.26, no.232, pp.1-10, 2019.
- [9] KJ.Shneine, YH.Alaraji, "Chemistry of 1,2,4-Triazole: A Review Article," *International Journal of Science and Research*, vol.5, no.3, pp.1411-1423, 2016.
- [10] SP.Pardeshi, SV.Patil, R.Patil, VD.Bobade, "Synthesis and Antimicrobial Activities of Some 1,2,4-Triazolo[3,4-b][1,3,4]thiadiazoles and 1,2,4-Triazolo [3,4-b][1,3,4]thiadiazines Bearing Bistrifluoromethyl phenyl Moiety," *J.Chem.Pharma. Res.*, vol.6, no.4, pp.675-681, 2014.
- [11] T.Taj, RR.Kamble, T.Gireesh, BV.Badami, "An Expeditious Green Synthesis of Schiff Bases and Azetidines Derivatized with 1,2,4-Triazoles," *J.Chem.Sci.*, vol.123, no.5, pp.657-666, 2011.
- [12] X.Zhou, L.Wan, Y.Hu, Y.E, F.Huang, L.Du, "Synthesis and characterization of novel polytriazoleimides by CuAAC step-growth polymerization," *Polymer Journal*, vol.42, No.3, pp.216-222, 2010
- [13] S.Chisca, T.Marchesi, G.Falca, VE.Musteata, T.Huang, E.Abou-Hamad, SP. Nunes, "Organic solvent and thermal resistant polytriazole membranes with enhanced mechanical properties cast from solutions in non-toxic solvents," *Journal of Membrane Science*, vol.597, no.117634, pp.1-12, 2020.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Slope Stability Evaluation of Basement Excavation: A Case Study

 Ahmet ERDAĞ^{a,*}

^a Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, Ankara, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: ahmeterdag@gazi.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.913351

ABSTRACT

A deep excavation should be designed and implemented together with the precautions to prevent any loss of stability and structural damage in the infrastructure and superstructure elements of the neighboring parcels and risks against construction worker's health and safety. This study represents an example of soil damage that may occur due to foundation excavation. The features of the soil affected by the excavation were analyzed through a geological survey and soil models were created for each analysis stages. The study investigates the slope stability analyses that take place during the foundation excavation with the commonly used limit equilibrium (LE) methods. In this article, slope problems that may occur around the excavation before the construction of the basement of a 3-storey school building in İstinye Neighborhood of Istanbul Sarıyer district are examined. First, geotechnical and structural parameters were determined by obtaining detailed drilling reports of the region. Then the study area was modeled with the Rocscience Slide 6.0 program based on the limit equilibrium method. Following the evaluation of the basement excavations, a beveled excavation was made for the safety of the basement construction after the excavation and the stability of the slope excavations was found to be sufficient.

Keywords: Limit equilibrium method, Slope stability analysis, Excavation, School construction

Bodrum Kazısının Şev Stabilite Değerlendirmesi: Vaka Analizi

ÖZ

Bir derin kazı işleminin komşu parsellerdeki alt ve üst yapı unsurlarında veya arsalarda herhangi bir stabilite kaybına ve yapısal hasarlara neden olmaması, inşaat işçi sağlığı ve güvenliği riski yaratmaması için önlemleriyle birlikte projelendirilmesi ve uygulanması gerekmektedir. Bu çalışma, temel kazısı nedeniyle oluşabilecek zemin hasarlarının bir örneğini temsil etmektedir. Kazı ile etkilenen zeminin özellikleri jeolojik araştırma yoluyla analiz edilmiştir ve farklı analiz aşamaları için zemin modelleri oluşturulmuştur. Çalışma, yaygın olarak kullanılan limit denge (LE) yöntemleriyle temel kazısında meydana gelebilecek şev stabilitesi analizlerini ele almaktadır. Bu makalede İstanbul Sarıyer ilçesi İstinye Mahallesi'ndeki 3 katlı bir okul binasının bodrum katının inşasından önce kazı çevresinde meydana gelebilecek şev problemleri incelenmiştir. Bölgeye ait detaylı sondaj raporları alınarak geoteknik ve yapısal parametreler belirlenmiş, çalışma alanı limit denge yöntemine dayalı Rocscience Slide 6.0 programı ile modellenerek bodrum kazıları değerlendirme sonucunda kazı sonrası bodrum inşası güvenliği için şevli kazı yapılmıştır ve şevli kazıların stabilite analizi sonucu eğim güvenliğinin yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Limit denge yöntemi, Şev stabilite analizi, Kazı, Okul inşaatı

I. INTRODUCTION

Istanbul is Turkey's largest metropolis and a global city with a population of about 15 million. It also hosts half of the country's industrial potential. In addition to its natural state, earthquake risk in the city has increased owing to overpopulation, inaccurate land use planning and construction, inadequate infrastructure, services and environmental degradation [1]. Istanbul is experiencing a rapid urban transformation and development process due to globalization. Most of the existing buildings and urban textures are no longer suitable for a city and its residents with a great risk of earthquakes [2].

A city's development process may necessitate pre-construction analyses for structural health during the demolition of a building/area and the construction of new ones. One of these analyses is soil stability analysis. The effect of excavation on the stability of cut slope has been a current issue. Many studies have found that the failure on cut slopes is associated with stress release induced by excavation [3,4].

A realistic assessment when examining stability on slopes requires a detailed engineering study that includes extensive field and laboratory investigations. [5]. Stability is closely related to various geo-environmental factors such as geology, geomorphology and land cover [6,7]. It is often triggered by human intervention, heavy rainfall, and some other dynamic variables [8-10]. Excavation-induced landslides are encountered in construction excavations as well as mining operations [11]. Human activities in particular have been accepted as an important triggering factor leading to many ground problems in excavations [12,13].

Slope failure caused by excavation in the construction of civil engineering such as geology engineering, building engineering and highway engineering is one of the common engineering disasters [14-16]. During excavation work of natural slopes, the slope face may deform and this can lead to slope failure. Figure 1 shows common slope failures as a result of excavation [17].

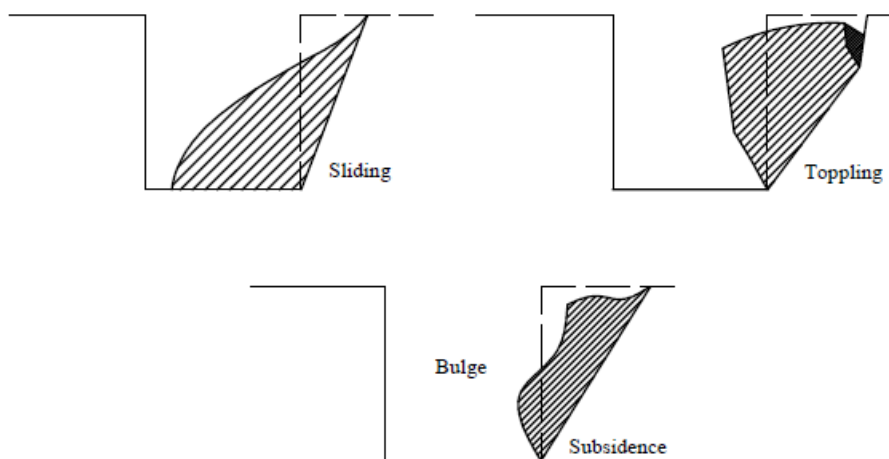


Figure 1. Different pattern of ground movement (drawn by the author).

The Hürriyet Elementary School building, located within the boundaries of Istanbul's Sariyer district, İstinye Neighborhood, was demolished and replaced by a new school building with 4 floors (2nd basement + 1st basement + ground floor + 1st floor). The characteristics and reasons for the problems in the soil were determined by geological research and numerical modeling for the safety of the excavation. As a result of geological research, the stability situation was simulated after each excavation using Rocscience Slide 6.0 software and performed by numerical modeling. Physical conditions in the newly built school building have been improved, social areas have been expanded and it has started to serve as of 2017.

II. STUDY AREA

The study area is located in the Sarıyer region and has an average height of 180 m above sea level (Figure 2). The investigated area is located in the northern part of Istanbul and confined by Latitudes $41^{\circ} 7.882'N$ and Longitudes $29^{\circ} 2.322'E$ [18]. The land with an inclined structure, rises with a certain elevation between 64.10 meters and 81.78 meters. There is a forest and green area in the northeastern part of the land and a forest tourism area in the northwest. The current status of the study area is shown in Figure 3a.



Figure 2. Location map where the study area is located [18].

The upper cretaceous clastic and volcanic rock assemblage extending roughly to the Black Sea coast between Şile and Karaburun on both sides of the Bosphorus has been studied by different researchers. It has been suggested that the name of Sarıyer district, which is located on the area consisting of clastic and volcanic, remains the name of the formation for the whole sequence. Sarıyer formation consists of marl conglomerate containing volcanic tuff, andesite and agglomerate additives. The lower parts of the unit show volcanic flysch characteristics. Overall, the Sarıyer formation is an earthquake-resistant, solid formation. However, there are regions that are weathered, that is, weak against earthquakes in this formation too [19].

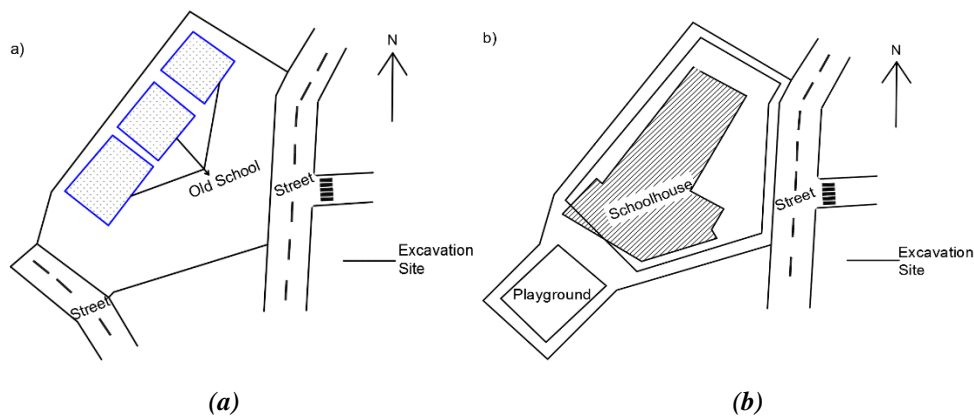


Figure 3. Current status of the study area (a) New school plan (b) (drawn by the author).

The settlement of the newly built school building structure on the land is provided in Figure 3b. The school building was constructed at a distance of at least 3 meters from the side parcels and green areas.

III. FIELD RESEARCH AND DRILLING

Four boreholes with a depth of 20 meters and a total length of 80 meters were drilled in the study area. Soil stratification is divided into two layers. Groundwater levels were found between 7.00 and 7.20 meters in the boreholes. The location of the boreholes and the basement excavations are given in Figure 4.

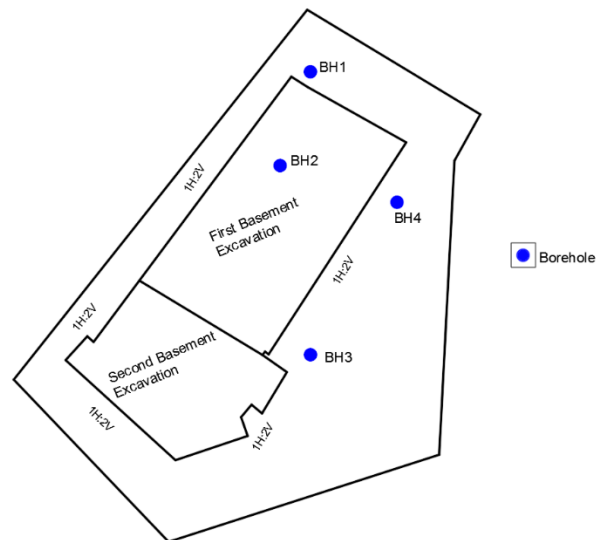


Figure 4. Field survey and drilling (drawn by the author).

The generalized soil profiles and geotechnical properties of these four boreholes named BH1, BH2, BH3 and BH4 are given below. Also, the ground stratification is shown in Figure 5.

- Borehole (BH) 1

There is a layer of pebbly sandy clay between 0.00-16.00 meters and a layer of pebbly clayey sand between 16.00 and 20.00 meters. The soil class has been found as SC - CL in laboratory tests performed on samples taken from this drill.

- Borehole (BH) 2

There is a layer of pebbly sandy clay between 0.00-16.00 meters and a layer of pebbly clayey sand between 16.00 and 20.00 meters. The soil class has been found as SC - CL in laboratory tests performed on samples taken from this drill.

- Borehole (BH) 3

A layer of gravelly sandy clay extends between 0.00-20.00 meters. The soil class has been found as CL in laboratory tests performed on samples taken from this drill.

- Borehole (BH) 4

There is a layer of pebbly sandy clay between 0.00-12.00 meters and a layer of pebbly clayey sand between 12.00-20.00 meters. The soil class has been found as SC - CL in laboratory tests performed on samples taken from this drill.

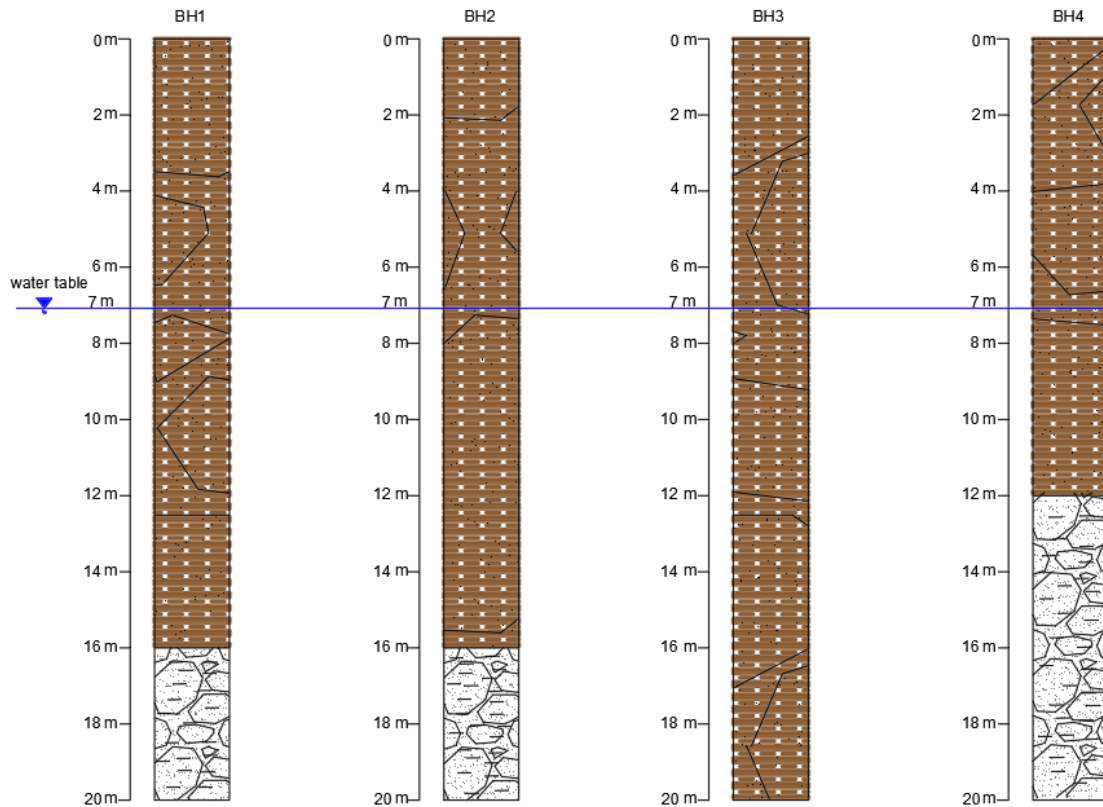


Figure 5. Soil strata from borehole log profiles (drawn by the author).

IV. SELECTION OF SOIL PARAMETERS

Strength parameters are taken from geological-geotechnical report and literature and idealized for the relevant sections. The sandy clay unit has been considered as the idealized ground. In the calculations, BH-4 drilling UD sample values $c = 55.47 \text{ kNm}^{-2}$ and $\varphi^\circ = 10$ were used. Sample values were obtained from ground samples. However, since there is a groundwater level on the ground after 7.20 meters, the strength parameters will be reduced by the reduction coefficients given in the literature. Terzaghi bearing capacity strength reduction method was used for local slope failure.

Terzaghi bearing capacity strength reduction:

Terzaghi proposed in equation 1 and equation 2 that bearing capacity factors, a modified friction angle and cohesion values can be used for local slope failure when the ground is weak or in other words not very dense and hard [20,21].

$$c' = 0.67x c \tag{1}$$

$$\varphi' = \tan^{-1}x(0.67x \tan\varphi) \tag{2}$$

The ground parameters used in the analysis are given in Table 1 together with the modified cohesion and internal friction angle values of the equation results.

Table 1. Values of soil parameters used in slide analyses.

Parameter	Value
Unit weight, γ (kN/m ³)	19
Cohesion, c (kN/m ²)	37.16
Friction angle, ϕ (°)	6.73
Poisson's ratio, ν	0.25

V. METHODOLOGY

Based on the evaluations made, it has been observed that the 1st basement excavation (Figure 6) started from approximately 71.50 elevations and continued up to the highest level of 78.00. In this case, the 2nd basement floor excavation was calculated as 7.30 meters ($78.00 - 70.70 = 7.30$) at the maximum point. For this excavation, there is a setback distance of approximately 6.60 meters on the side facades. However, since the foundation of the part used as a kindergarten where the building is separated by dilatation will settle, a vertical curtain excavation was made. In this case, a beveled excavation with a 1H/2V inclination is proposed for facades with optional slopes.

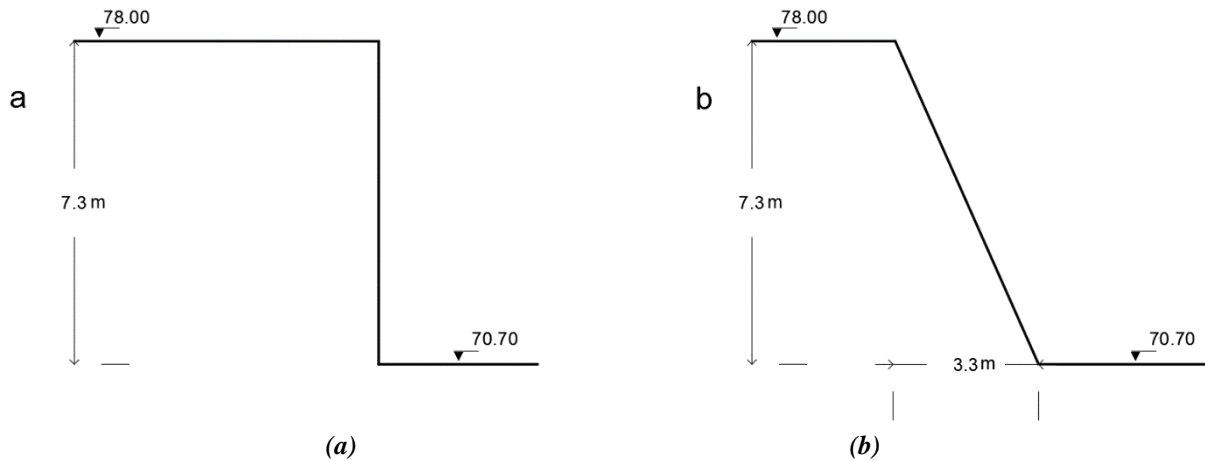


Figure 6. *a* and *b* maximum elevation sections to be formed during 1st basement excavation.

2nd basement floor excavation (Figure 7) was calculated as 5.00 meters ($71.50 - 66.50 = 5.00$) at the maximum point. For this excavation, there is a setback distance of approximately 5 meters on the side facades. However, since the foundation of the first basement part will settle in the section where the building is separated by dilatation, it is not recommended to excavate with an optional slope of 1H/2V on the facades where vertical curtain excavation is performed and no slope is recommended in the place where vertical curtain excavation is made.



Figure 7. *c and d sections with maximum elevation to be formed during 2nd basement excavation.*

In order to achieve the objectives of this study, Rocscience Slide 6.0 software is used. Slide is a 2D limit equilibrium slope stability software for the assessment of the safety factor or probability of failure, of circular or non-circular failure surfaces in soil or rock slopes. Rocscience Slide 6.0 analyzes the stability of slip surfaces using vertical slice or non-vertical slice limit equilibrium methods [22].

In this study, simplified Bishop method is adopted. The simplified Bishop method was proposed by Bishop (1955) [23]. Limit equilibrium methods have been used for decades to safely design major geotechnical structures. Bishop's simplified method, using a circular arc slip surface, is probably the most popular method [24]. Bishop's Simplified method (1955), use an estimated factor of safety when computing the normal force at the base of a slice [25]. Characteristics of bishop method are show in Table 2.

Table 2. *Characteristics of equilibrium methods of slope stability analysis [26].*

Method	Characteristics
Bishop's Modified Method (Bishop 1955)	This method is used for circular slip surfaces Provides moment equilibrium

This method satisfies vertical force equilibrium for each slice and overall moment equilibrium about the center of the circular trial surface. The method also assumes zero interslice shear forces [27]. In the simplified Bishop procedure, the forces on the side of the slice are assumed to be horizontal (i.e., there are no shear stresses between slices). Forces are summed in the vertical direction satisfy equilibrium in this direction and to obtain an expression for the normal stress of the base of each slice (Figure 8) Bishop's method is suited to most stability problems where a circular failure surface is likely. It is easy to run and always produces a result, since it only considers moment equilibrium [28,29].

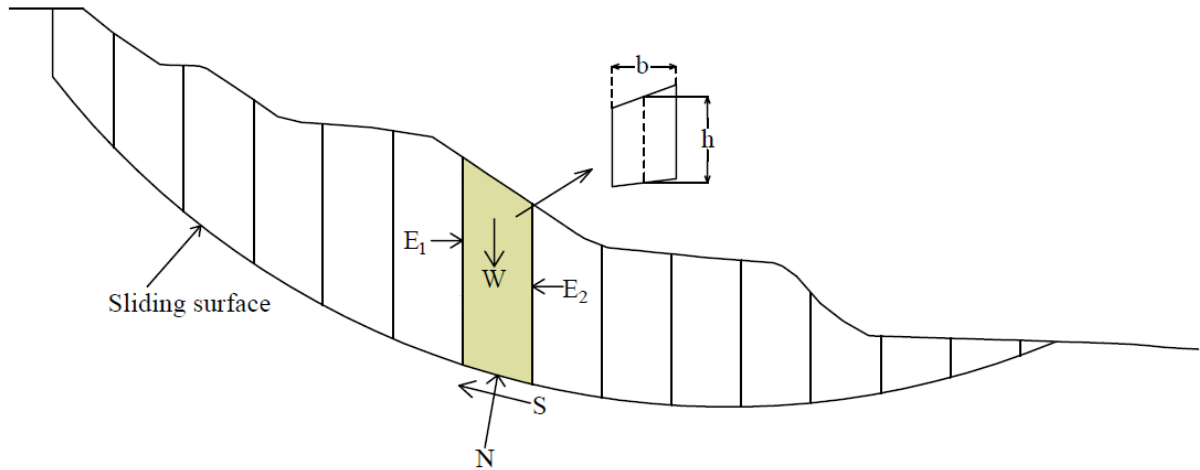


Figure 8. Forces acting on the slice, Bishop (1955) (drawn by the author) [30].

S is the available shear strength and N is normal force in the plane [31]. A simple form of the Bishop's simplified factor of safety equation is:

$$FS = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \sum \left[\frac{c\beta + W \tan \varphi - \frac{c\beta}{FS} \sin \alpha \tan \varphi}{m_\alpha} \right] \quad (3)$$

Factor of safety is on both sides of the equation as noted above. The equation is not much different than the ordinary factor of safety equation except for the m_α term, which is defined as:

$$m_\alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \varphi}{FS} \quad (4)$$

Where,

b : width of slice

w : weight of slice,

c : cohesion

φ : angle of internal friction

α : inclination of slice base.

FoS : Factor of safety [26].

VI. STABILITY ANALYSIS

Stability analysis was performed for the 1st and 2nd basement excavations mentioned in the foundation excavation. In the 1st basement excavation, the stability calculations for the beveled excavation with a slope of 1H/2V were finalized and it was observed that the stability was achieved thanks to the calculations. According to the stability calculation results, the factor of safety obtained in the 1st basement excavation on the facade with optional slope was calculated as 1.593 (Figure 9b).

The stability analysis performed on the facade where the vertical curtain will be constructed in the 1st basement excavation has shown that the factor of safety is calculated as 1.257 (Figure 9a). Considering the hydrostatic effects that may occur from underground and surface waters on this facade, measures should be taken in terms of construction safety. Prospective measures are given in the results section.

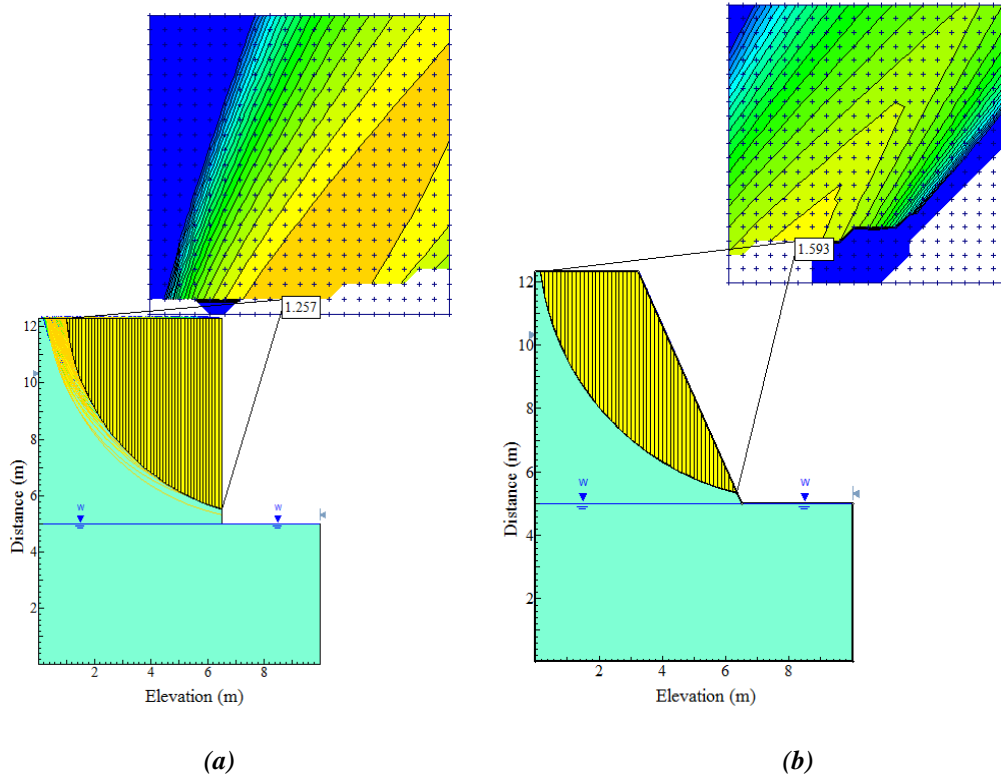


Figure 9. 1st basement vertical curtain excavation façade (a) 1st basement excavation façade with an optional slope (b).

For the 2nd basement excavation, the stability calculations for the beveled excavation with 1H/2V slope on the facades with optional slopes shown in Figure 10a have been finalized and it has been observed that the stability has been achieved thanks to the calculations. In addition, it was obtained as a result of the analysis that stability was ensured in the vertical wall excavation of the 2nd basement excavation. Following the analyses, the factor of safety on the facade where the vertical curtain will be excavated was calculated as 1.669 and the factor of safety obtained as a result of the analysis performed on the facade where the slope could be constructed was calculated as 2.238 (Figure 10).

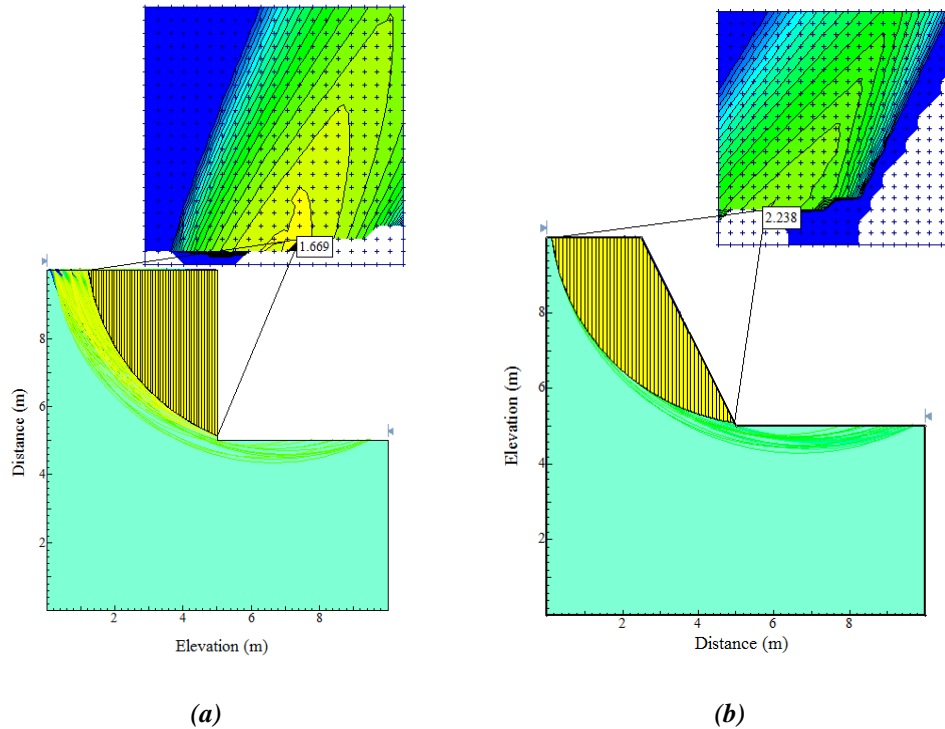


Figure 10. 2nd basement vertical curtain excavation façade (a) 2nd basement excavation façade with optional slope (b).

VII. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The current study focuses on the evaluation of slopes in static condition. The soils exposed on the sites were mainly of Sarıyer formation. Limit equilibrium analysis was performed with software Slide v. 6.0 to assess factor of safety of slopes at static conditions.

Stability analysis was carried out under two different conditions as steep and slope excavation. In the second basement excavation, it was observed that the factor of safety was stable with the results of 2.238 and 1.169 in the analysis made in the excavations on the sloped and vertical curtain facade. During the 1st basement excavation, the factor of safety on the vertical curtain excavation facade was calculated as 1.257. Numerical analysis shows that the vertical curtain excavation is unstable with less than 1 factor of safety, and the sliding surface occurred at the ground interface.

The following recommendations were deduced from the results of the analysis:

- In the foundation excavations to be started, precautions to prevent surface water from infiltrating the ground should be taken into consideration primarily. The construction of the basement curtain has gained importance immediately after the excavation, as the stability may deteriorate with the hydrostatic effects that may occur from rainfall, underground and surface waters.
- In case of extensions during the construction, additional measures such as shotcrete can be taken.
- Under normal conditions, soils may be stable, but with excavation, the stability can become very sensitive.
- Before starting the excavation work, the geotechnical study of the excavation area should be done and the soil type, layers and water level should be determined.

- In order to increase the factor of safety, additional measures should be taken on the slope in the excavation area.
- The stability problem must be examined in excavation works, and excavation works should be allowed after the necessary precautions are taken within a project.

ACKNOWLEDGEMENTS: Finally, the author would like to thank to Kazım Gökhan ELGIN for providing data for this paper and to Assoc. Prof. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN from Gazi University for supporting this project to be published.

VIII. REFERENCES

- [1] M. Erdik and E. Durukal, "Earthquake risk and its mitigation in Istanbul," *Natural Hazards*, vol. 44, no. 2, pp. 181-197, 2008.
- [2] B. Torus and N. Aydın, "Urban transformation in Istanbul," *4th International Conference Archi-Cultural Interactions*, Nishinomiya, Japan, July 16-18, 2016.
- [3] R. Lutton, "A mechanism for progressive rock mass failure as revealed by loess slumps," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, vol. 8 no. 2, pp. 143-149, 1971.
- [4] B. Burland, T. Longworth and F. Moore, "A study of ground movement and progressive failure caused by a deep excavation in Oxford Clay," *Géotechnique*, vol. 14 no. 6, pp. 557-591, 1977.
- [5] A. Ö. Erçin, "Slope Stability and Engineering Applications," M.S. thesis, Department of Civil Engineering, Erciyes University, Kayseri, Turkey, 2007.
- [6] D. Varnes, "Slope movements: types and processes in Schuster," *Landslides*, vol. 36 no. 3, pp. 11-33, 1978.
- [7] D. Cruden and M. Varnes, "Landslides types and processes," *Landslides*, vol. 201, no. 4, pp. 36-57, 1996.
- [8] P. Canuti, P. Focardi and C. Garzoni, "Correlation between rainfall and landslides," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 32, no. 8, pp. 49-54, 1985.
- [9] J. Corominas and J. Moya, "Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin," *Geomorphology*, vol. 32, no. 21, pp. 79-93, 1999.
- [10] C. Zhou, C. Lee, J. Li and Z. Xu, "On the relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong," *Geomorphology*, vol. 43, no. 4, pp. 197-207, 2002.
- [11] Q. Zaruba and V. Mencl, *Landslides and Their Control*. Amsterdam, NX: Elsevier.1982.
- [12] F. Zhang, G. Liu, W. Chen, S. Liang, R. Chen and W. Han, "Human-induced landslide on a high cut slope: a case of repeated failures due to multi-excavation," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 367-374, 2012.
- [13] A. E. Erginal, M. Türkeş, T. A. Ertek, A. Baba and C. Bayraktar, "Geomorphological investigation of the excavation-induced Dündar landslide, Bursa – Turkey," *Physical Geography*, vol. 6, no. 2, pp. 109-123, 2008.

- [14] M. Li, G. Zhang and Y. Hu, "Centrifuge model tests on excavation-induced failure of slopes," *Rock and Soil Mechanics*, vol. 31 no. 2, pp. 366-370, 2010.
- [15] J. Wang, Y. Liang and H. Zhang, "A loess landslide induced by excavation and rainfall," *Landslides*, vol.11, no. 1, pp. 141-152, 2014.
- [16] S. Mohammadi and H. Taiebat, "Finite element simulation of an excavation-triggered landslide using large deformation theory," *Engineerin Geology*, vol. 205, no. 8, pp. 62-72, 2016.
- [17] Y. Sutejoa and G. Nurly, "Effect of area development on the stability of cut slope," The 5th International Conference of Euro Asia Civil Engineering, Surabaya, Indonesia, Sep. 15-18, 2015.
- [18] Google Maps. (2020, Nov 14). *School location image* [Online]. Available:<https://www.google.com/earth>.
- [19] R. Korkmaz and M. Tekin, "İstanbul İl Alanının Jeolojisi," İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem Risk Yönetimi ve Kentsel İyileştirme Daire Başkanlığı, Rap.12, 2011.
- [20] Y. Hayata, NII-Electronic library service. *Chemical Pharmaceutical Bulletin*, vol. 43, no. 56, pp. 2091-2016, 2002.
- [21] S. S. Tezcan, A. Keceli and Z. Ozdemir, "Allowable bearing capacity of shallow foundations based on shear wave velocity," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 203-218, 2006.
- [22] Rocscience Slide 6.0, Computer Software, Toronto (ON), 2014.
- [23] B. Georges, H. Shimizu and S. Nishimura, "Residual strength of colluvium and stability analysis of farmland slope," *The Commission International Du Genie Rural Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 1-12, 2001.
- [24] J. Han and D. Leshchinsky, "Limit equilibrium and continuum mechanics-based numerical methods for analyzing stability of mse walls," 17th ASCE Engineering Mechanics Conference, Newark, United States, Jun 12-16, 2004.
- [25] D. G. Fredlund and R. E. Scoular, "Using limit equilibrium concepts in finite element slope stability analysis," *Slope Stability Engineering*, vol. 35, no. 25, pp. 31-47, 1999.
- [26] R. W. Day, "State of the art: Limit equilibrium and finite-element analysis of slopes," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 123, no. 9, pp. 894-899, 1997.
- [27] M. Rabie, "Comparison study between traditional and finite element methods for slopes under heavy rainfall," *HBRC Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 160-168, 2014.
- [28] K. Baba, L. Bahi, O. Latifa and A. Akhssas, "Slope stability evaluations by limit equilibrium and finite element methods applied to a railway in the moroccan rif," *Open Journal of Civil Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 12-27, 2012.
- [29] Z. S. Mansour and B. Kalantari, "Traditional methods vs. finite difference method for computing safety factors of slope stability," *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 18, no. 6, pp. 1119-1130, 2011.
- [30] J. M. Duncan and S. G. Wright, *Soil strength and slope stability*, John Wiley and Sons, Eds. New Jersey: Hoboken Press, 2005, pp. 205-220.

[31] Geo-Slope International Ltd. SLOPE/W user's manual. Version 4.0. Copyright. Geo-Slope International Ltd., Calgary, Alta. 2001, pp. 1991–2001.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Düzce Kentinde Dikey Bahçe Uygulanabilirliğinin Araştırılması

 Özge DEDEİ DÜNDAR ^{a,*},  Zeki DEMİR ^b

^a Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozgededei.sd@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.941832

ÖZ

Dikey bahçeler, şehirlerde git gide azalan yeşil alan gereksinimini kısmen gidermek ve tek düze betonlaşma arasında alternatif yeşili yaşatmak için ortaya çıkmış en iyi buluşlardandır. “Yaşayan Duvar” adıyla da anılan dikey bahçeler, yapıların dış yüzeylerinde ve topraksız ortamda canlı bitki yetiştirilmesi esasına dayalıdır. Dış mekanda uygulanan dikey bahçeler kentlerde; yeşil alan miktarını, hava ve yaşam kalitesini artırma, biyolojik çeşitlilik sağlayarak ekolojik bilinci yaygınlaştırma etkileriyle beraber ısı-enerji bütçesi, toz partiküllerini tutarak karbondioksit salınımını azaltma gibi önemli konularda da iyileştirmeler yapmaktadır. Dikey bahçeler uygulandığı alandaki etkilerinin yanı sıra psikolojik olarak kişilerde olumlu hislere ve düşüncelere de sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında Düzce'nin kimliğini yansıtabilecek kilit bölgeler (Çoban Dalçık, Asar Deresi, Düzce Şehirler Arası Otobüs Terminali) seçilerek alanlara uygun iki boyutlu ve üç boyutlu dikey bahçe tasarımları (Efteni Gölü, Akçakoca İlçesi, Konuralp Antik Kent Kalıntıları, Düzce İli'nde Yapılan Spor Dalları) yapılarak; yapay-doğal, estetik-estetik değil, yorucu-dinlendirici, uyumsuz-uyumlu, karışık-anlaşılır, sıradan-modern karşılaştırılmalı sıfatlarla tanımlanarak anket çalışmasıyla kullanıcılara sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dikey bahçe, Dikey bahçe tasarımları, Dikey bahçe sistemleri, Düzce.

Investigation of Vertical Gardening Applicabilityin City Center of Düzce

ABSTRACT

Vertical gardens are one of the best inventions that have emerged in order to partially meet the decreasing need for green space in cities and to provide alternative greenery among the uniform concreting. Vertical gardens, also known as the "Living Wall", are based on the principle of growing live plants on the outer surfaces of the buildings and in a soilless environment. Vertical gardens applied outdoors in cities; In addition to its effects on increasing the amount of green space, air and life quality, and extending ecological awareness by providing biodiversity, it also makes improvements in important issues such as heat-energy budget, reducing carbon dioxide emissions by keeping dust particles. In addition to the effects of vertical gardens in the area where it is applied, it also causes positive feelings and thoughts in people psychologically. Within the scope of this study, two-dimensional and three-dimensional vertical garden designs suitable for the areas (Efteni Lake, Akçakoca District, Konuralp Ancient City Ruins, Düzce Province) were selected by selecting the key regions that can reflect the identity of Düzce (Çoban Dalçık, Asar Creek, Düzce Intercity Bus Terminal) by doing Sports Branches; artificial-natural, aesthetic-not aesthetic, tiring-relaxing, incompatible-harmonious, mixed-understandable, ordinary-modern comparative adjectives and presented to users through a survey study.

Keywords: Vertical garden, Vertical garden designs, Vertical garden systems, Düzce.

I. GİRİŞ

Dünya daha kalabalık bir hal almaya başladığında göçebelikten yerleşik hayata geçişler artmış ve kentlerdeki yoğunluk fazlalaşmıştır. Bu fazlalık kentsel katliamları da beraberinde getirmiş ve kentsel hayat yeşilden uzak, ağaçlarla süslü arazilerin yerini devasa yapıların aldığı yerler olmuştur [1].20. yüzyılın ortalarında hızlanan çarpık kentleşme, 21. yüzyıl kentleşmesinde yeşil alanların yetersiz kalmasına neden olmuştur. Kentlerde yaşayan insanların beden ve ruh sağlıkları, kentleşme sürecinde olumsuz etkilenmiştir[2].

Yeşil hayat için ayakta kalmanın giderek güçleştiği yeni düzende, çevrecilerin doğayı koruma serzenişlerine 20. yüzyılın belki de en önemli çevreci mimarı Patrick Blanch cevap vermiştir. Blanch'e göre ne inşa etmek zorunda olunan yapılardan ne de yeşilden vazgeçilmek zorunda kalınacaktır. Bulunan çevreci çözümle tüm duvarlar yemyeşil bahçelere dönüştürülebilirdi [1].

Dikey bahçelerin ortaya çıkmasını bu kadar ilginç kılan şey, bahçelerin başlangıçta bir zamanlar kentin ve daha sonra bahçenin bulunduğu kırsal ve kentsel ortamlar arasında arabulucu olarak kullanılmasıydı. Bu kentsel bahçe biçimi, genellikle şehirlerdeki binaları süslemek için bir sanat formu olarak tasarlanmıştır ve şehirleri daha keyifli, daha sağlıklı ve nihayetinde daha yeşil yerler haline getirmenin bir yolu olarak kabul edilmiştir [3].

“Dikey bahçe” veya “Dikey peyzaj” adı verilen uygulama, hızlı kentleşmenin yaşandığı metropol kentlerde tercih edilmeye ve başta Avrupa olmak üzere tüm dünyada hızla yayılmaya başladı; duvarları gri görünümünden kurtarıp, sanatsal tablo görüntüsüne bürünmüştür. Kentlerde yeşile duyulan özleme cevap, estetik açıdan arzu edilen görüntüye yeni bir soluk, ekolojik olarak kente fayda sağlayan, insan psikolojisi üzerinde olumlu etki ve yatayda yer kaplamayarak bahçe formuna farklı bir boyut kazandıran dikey bahçeler sağlık – estetik yönünden olumlu etkileriyle ön plana çıkmışlardır. Kent tasarımına yeni bir soluk getiren dikey bahçeler, daha ekolojik daha sıcak ortamlar oluşturmanın yanı sıra bitkilerin tarımsal öge dışında farklı boyutlarda yorumlanabileceğini göstermiştir [4].

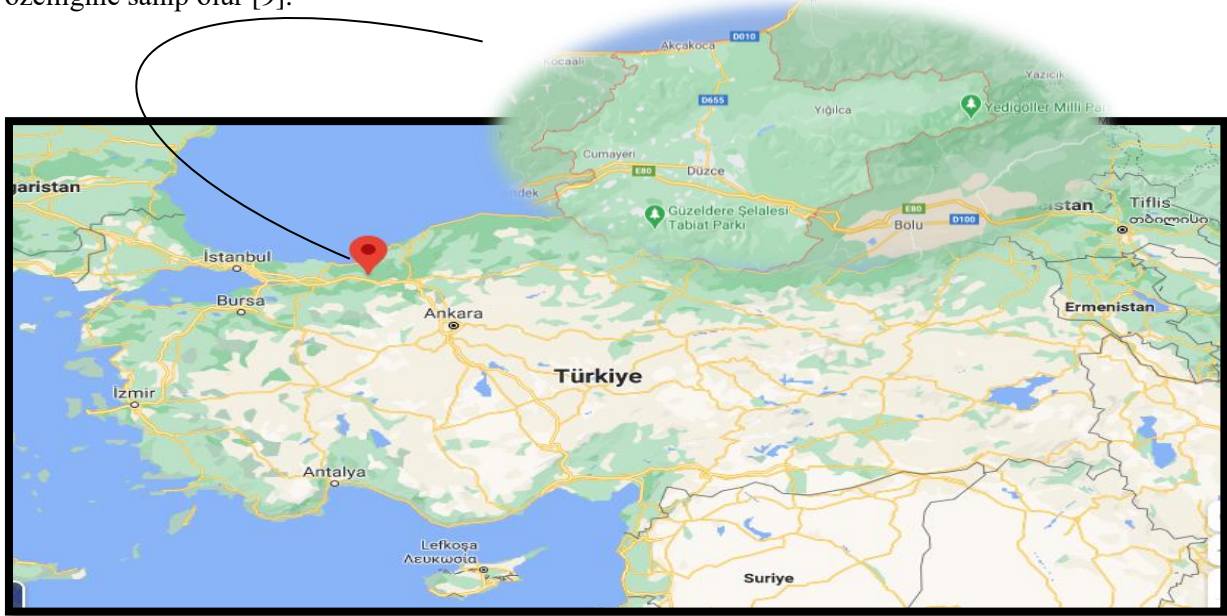
Grafiti, çoğunlukla kamusal bir alanda yer alan bir duvar ya da yüzeye çizilmiş, kazınmış veya püskürtülmüş yazı ve çizimlerdir [5].İlk çağlardan beri bir durumu resmetme, tanımlama ya da dikkat çekme yöntemlerinden birisidir [6].Bugün bilinen anlamıyla grafiti, 1960'ların sonlarında Amerika Birleşik Devletleri'nin hip hop kültürüyle birlikte doğmuştur. Modern şehirlerde otobüslerin içlerine sivri bir aletle kazınan yazılardan sokak duvarlarına sprey boyayla çizilen resimlere kadar pek çok uygulama grafitinin kapsamına girmektedir. Kimi çevrelerce bir sanat dalı olarak kabul edilirken, bir başka bakış açısı da, grafitiyi vandalizm olarak değerlendirmekte ve suçla ilişkilendirmektedir. II. Dünya Savaşı'nda propaganda aracı olarak kullanılan grafiti, günümüzdeki anlamıyla 1960'lı yıllarda Amerika'da, özellikle New York'ta politik eylemciler ve sokak çeteleri, seslerini duyurmak ve kendi çetelerinin sınırlarını belirlemek için benimsenen bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. 1970'li yıllarda ortaya çıkan rap ve hip-hop kültürü, grafitinin dünyada yaygınlaşmasını sağlamıştır[5]. Grafiti altkültürünün merkezindeki rekabet ve “Stil Savaşları” balon şeklinde olan harflerden, “stamp” (damga) olarak bilinen üç boyutlu grafitilere ve karmaşık “wildstyle” (vahşi stile) doğru bir evrimleşmeyi sağlamıştır [7]. 1980'lerde “Style Wars” ve “Wild Style” adlı iki belgesel grafiti ve hip hop kültürünün geniş kitlelere yayılmasında rol oynamıştır[8]. Avrupa'nın ve Güney Amerika'nın politik sorunlar yaşayan bölgelerinde yoğun olarak görülmeye başladı. Doksanlı yıllarda grafiti kendine özgü bir giyim, yaşam tarzı ve literatür oluşturdu. ThieryNoir adlı bir sokak sanatçısının Berlin Duvarı'nın yıkılışına eşlik eden grafitileri uluslararası bir ün kazanarak grafiti üzerinden özgürlük isteminin sanatsal bir ifadesi olmuştur[6]. Grafitinin kaligrafik biçimi, ikibinli yılların sunduğu kültürel ve teknik olanaklar ile yepyeni bir boyut kazanmıştır. Günümüzde sokak sanatçısı, ismini değil vermek istediği mesajı yaymayı amaçlamakta ve çok daha çeşitli materyalleri kullanmaktadır [6]. Peyzajda kullanılan “Konuşan Duvarlar” da grafitinin günümüzde şekillenmiş bir hali olup kötü görüntüye sahip duvarların renklenmesinde kullanılır.

Bu çalışmanın amacı; Düzce Kenti'nin önemli geçiş noktaları için kentin kimliğini yansıtacak tasarımlar yapılarak kullanıcıların görsel algılarının hangi niteliklere göre değişim gösterdiğini belirleyerek, dikey bahçe için en uygun materyal seçimi yapmaktır. Kentte seçilen noktadaki duvarların olumsuz görüntülerini iyileştirmek amacıyla bu alanlarda oluşturulacak dikey bahçe için tasarlanan 3 boyutlu modeller üzerinden en uygun seçenek belirlenmiştir. Kentin kimliği ile uyumlu, kenti sembolize eden tasarımların hazırlanmasında kullanılan her bir tasarım için en uygun materyalin araştırılması yapılmış ve her bir alan için tasarımın yapıldığı duvarlara uygun kentin kimliğini ortaya çıkaracak malzeme belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

Çalışma alanı olarak Batı Karadeniz Bölgesi'ne ait olan Düzce İli seçilmiştir. Düzce konumu itibariyle doğu-batı yönünde uzanan D-100 karayolu ile TEM otopanı üzerinde yer alır ve bu yollar il merkezinden geçer. Bu konumu ile Avrupa-Asya arasında transit yol üzerinde bulunan Düzce, D-100 karayolu ile il merkezinden ayrılarak Akçakoca ilçesi üzerinden Zonguldak İli'ne bağlanır ve yol kavşağı şehri olma özelliğine sahip olur [9].



Şekil 1. Çalışma Alanı İl Konumu.

Öncelikle Düzce İli kent merkezinde görsel olarak hoş gözükmeyen duvarların kötü görüntüsünü ortadan kaldırmak için dikey bahçe uygulaması yapabilecek alanlar tespit edilmiştir. Bu amaçla yapılan çalışmanın materyalini, belirlenen alanlarda ne tür uygulama yapılacağına karar vermek için yazılı kaynaklardan alternatifler araştırılmıştır. Bu alanları belirlemek için imar planlarından, yerinde gözlem, fotoğraflama ve daha önceden çekilmiş görsellerden yararlanılmıştır. Belirlenen alanlar için tasarlanacak dikey bahçe figürlerini oluşturmak için Düzce'ye özgü tarihi ve doğal alanlar araştırılmıştır. Bu amaçla yerel yönetimlerle bilgi alışverişinde bulunulmuş, alanlara ait 3 boyutlu modeller ve modeller hakkında kullanıcı düşünceleri ortaya koymak için anket uygulaması yapılmıştır. Anketlerin değerlendirilmesinde SPSS programı kullanılmıştır.



Şekil 2. Dikey Bahçe Tasarım Uygulamalarının Önerileceği Alanlar.

Literatür araştırmaları sonucunda dikey bahçelerin uygulanacağı alanlar arasında amaç kente kimlik kazandırmak, kentin tanıtımında görsellik ve estetik açısından katkı sağlamak ise kentin kilit noktalarını oluşturacak bölgelerin seçilme önceliğidir. Bu veriler göz önünde bulundurularak seçilen alanlarda Düzce'nin tarihiyle, doğasıyla, sosyal uğraşlarıyla bütünleşmiş figürler ile tasarımlar yapılmış, bu tasarımlarda; kentin transit yol üzerindeki Çoban Dalçık duvarları, kent insanı kadar turistlerin geçiş noktası Şehirler Arası Otobüs Terminali duvarları ve kent merkezinden geçen Asar Deresi duvarlarında gösterilmiştir.

A. 1. Çoban Dalçık



Şekil 3. Çoban Dalçık Orijinal, 2019.

Düzce'nin D-100 karayolu Çoban mevkiinde bulunan 2010 yılında trafiğe açılan dalçık, şehrin doğu ve batı yol güzergahını kesintisiz hale getirmiştir. Yolun her iki bölümünde trafik üç şerit üzerinden akıyor ve orta refüj ile yeşil alan gereksinimini karşılamaya çalışmaktadır[9]. İstanbul ve Ankara arasında bulunan Düzce, bu yol aksında yapılandığı dalçıkla transit geçişlere uygun bir istikamet oluşturmuştur. Bu alana dikey bahçe uygulama fikrinin sebebi ise, geçişlerde yetersiz kalan yeşilin refüjle karşılanamamasının yanı sıra Dalçık duvarlarındaki kötü görüntüye görsellik katmak ve bu görselliği şehre kimlik kazandıran sembolleşmiş değerlerin yeşille sunularak akılda kalıcılığının sağlanma isteğinin düşünümesidir.

A. 2. Düzce Şehirler Arası Otobüs Terminali



Şekil 4. Düzce Şehirler Arası Otobüs Terminali Orijinal, 2019.

Düzce’de 2016 yılında kentin 50 yıllık ihtiyacını karşılamak amacıyla Darıcı mahallesinde 31 bin 500 metrekare üzerine kurulan ve inşaat alanı 7 bin 118 metrekare olan şehirler arası otobüs terminali, 4 bin metrekare de yeşil alana sahiptir. Düzce’nin merkez TEM Otoyol bağlantısının kolay, düzenli bir şekilde sağlanması ve yolcu sirkülasyonunda rahatlama olması için tasarlanmış, eskisine göre daha modern bir hale bürünmesi amaçlanmıştır [9]. Terminaller kentlerin turist karşılama mekanları olarak değerlendirilebilecek alanlardır. Düzce İli’nde de kente son yıllarda kazandırılan modern terminal uygulamasının birçok sebepten ötürü yarım kalmışlık ve betonarme bir kütle şeklinde soğuk bir görüntüsü mevcuttur. Bu alanda dikey bahçe uygulamasının verimli olabileceği fikri mevcut yeşil alanın eksikliğini gidermek, karşılama görevini üstlenen mekana yeşille görsellik katmak, kentin tanıtımı açısından sembolik tasarımlarla beton kütle görünümdeki yapının daha sıcak ve sempatik hale gelmesini sağlamak amaçlanmıştır.

A. 3. Asar Deresi



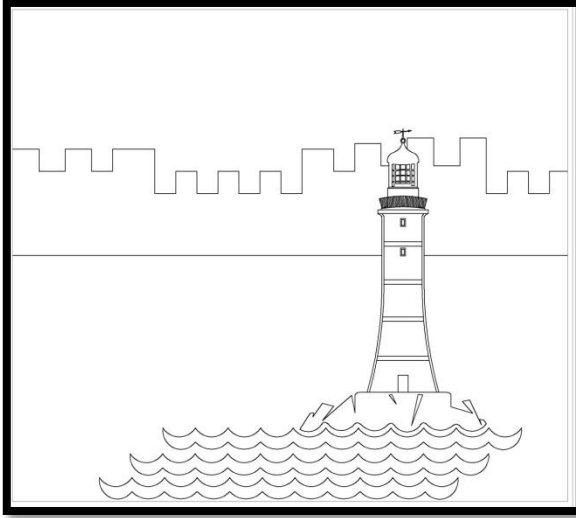
Şekil 5. Asar Deresi Orijinal, 2019.

Düzce'nin yaklaşık 10 km batısında Mamure köyü yakınlarında Küçük Melen'le birleşen Asar Deresi Bolu dağlarında doğar, Kaynaşlı'dan geçerek Üçköprü'de ovaya girer ve batıya doğru akarak birleşim noktasından sonra Küçük Melen içinde Efteni gölüne dökülür. Asar suyunun uzunluğu yaklaşık 30 km, yağış alanı 176 km² kadardır ve yıllık ortalama akımı 93x16 m³'tür [9]. Kent merkezinden geçen Asar Deresi kent insanları tarafından günlük yol geçişi olarak en çok kullanılan alanlardan biridir. Bu alanda dikey bahçe uygulamasının verimli olabileceği fikri mevcut su kenarının duvarlarında var olan kötü görüntüyü gidermek, orada bulunan çay bahçesi, iş yerleri, oturma alanlarına suyla beraber bütünlük kazandırarak yeşilin maviyle doğal görüntüsünü oluşturma amaçlanmıştır.

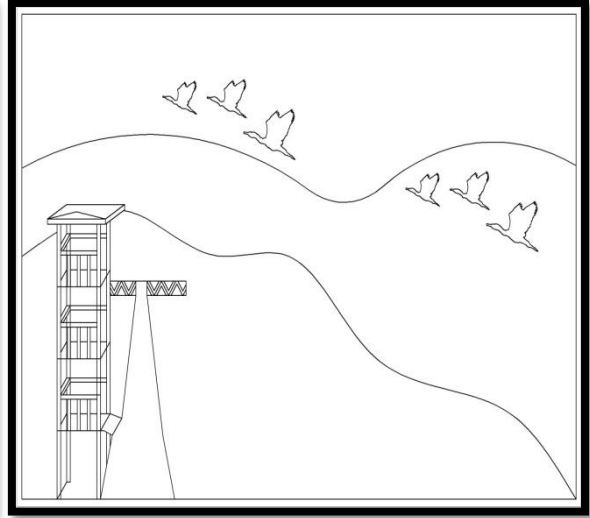
B. YÖNTEM

Çalışmanın amacına uygun olacak şekilde Düzce İli'ni simgeleyecek tasarımlar oluşturulmuş ve bu tasarımlar önce iki boyutlu ardından da üç boyutlu şekilde tasarlanarak uygulanması öngörülen alanlara bilgisayar programlarıyla yerleştirilmiştir. Bu tasarımlar seçilen üç ayrı alanda, üç farklı uygulama şekli (bitkilerden oluşan dikey bahçeler, plastik objelerden oluşan dikey bahçeler, konuşan duvarlar) olarak 100 kişiden oluşan anketle kullanıcılara sunulmuştur.

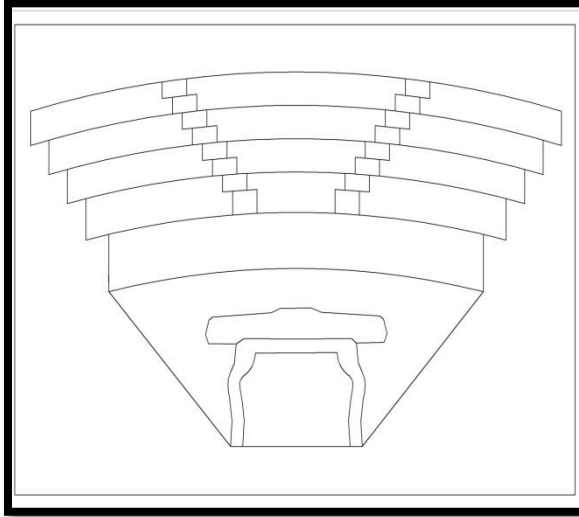
Yapılan anket iki kısımdan ve toplamda 10 sorudan oluşmaktadır. İlk kısım katılımcıların belirleyici özelliklerini tanımlamak için, ikinci kısım ise oluşturulan tasarımların kullanılan materyallere göre şıklar halinde sunulmuş hangi sıfat çiftlerinin tercih edildikleri gözlemlenmiştir. Katılımcıların yaşları, cinsiyetleri, medeni durumları, eğitim düzeyleri, meslekleri, gelir düzeyleri ve Düzce'de ikamet ettiği yılları ilk kısımdaki değişkenleri oluşturmaktadır. İkinci kısımda üç farklı (bitkilerden oluşan dikey bahçeler, plastik objelerden oluşan dikey bahçeler, konuşan duvarlar) materyalden oluşturulan dikey bahçeler; yapay-doğal, estetik-estetik değil, yorucu-dinlendirici, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, sıradanlık hissi-modern sıfat çiftleriyle katılımcıların görsel peyzaj tercihleri belirlenmeye çalışılmıştır. Eskiz çalışmalarıyla oluşturulan tasarımlar, AutoCad-2019 programıyla iki boyutlu olarak bilgisayar ortamına alınmış ve SketchUp 2019 ile Lumion6.0 programları kullanılarak üç boyutlu hale getirilmiştir.



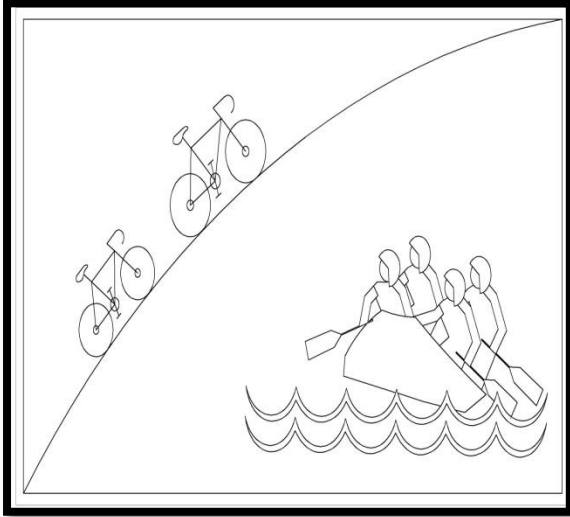
Şekil 6. 1.Tasarım: Akçakoca İlçesi.



Şekil 7. 2.Tasarım: Efteni Gölü.



Şekil 8. 3.Tasarım: Konuralp İlçesi.



Şekil 9. 4.Tasarım: Yapılan Sporlar.

Tasarımlar, kentin kimliğini oluşturabilecek simgelerden esinlenerek yapılmıştır. İlk tasarımda Düzce'nin denize kıyısı olan Akçakoca ilçesi tasvir edilmiş olup, orada bulunan Ceneviz Kalesi ve deniz feneri simgeleştirilmiştir. Kentin kültürel, doğal ve tarihi turizm bölgesi olan ilçe kenti tanımlayan bir figür olarak kullanılmıştır. İkinci tasarımda Efteni Gölü tasvir edilmiş ve doğal güzelliği, kuş türlerinin göç alanı oluşu, göle dair bir çok efsanevi hikayelerinin de yaygınlığıyla her daim kentlinin uğrak yeri olan bu alan da kent kimliğinde bir figür olarak kullanılmıştır. Düzce'nin medeniyetlere ev sahipliği yapmış olan ilçesi Konuralp günümüzde hala kazı çalışmaları devam eden Prusias Antik Kenti, sit alanı özelliği taşıyan, tarihi turizm kimliğiyle olmazsa olmaz bir figür olarak tasarımlarda kullanılmıştır.

Kent insanının ulaşımında en çok kullandığı bisikletler ve rafting sporu da kenti tanımlayan bir figür olarak kullanılmıştır.

Tasarımlarda kullanılan figürler, kentin tanıtımında kullanılan yerlerin arasından seçilmiş ve hem belediye çalışanları hem de kentlilere sorularak son karar verilmiştir. Bu alanlar Düzce ile özdeşleşmiş alanlar olup kent kimliğinde tanıtım rolü üstlenmiş yerlerdir.

Yapılan tasarımlar, seçilen alanlarda üç farklı uygulama örneği olarak sunulmuştur. Bunlar; yalnızca bitkilerden oluşan dikey bahçeler, plastik objelerden oluşturulan dikey bahçeler ve boyanarak elde edilen konuşan duvarlar şeklinde meydana getirilmiştir. Son dönemlerde dikey bahçelerin kaldırılıp yerlerine alternatif çalışmaların uygulanması sebebiyle bu çalışmada cansız materyallerden oluşan

tasarımlar da kullanıcının fikrine sunulmuştur. Farklı tasarım uygulamaları kullanıcıların görsel peyzaj tercihinin hangi yönde olduğunu belirlemek amacıyla tercih için kullanılmıştır.

Literatürde sıfat çiftleri olumlu olumsuz olarak sınıflandırılmıştır [10] ve bu sebeple anket çalışmasında da sıfatlar böyle şekillendirilmiştir. Sıfat çiftlerinin aynı zamanda tasarım ve görsel güç açısından ikiye ayrıldığı belirlenmiştir [11]. Bu çalışmada kullanılan sıfat çiftleri; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi olarak olumlu ve olumsuz olarak sıralanmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen anketler SPSS paket programıyla katılımcıların sosyo-ekonomik durumları sıklık (frequencies) analiziyle belirlenmiştir. Katılımcı özelliklerin etkisi ve görsel değişkenler, sıfat özellikleri ile arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla standart sapma ve aritmetik ortalamaları alınmıştır. Katılımcıların kullanılan materyale göre beğenileri arasında anlamlı bir fark olup olmadığını incelemek amacıyla tekrarlı ölçümler anova testi yürütülmüştür. Çalışma da sözel ve görsel değerler rakamsal ifadeler olarak ele alınarak sayısal değerler olarak değerlendirilmiştir.

III.BULGULAR VE TARTIŞMA

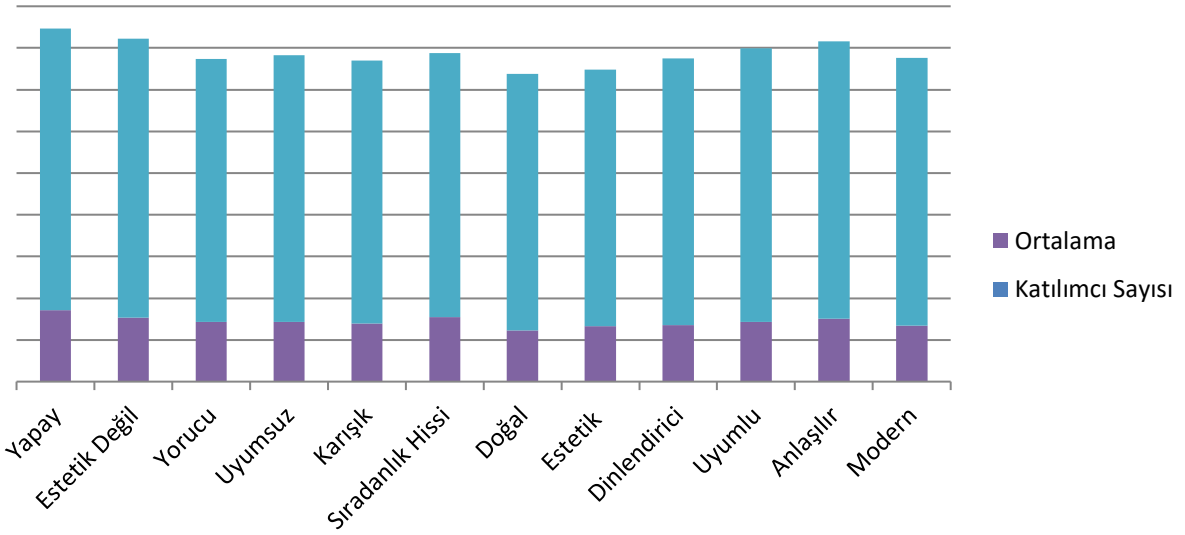
A. ANKET SONUCUNDA ÇOBAN DALÇIK İÇİN ELDE EDİLEN BULGULAR

Anketi yerli halk ve iş, okul sebebiyle kentte yaşamını sürdüren katılımcıların cevaplarına göre analiz ettiğimizde her bir bölge için elde ettiğimiz sonuçlarda;

A. 1.Bitkilerden Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 10. Çoban Dalçık Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Bitkisel Tasarım.



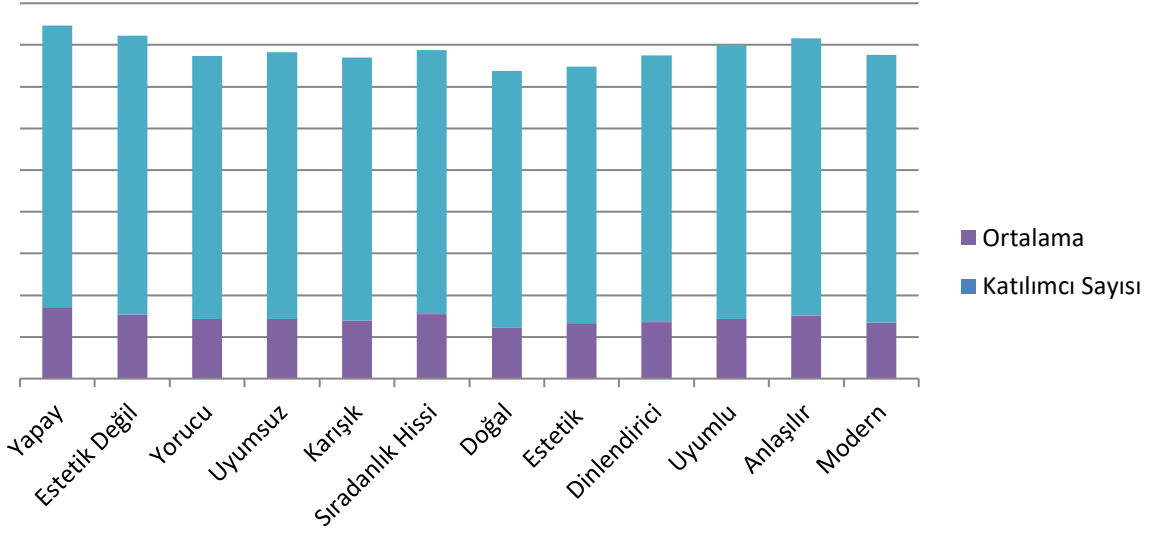
Şekil 11. Çoban Dalçık Duvarlarında Bitkisel Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini modern ve estetik bulmuşlardır.

A. 2. Plastik Objelerden Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 12. Çoban Dalçık Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Plastik Obje Tasarım.



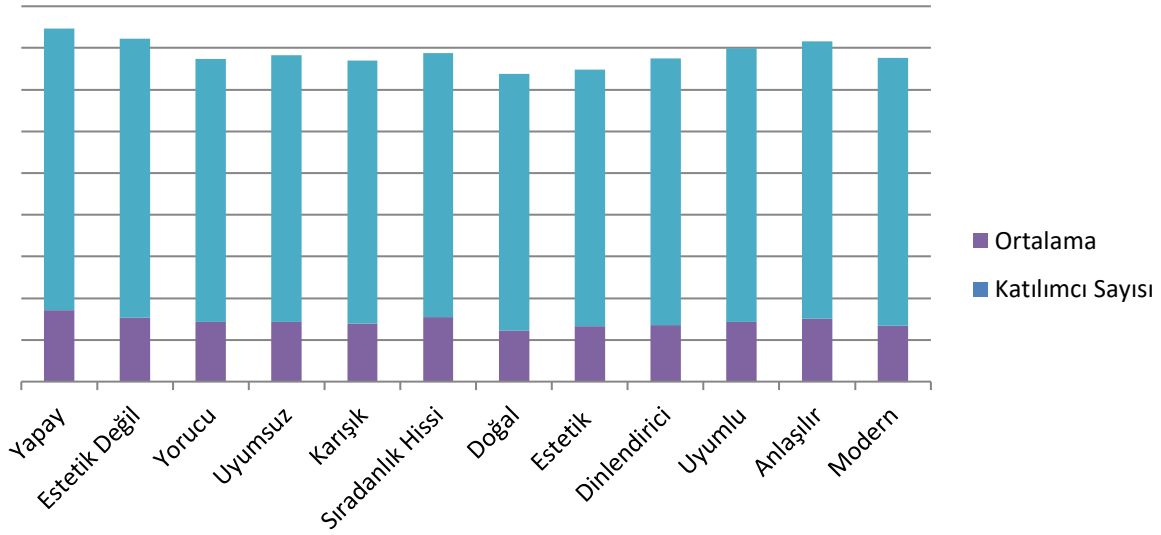
Şekil 13. Çoban Dalçık Duvarlarında Plastik Obje Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini estetik değil ve yorucu bulmuşlardır.

A. 3. Konuşan Duvar Olarak Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 14. Çoban Dalçık Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Konuşan Duvar Tasarımı.



Şekil 15. Çoban Dalçık Duvarlarında Konuşan Duvar Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini estetik değil ve yapay bulmuşlardır.

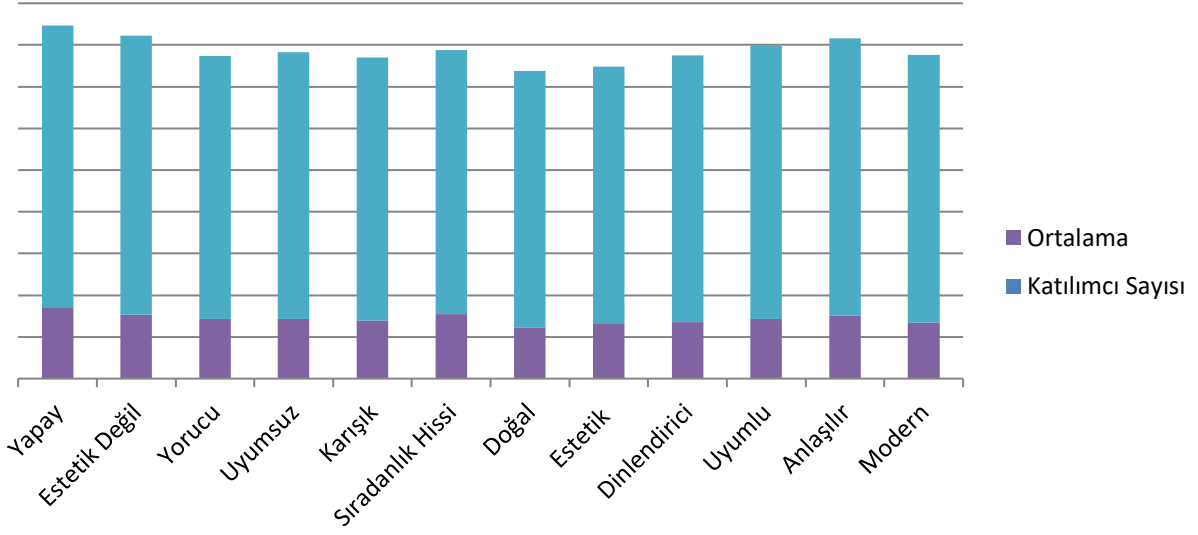
B. ANKET SONUCUNDA ŞEHİRLER ARASI OTOBÜS TERMİNALİ İÇİN ELDE EDİLEN BULGULAR

Anketi yerli halk ve iş, okul sebebiyle kentte yaşamını sürdüren katılımcıların cevaplarına göre analiz ettiğimizde her bir bölge için elde ettiğimiz sonuçlarda;

B. 1. Bitkilerden Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 16. Şehirler Arası Otobüs Terminali Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Bitkisel Duvar Tasarımı.



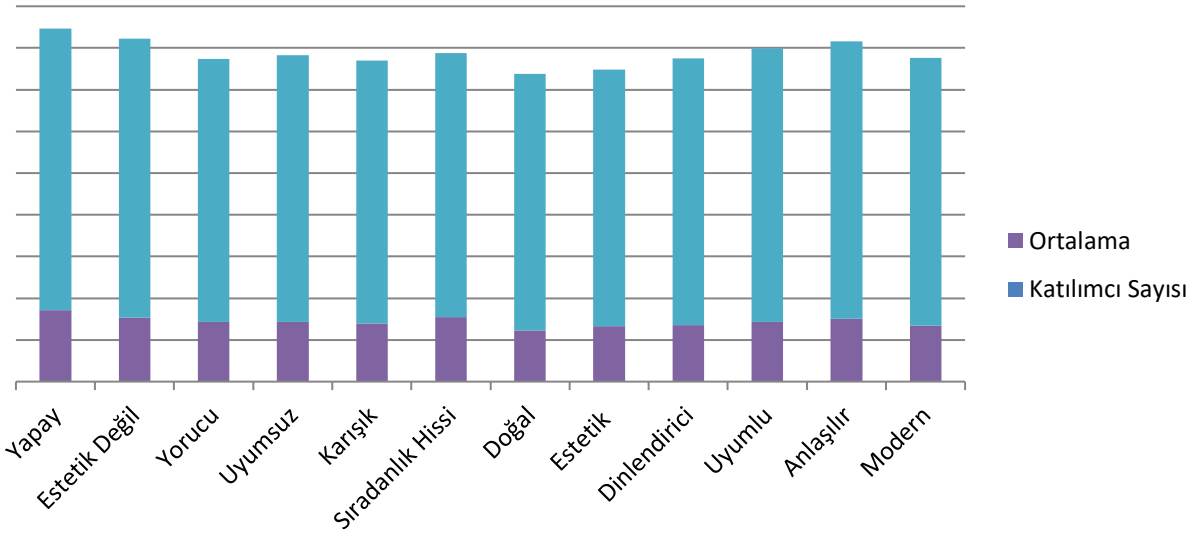
Şekil 17. Şehirler Arası Otobüs Terminali Duvarlarında Bitkisel Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini modern ve estetik bulmuşlardır.

B. 2. Plastik Objelerden Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 18. Şehirler Arası Otobüs Terminali Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Plastik Obje Tasarımı.



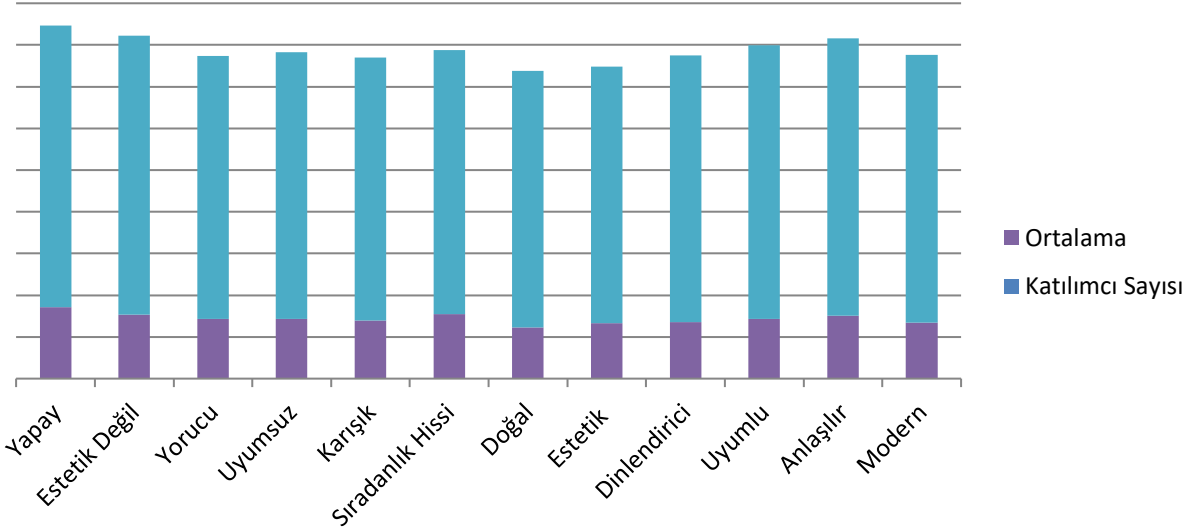
Şekil 19. Şehirler Arası Otobüs Terminali Duvarlarında Plastik Obje Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini estetik değil ve yorucu bulmuşlardır.

B. 3. Konuşan Duvar Olarak Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 20. Şehirler Arası Otobüs Terminali Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Konuşan Duvar Tasarımı.



Şekil 21. Şehirler Arası Otobüs Terminali Duvarlarında Konuşan Duvar Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini estetik değil ve yapay bulmuşlardır.

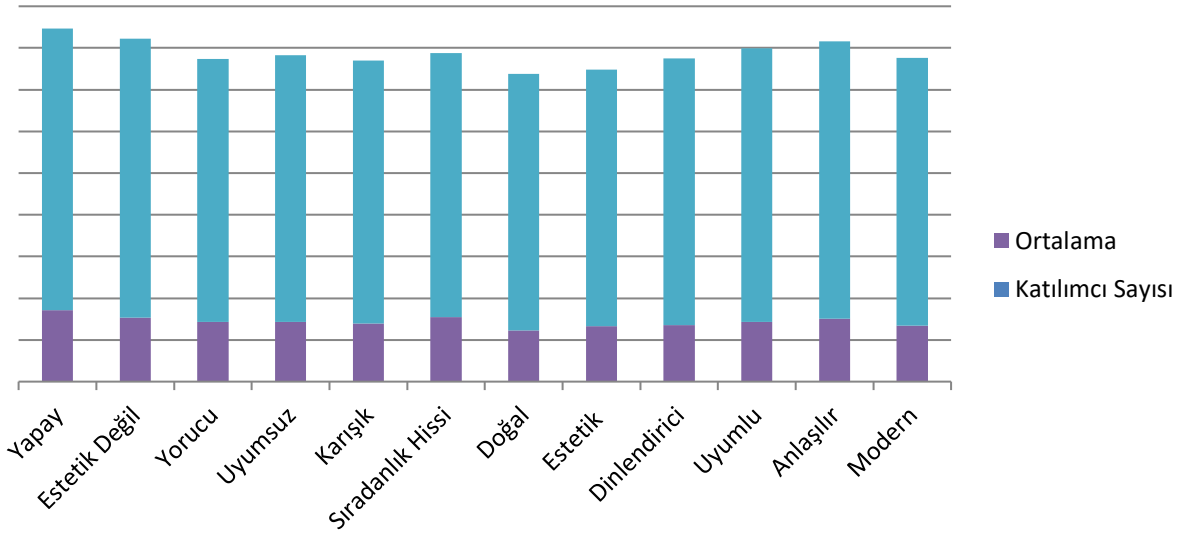
C. ANKET SONUCUNDA ASAR DERESİ İÇİN ELDE EDİLEN BULGULAR

Anketi yerli halk ve iş, okul sebebiyle kentte yaşamını sürdüren katılımcıların cevaplarına göre analiz ettiğimizde her bir bölge için elde ettiğimiz sonuçlarda;

C. 1. Bitkilerden Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 22. Asar Deresi Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Bitkisel Duvar Tasarımı.



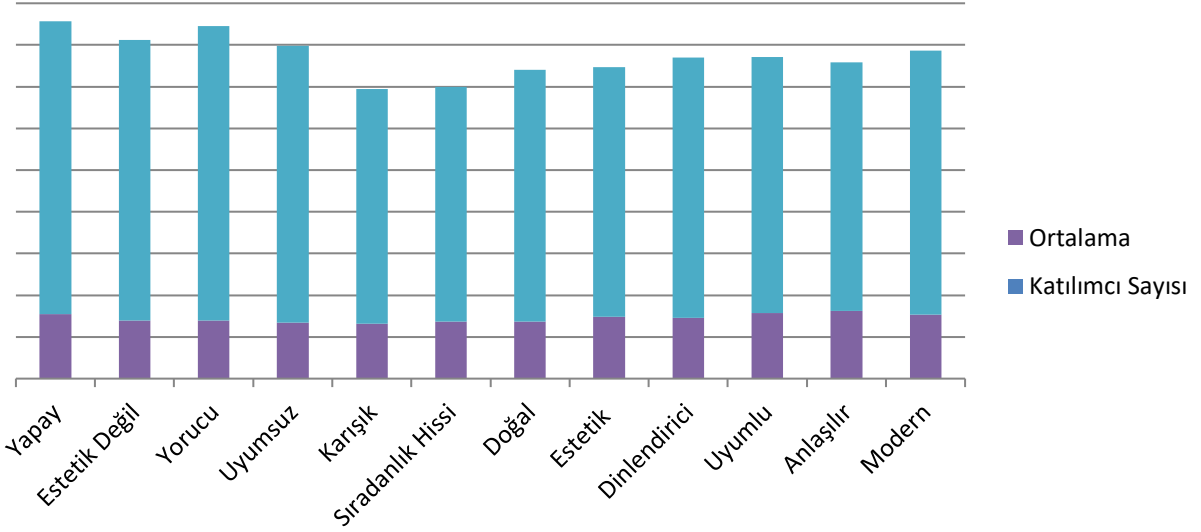
Şekil 23. Asar Deresi Duvarlarında Bitkisel Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini modern ve estetik bulmuşlardır.

C. 2. Plastik Objelerden Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 24. Asar Deresi Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Plastik Obje Tasarımı.



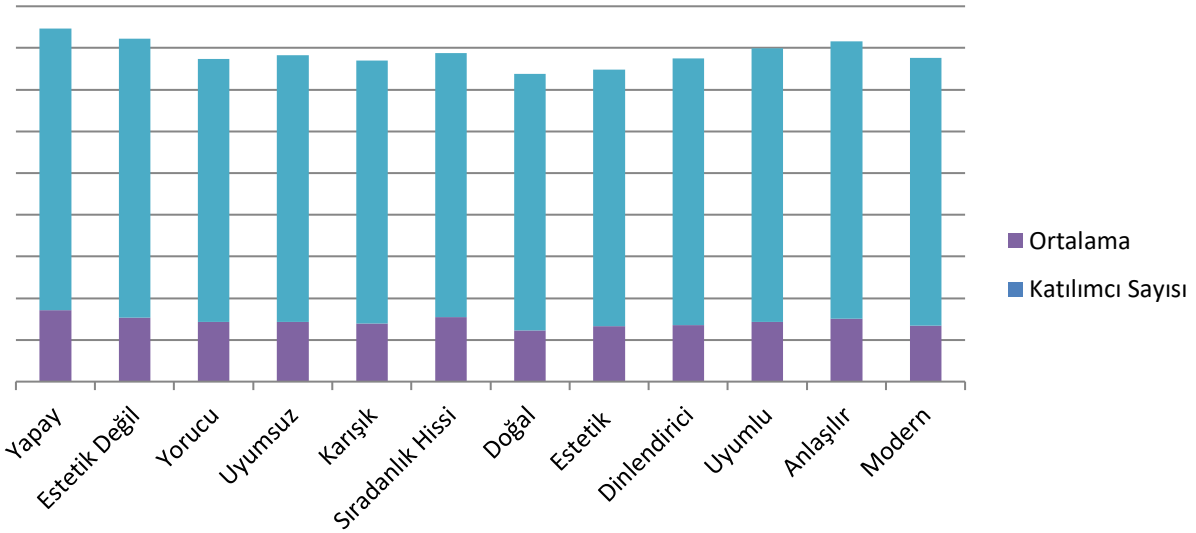
Şekil 25. Asar Deresi Duvarlarında Plastik Obje Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini estetik değil ve yorucu bulmuşlardır.

C. 3. Konuşan Duvar Olarak Oluşturulan Dikey Bahçe Tasarım



Şekil 26. Asar Deresi Duvarlarında Oluşturulan Üç Boyutlu Konuşan Duvar Tasarımı.



Şekil 27. Asar Deresi Duvarlarında Konuşan Duvar Tasarım Açısından Değerlendirme Grafiği.

Katılımcılar; yapay-doğal, estetik-estetik değil, uyumlu-uyumsuz, karışık-anlaşılır, modern-sıradanlık hissi kriterlerinden oluşan sorularda alan için oluşturulan 4 ayrı tasarımın bitkisel halini estetik değil ve yapay bulmuşlardır.

Gizemli peyzajlar buldukları ortamlarda güçlü peyzaj hissi yaratan ve çok sayıda parça sunan heterojen peyzajlardır [12]. Heterojen peyzajlar sıradanlık hissinden uzak, modern yapılar sunma algısı yaratır. Yapılan tasarımlar “modern-sıradanlık hissi” sıfat çiftine göre değerlendirildiğinde; bitkisel malzemelerden ve plastik malzemeler kullanılarak oluşturulan dikey bahçeler katılımcılar tarafından modern bulunmuştur.

Doğallık kavramı bitki, kaya, su gibi elemanların bir peyzajdaki bütünlüğü olarak tanımlanmıştır [13]. Ancak bir alanda insan yapısı elemanlar yoğunluk olarak fazlaysa ve doğal elemanlar o alanda yapay elemanlara göre baskın duruyorsa, alan “peyzaj” olarak tanımlanabiliyorsa bu tür alanlar kullanımları gereği yapaylıklarına rağmen doğal olarak algılanmaktadır [14]. Yapılan tasarımlar “doğal-yapay” sıfat çiftine göre değerlendirildiğinde; bitkisel malzemelerden oluşturulan dikey bahçeler katılımcılar tarafından doğal bulunmuştur.

Tablo 1. Dikey Bahçe Tasarımlarında Üç Farklı Alana Uygulanan Üç Farklı Malzemenin Sıfat Çiftleri Yönünden Ortalamalarının Değerlendirme Tablosu.

SIFATLAR	BİTKİSEL TASARIM		PLASTİK OBJE TASARIM		KONUŞAN DUVAR TASARIM	
	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
YAPAY	2,0546	,94329	3,0843	1,24081	3,4227	1,39186
ESTETİK DEĞİL	1,9969	,93435	2,8475	1,18810	3,0982	1,35180
YORUCU	1,9468	,89778	2,7696	1,20879	2,9042	1,27785
UYUMSUZ	2,0237	,91465	2,7160	1,16672	2,9331	1,30380

Tablo 1(devam). Dikey Bahçe Tasarımlarında Üç Farklı Alana Uygulanan Üç Farklı Malzemenin Sıfat Çiftleri Yönünden Ortalamalarının Değerlendirme Tablosu.

SIFATLAR	BİTKİSEL TASARIM		PLASTİK OBJE TASARIM		KONUŞAN DUVAR TASARIM	
	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
KARIŞIK	2,0702	,87592	2,6708	1,10921	2,8025	1,21850
SIRADANLIK HİSSİ	2,0685	,91841	2,7397	1,08687	3,0191	1,18484
DOĞAL	3,6824	,99899	2,6736	1,12394	2,4234	1,14719
ESTETİK	3,6811	,99966	2,8659	1,14634	2,6285	1,14918
DİNLENDİRİCİ	3,6311	1,03097	2,8250	1,17710	2,6945	1,21327
UYUMLU	3,7022	1,01368	3,0026	1,18152	2,8226	1,22758
ANLAŞILIR	3,7753	,99580	3,1228	1,16582	3,0008	1,24475
MODERN	3,7443	1,04127	2,9664	1,19517	2,7115	1,22191

Sıfat çiftleri katılımcılar tarafından, farklı alanlarda ve kullanılan her farklı malzemede algısal değişiklikler göstermiştir. Tasarımların uygulanması planlanan üç farklı alanda ve üç farklı malzeme ile;

•Yapay-doğal sıfat çifti:

Bitkisel malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “doğal” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali-Asar Deresi-Çoban Dalçık sıralaması ile en çok doğal gözüken, uygulandığı alanda doğal bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Plastik malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “yapay” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali- Çoban Dalçık-Asar Deresi sıralaması ile en çok yapay gözüken, uygulandığı alanda yapay bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Konuşan duvar şeklinde oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “yapay” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali- Çoban Dalçık-Asar Deresi sıralaması ile en çok yapay gözüken, uygulandığı alanda yapay bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

•Estetik-estetik değil sıfat çifti:

Bitkisel malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “estetik” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali- Çoban Dalçık-Asar Deresi sıralaması ile en çok estetik gözüken, uygulandığı alanda da estetik bir yapı algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Plastik malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “estetik değil” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali-Asar Deresi-Çoban Dalçık sıralaması ile estetik görüntüden uzak gözüken bir yapı algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Konuşan duvar şeklinde oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “estetik değil” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali-Asar Deresi-Çoban Dalçık sıralaması ile estetik görüntüden uzak gözüken bir yapı algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

•Uyumlu-uyumsuz sıfat çifti:

Bitkisel malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “uyumlu” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali- Çoban Dalçık-Asar Deresi sıralaması ile en çok uyumlu gözüken, uygulandığı alanla da uyumlu bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Plastik malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “uyumlu” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Asar Deresi- Çoban Dalçık- Şehirler Arası Otobüs Terminali sıralaması ile en çok uyumlu gözüken, uygulandığı alanla da uyumlu bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Konuşan duvar şeklinde oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “uyumsuz” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali- Çoban Dalçık-Asar Deresi sıralaması ile uyumsuz gözüken bir yapı algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

•Karışık-anlaşılır sıfat çifti:

Bitkisel malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “anlaşılır” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali- Çoban Dalçık-Asar Deresi sıralaması ile en çok anlaşılır gözüken, uygulandığı alanla da anlaşılır bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Plastik malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “anlaşılır” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Asar Deresi- Çoban Dalçık- Şehirler Arası Otobüs Terminali sıralaması ile en çok anlaşılır gözüken, uygulandığı alanla da anlaşılır bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Konuşan duvar şeklinde oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “anlaşılır” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Asar Deresi- Çoban Dalçık- Şehirler Arası Otobüs Terminali sıralaması ile en çok anlaşılır gözüken, uygulandığı alanla da anlaşılır bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

•Modern-sıradanlık hissi sıfat çifti:

Bitkisel malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “modern” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Şehirler Arası Otobüs Terminali- Çoban Dalçık-Asar Deresi sıralaması ile en çok modern bulunan, uygulandığı alanda da modern bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Plastik malzemelerle oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “modern” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Asar Deresi- Çoban Dalçık- Şehirler Arası Otobüs Terminali sıralaması ile en çok modern bulunan, uygulandığı alanda da modern bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Konuşan duvar şeklinde oluşturulan dikey bahçe tasarımları kullanıcılar tarafından “sıradan” olarak algılanmış ve uygulandığı alanlarda da Çoban Dalçık- Şehirler Arası Otobüs Terminali- Asar Deresi sıralaması ile en çok sıradan bulunan, uygulandığı alanda da sıradanlık hissi veren bir ortam algısı oluşturan değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmanın sonucunda elde edilen bulgularda sıfat çiftleri kullanıcıların algılarına göre tanımlanarak tasarlanacak bir dikey bahçenin hangi niteliklerle oluşturulması gerektiği ile ilgili belirli bir sonuca ulaşmamızı sağlamıştır. Katılımcıların tasarımları algılamada oluşturulan malzemelere ve uygulandıkları alanlara göre değişimler gösterdiği ama genel olarak dikey bahçelere olumlu baktıkları görülmüş, kullanılan malzemeye göre de tercihleri saptanmıştır.

IV. SONUÇ

Anket ortalamalarından oluşturulan tablo ve gruplar arası anlamlılık incelendiğinde katılımcıların en yüksek beğeniyi bitkisel malzemeyle oluşturulan dikey bahçeye gösterdiği, ardından plastik objelerden oluşturulan dikey bahçelerin geldiği ve en düşük beğenin ise konuşan duvarlara olduğu görülmüştür. Böylelikle çalışma kapsamında elde edilen verilere göre katılımcıların doğallık esasıyla kötü görüntülerin giderilmesi için bitkilerden meydana gelen dikey bahçeleri tercih ettikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Dikey bahçelerin tercih edilmesinin giderek artmasıyla, kentlerde alternatif yeşilin yanı sıra akılda kalıcılık adına da insanların bu tür uygulamaları çevrelerinde görmek istemeleri ve Düzce gibi gelişmekte olan kentlerde farklı bir kullanım olarak uygulanabileceği fikrinin doğru bulunması da dikey bahçeler için olumlu yönde bir etkidir.

Sürdürülebilir peyzaj mimarlığın bir parçası haline gelen dikey bahçe uygulamaları, bu çalışma doğrultusunda elde edilen sonuçlara göre hem uygulandığı alanda hem de kişiler üzerinde estetik ve doğallık olguları katarak; kişilerde olumlu psikolojik etkilere, uygulandığı alanda tasarım değerlerini yükseltip mekana değer kazandırmakta ve kentliler için her gün önünden geçtiği alanların durup seyretmeye, dinlenmeye değer mekanlara dönüşebileceği etkisi bırakmıştır.

TEŞEKKÜR: Bu makale “Düzce Kentinde Dikey Bahçe Uygulanabilirliğinin Araştırılması” isimli yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir.

V. KAYNAKLAR

[1] Şengül Durucu. (2019, 15 Ocak). *Tembellikten Doğan Bir Ekosanat Anlayışı : 14 Madde Dikey Bahçeler* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://listelist.com/dikey-bahce/>.

[2]Anonim (2019, 05 Ocak). *Dikey Bahçeler* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.peyzaj.org.tr/resimler/ekler/6e2d3669e60bdf>.

[3] International Refereed Journal Of Design And Architecture, *The evolution of verticalgardens*, Sayı: 13 Yıl: 2018.

[4] A. L. Bjerre, “Green wall”, Doktora Tezi, VIA University College, Horsens, Danimarka, 2011.

[5] Anonim (2019, 25 Eylül). *Grafiti* [Çevrimiçi].Erişim:<https://tr.wikipedia.org/wiki/Grafiti>.

[6] B. Bal, "Grafiti ve Sokak Sanatında Eser ve Akımların Tarihsel Süreçte Değerlendirilmesi ve Analizi", Yüksek Lisans Tezi, Güzel Sanatlar Bölümü, Haliç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.

[7] F. K. Satıcı, "Sanatta bir özgürleşme ve kapatılma biçimi olarak grafiti", Doktora Tezi, Sahne ve Görüntü Sanatları Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.

- [8] Oğuz Kuş, (2019, 25 Eylül). "*Graffiti Nedir? Sokak Sanatına Üzerine Notlar*" [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.dadatart.com/author/oguz>.
- [9] Anonim (2019, 15 Ocak). *Terminal Açılış Haberi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://duzce.bel.tr/3734-terminal-acilisa-gun-sayiyor>.
- [10] C. Acar, Demirtaş, E. ve H. Acar, "Anlamsal farklılaşım tekniği bitki kompozisyonu örneklerinde değerlendirilmesi", *S.D.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, c. A, ss. 15-28, 2003.
- [11] Summit, J. and Sommer, R., "Further studies of preferred three shapes environment behavior" *Art Department at the University of California*, vol. 31, no.4, pp. 550-576, 1999.
- [12] DE La Fuente G.,Ataurı J.A. and De lucio J.V., "Relationship Between Landscape Visual Attributesand Spatial PatternIndices: A Test study in Mediterranean-ClimateLandscapes", *Landscapeand Urban Planning*, vol. 77, pp. 393-407, 2006.
- [13] R. S. Ulrich, "Natural Versus Urban Scenes: Some Psychophysiological Effects", *Environment and Behavior*, vol. 13, no. 5, pp. 523-556, 1991.
- [14] A. Kalın, "Çevre Tercih ve Değerlendirmede Görsel Kalite Belirlenmesi ve Geliştirilmesi: Trabzon Sahil Bandı Örneği ", Doktora Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2004.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

The Interval-Valued Spherical Fuzzy Based Methodology and its Application to Electric Car Selection

 Serap TEPE ^{a, *}

^a *Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Health Sciences, University of Health Sciences, Istanbul, TURKEY*

** Corresponding author's e-mail address: serap.tepe@sbu.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.885954

ABSTRACT

Imagining, thinking, producing, developing and changing what you produce are among the main traits that make human beings human. Human beings question their raison d'être, their life, the quality of their lives; in other words, they ask why and how. All these inquiries result in the production of information, a flow of the information produced, and sometimes a product. Today, in a world where production takes place at an unprecedented pace, one needs to possess the technology to keep up with developments. This is a dynamic capability and must be continuously developed to make it endure. Electric vehicles, a gift of technological developments of the world of today, are a combination of imagination, a needs assessment, and sustainable innovations. This study addressed the problem of electric car selection and included a case study involving six criteria and ten alternatives. The proposed decision model has integrated AHP and ELECTRE methods with interval-valued spherical fuzzy sets. The novelty of this study stems from evaluating the performance of electric cars using IVSF-AHP-ELECTRE and selecting accordingly for the first time. In this study, the level of importance of battery capacity, autonomous driving, charging network, price, efficiency and performance criteria were determined. A ranking was then made for the electric car alternatives based on these criteria.

Keywords: *Interval-valued spherical fuzzy, AHP, ELECTRE, Electric car*

Aralık Değerlikli Küresel Bulanık Metodoloji ve Elektrikli Araba Seçimi Uygulaması

ÖZ

Hayal etmek, düşünmek, üretmek, ürettiğini geliştirmek, değiştirmek insanı insan yapan belli başlı özelliklerdendir. İnsan, var oluş nedenini sorgular, hayatı sorgular, yaşam kalitesini özetle nedeni, nasıl sorgular ve tüm bu sorgulamalar bilgi üretimine, üretilen bilginin akışına, kimi zaman da ürüne dönüşür. Var edilen ürün, bir amaca hizmet eder. Üretmenin tarihin hiçbir anında olmadığı kadar baş döndürücü bir hızla gerçekleştiği günümüz dünyasında gelişime ayak uydurabilmek, teknolojiye sahip olabilmeye bağlıdır. Bu sahiplik dinamik bir yetenektir ve kalıcı olması için sürekli geliştirilmelidir. Teknolojik gelişmelerin günümüz dünyasına armağanı olan elektrikli araçlar; hayal gücü, ihtiyaç tespiti ve sürdürülebilir inovasyonların bileşkesidir. Bu çalışmada elektrikli araç seçim problemi ele alınmış, altı kriter ve on alternatif içeren bir vaka çalışması sunulmuştur. Önerilen karar modeli, AHP ve ELECTRE yöntemlerini aralık değerlikli küresel bulanık kümelerle bütünleştirmiştir. Makalenin özgünlüğü, IVSF-AHP-ELECTRE önerisinin elektrikli araç performanslarının değerlendirilmesi ve aralarında seçim yapılmasında ilk defa uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada batarya kapasitesi, otonom sürüş, şarj ağı, fiyat, verimlilik ve performans kriterlerinin önem dereceleri belirlenmiş; bu kriterlere göre alternatif elektrikli araçlar arasında derecelendirme/sıralama yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Aralık değerli küresel bulanık mantık, AHP, ELECTRE, Elektrikli araç*

I. INTRODUCTION

The working principle of electric vehicles is that the entire load of a conventional internal combustion engine is transferred to a battery-powered engine. Although the electric vehicle sector is thought of as new, it is a line of business that has existed for a very long time. The first electric car was developed by Professor Stratingh in 1835 in the Netherlands. Then, Robert Davidson made a model electric locomotive that could reach 6.4 km/h in 1838. In 1882, Siemens produced the world's first electric trolley bus in Berlin. In 1895, Morris and Salomon developed a two-seater electric vehicle. In 1897, 15 electric taxis were introduced in England. In 1903, cars that could use either electric or gasoline power were made and thus, the first hybrid configuration model was introduced [1].

Unfortunately, the emergence and widespread use of oil as a cheap fuel decreased the demand for electric vehicles over time. Lobbying by oil producers and internal combustion engine manufacturers against electric vehicles gained momentum and public interest in electric vehicles decreased. Customers' lack of knowledge and hesitation about electric vehicles also contributed to a decrease in interest about them. Technical concerns, such as range, battery life, efficiency and charging stations led to negative point of view towards electric vehicles along with other concerns, such as reliability, trading difficulties and the secondhand market. With changing circumstances, the relentless struggle between electric and fossil fuel-powered vehicles is on a different level today. Factors, such as advances in technology, decreasing fossil fuel reserves, increasing environmental awareness, global warming and increasing taxes have turned the attention of manufacturers back onto electric vehicles. Although the popularity of electric vehicles is increasing day by day, there are still important problems that have not been fully solved. The most important problems are high cost, insufficient range, long charging times and lack of a widespread charging network. Electric vehicles do provide high torque, but they are unable to deliver it at high performance for a long time. This can also be listed as another problem. Moreover, the batteries of electric vehicles are heavy, which can cause problems such as longer braking distances and skidding in turns. Also, it should be noted that the combination of weight and high torque causes tire wear quickly.

Despite the aforementioned disadvantages, prices of electric cars have started to decrease due to improvements in battery and engine technology and this has led to an increase in sales. In addition, development costs and sales prices of internal combustion engines are increasing due to the strict emission rules applied worldwide. Another feature of electric vehicles is that they work quietly. These circumstances help make electric vehicles seem preferable.

This study is based on the comparison and selection of prominent electric cars with different equipment and features according to the aforementioned criteria. Evaluating the performance of electric cars is a complex, multi-criteria problem involving both quantitative and qualitative factors. Decision making is defined as choosing the best alternative among the available alternatives. To implement this process, it is necessary to collect information from decision makers, model the process, analyze the results, and list the alternatives. In many real life problems, it is not easy to get accurate data from decision makers. Therefore, the uncertainty of information must be taken into account. The fuzzy set theory developed by Zadeh is used to solve problems involving uncertainty, and it is reported to give good results in such problems [2]. Studies on fuzzy sets and development processes over the years are given in Figure 1.

The Analytical Hierarchy Process (AHP) is one of the most preferred Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. Developed by Saaty [3], this method involves a hierarchical order. At the top level of the hierarchy there is the goal. At one level lower, there are the main criteria and, if any, sub criteria below the main criteria. At the lowest step there are decision options, namely alternatives. AHP can be applied easily with many criteria, and it is a very effective method of making group decisions. Thanks to a sensitivity analysis, the flexibility of the result can be easily tested. AHP can evaluate both quantitative and qualitative criteria in decision making and include the preferences, judgments,

intuitions and experiences of the group or individuals in the decision process. It is one of the most useful multi-criteria decision-making methods with a hierarchical structure that enables complex problems to be solved [4].

The Elimination Et Choix Traduisant la Réalité (ELECTRE) method is a method that allows options to be ranked. Concordance, discordance, and threshold values are used. The ELECTRE method is based on a measure of the dominance of the options relative to each other depending on certain criteria and the weights of these criteria [5]. The basis of the ELECTRE method is establishing a superiority relationship between preferred and non-preferred alternatives. In the ELECTRE method, concordance and discordance indices are created to establish a superiority relationship. These indices show the measure of satisfaction or dissatisfaction that allows to choose which alternative is the more dominant [6].

In this study, a case study including six criteria and ten alternatives is presented. This decision model integrates the AHP and ELECTRE methods with interval-valued spherical fuzzy (IVSF) sets. The novelty of this study stems from evaluating the performance of electric vehicles using IVSF-AHP-ELECTRE and for the first time making a selection accordingly. IVSF-AHP-ELECTRE enables decision makers to independently reflect their hesitations in the decision process by using a linguistic evaluation measure based on spherical fuzzy sets.

This study consists of the following sections: Part 2 summarizes the literature review on the topic. Part 3 includes the proposed MCDM method and the IVSF-AHP-ELECTRE method. Part 4 applies the proposed model to the selection problem. Finally, in Part 5, the findings are discussed and evaluated, and conclusions reached.

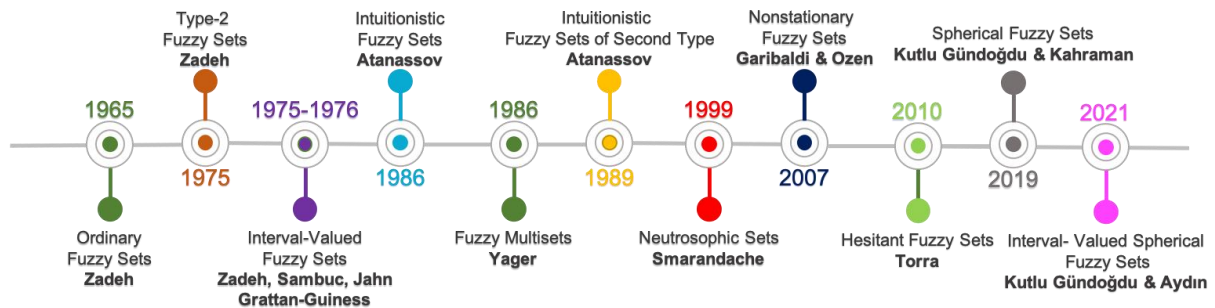


Figure 1. Historical development of fuzzy sets.

II. LITERATURE REVIEW

In this literature review part, AHP and ELECTRE methods and research on spherical fuzzy sets and fuzzy extensions of these methods and some other methods are presented. Spherical fuzzy sets are one of the recently developed methods and therefore there are few applications in published literature.

The literature study indicates that there are studies in different fields related to ELECTRE. In their study, Yayla and Karacasu worked on the evaluation of urban public transportation investments and created a decision support model for the evaluation of transportation investments using the ELECTRE method. Ertuğrul and Karakaşoğlu proposed an approach consisting of using ELECTRE and Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) methods together to help decision making in enterprises. In this approach, the FAHP method was used to determine the weights of the criteria. Then, the ELECTRE method was used in ranking the alternatives [6]. Yürekli used the ELECTRE method to select the most suitable attack helicopter in his study and evaluated six different helicopter alternatives according to the criteria used. With the determined criteria and other variables used in the model, the problem was solved with five different types of the ELECTRE methods that were used for selection and ranking. After solving the problem with each method, a general evaluation was made, and the result was discussed [7]. Yücel and Ulutaş made a study to select new locations for the branches of a cargo company using the ELECTRE method [8]. Rouyendegh and Erol suggested using the fuzzy

ELECTRE method for selecting projects [9]. In their study, Ermatita et al. used the ELECTRE method in gene mutation detection simulation in the field of bioinformatics [10]. Using the Dempster-Shafer theory, Fei et al. proposed an ELECTRE-based multi-criteria decision making method for supplier selection [11]. Yu et al. worked with ELECTRE methods in a prioritized multi-criteria decision-making environment [12]. Otay and Atik studied multi-criteria gas station location assessments using Spherical AHP and the Weighted Aggregates Sum Product Assessment (WASPAS) method [13]. Spherical fuzzy sets were introduced by Kutlu Gündoğdu and Kahraman in 2019, and a spherical fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) method was proposed. [14]. Ashraf et al. studied spherical fuzzy sets [15]. Kutlu Gündoğdu et al. studied the spherical fuzzy VIKOR method for a waste management application [16]. Furthermore, Kutlu Gündoğdu and Kardeş suggested a new approach for warehouse site selection based on spherical fuzzy VIKOR [17]. Kutlu Gündoğdu and Kahraman developed a spherical fuzzy AHP for renewable energy applications [18]. Tepe suggested a comparison of the spherical fuzzy analytic hierarchy process and the Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process for coding program selection [19]. Donyatalab et al. studied the Spherical Fuzzy Linear Assignment Method. In the developed method, a comparative analysis was performed between the proposed Spherical Fuzzy Linear Assignment (SFLAM) model and both the Spherical Fuzzy Analytical Hierarchy process (SF-AHP) and Spherical Fuzzy WASPAS methods to find the best location to build a wind farm [20].

III. METHODOLOGY

The definitions of Interval Valued Spherical Fuzzy Sets (IV- SFS) are given below [21].

\tilde{A}_S is defined as an interval-valued spherical fuzzy set in Equation 1.

$$\tilde{A}_S = \left\{ \left\langle u, \left(\left[\mu_{\tilde{A}_S}^L(u), \mu_{\tilde{A}_S}^U(u) \right], \left[v_{\tilde{A}_S}^L(u), v_{\tilde{A}_S}^U(u) \right], \left[\pi_{\tilde{A}_S}^L(u), \pi_{\tilde{A}_S}^U(u) \right] \right) \mid u \in U \right\rangle \right\} \quad (1)$$

$$0 \leq \mu_{\tilde{A}_S}^L(u) \leq \mu_{\tilde{A}_S}^U(u) \leq 1,$$

$$0 \leq v_{\tilde{A}_S}^L(u) \leq v_{\tilde{A}_S}^U(u) \leq 1,$$

$$0 \leq \left(\mu_{\tilde{A}_S}^U(u) \right)^2 + \left(v_{\tilde{A}_S}^U(u) \right)^2 + \left(\pi_{\tilde{A}_S}^U(u) \right)^2 \leq 1$$

The definitions of the operations regarding the interval-valued spherical fuzzy set are given in Equations 2 to 5.

$$\tilde{\alpha}_1 \oplus \tilde{\alpha}_2 = \left\{ \left[\left((a_1)^2 + (a_2)^2 - (a_1)^2(a_2)^2 \right)^{1/2}, \left((b_1)^2 + (b_2)^2 - (b_1)^2(b_2)^2 \right)^{1/2} \right], \left[c_1 c_2, d_1 d_2 \right] \right\} \quad (2)$$

$$\tilde{\alpha}_1 \otimes \tilde{\alpha}_2 = \left\{ \left[a_1 a_2, b_1 b_2 \right], \left[\left((c_1)^2 + (c_2)^2 - (c_1)^2(c_2)^2 \right)^{1/2}, \left((d_1)^2 + (d_2)^2 - (d_1)^2(d_2)^2 \right)^{1/2} \right], \right\} \quad (3)$$

$$\lambda \cdot \tilde{\alpha} = \left\{ \left[\left((1 - (1 - a^2)^\lambda)^{1/2}, (1 - (1 - b^2)^\lambda)^{1/2} \right), \left[c^\lambda, d^\lambda \right], \right. \right. \\ \left. \left. \left[\left((1 - a^2)^\lambda - (1 - a^2 - e^2)^\lambda \right)^{1/2}, \left((1 - b^2)^\lambda - (1 - b^2 - f^2)^\lambda \right)^{1/2} \right] \right] \right\} \text{ for } \lambda > 0 \quad (4)$$

$$w_1 \cdot \tilde{\alpha}_1 \oplus w_2 \cdot \tilde{\alpha}_2 \oplus \dots \oplus w_n \cdot \tilde{\alpha}_n = \left\{ \left[\left((1 - \prod_{j=1}^n (1 - a_j^2)^{w_j}) \right)^{1/2}, \left(1 - \prod_{j=1}^n (1 - b_j^2)^{w_j} \right)^{1/2} \right], \left[\prod_{j=1}^n c_j^{w_j}, \prod_{j=1}^n d_j^{w_j} \right], \left[\left(\prod_{j=1}^n (1 - a_j^2)^{w_j} - \prod_{j=1}^n (1 - a_j^2 - e_j^2)^{w_j} \right)^{1/2}, \left(\prod_{j=1}^n (1 - b_j^2)^{w_j} - \prod_{j=1}^n (1 - b_j^2 - f_j^2)^{w_j} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (5)$$

The Score function of IV-SFS and the accuracy function of IV-SFS are defined in Equation 6 and Equation 7.

$$Score(\tilde{\alpha}) = S(\tilde{\alpha}) = \frac{a^2 + b^2 - c^2 - d^2 - (e/2)^2 - (f/2)^2}{2} \quad (6)$$

$$Accuracy(\alpha) = H(\alpha) = \frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + e^2 + f^2}{2} \quad (7)$$

The AHP and ELECTRE methods used in the study are comprised of several steps. First of all, a hierarchical structure is created for AHP. Secondly, binary comparisons are made using the spherical fuzzy judgment matrices based on the linguistic terms given in Table 1. Then, the equations given above are used to obtain the score indices and the interval-valued spherical fuzzy local weights of the criteria are calculated. The highest score indicates the best value.

The ELECTRE method starts with creating the decision matrix. Later, the normalized decision matrix and the weighted normalized decision matrix are created. Concordance Sets and Discordance Sets are determined. Each concordance set corresponds to one discordance set only. Following this process, Harmony Superiority Matrices and Discord Superiority Matrices are created. After the Harmony Superiority Matrices and the Discord Superiority Matrices have been created, the Total Dominance Matrix is created and the ranking of the importance of the decision points is determined. The ELECTRE steps are given in Equations 8 to 15. The IV-SFS equations given above were used for all these calculations [21].

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mn} \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$x_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (\alpha_{kj}^2)}} \quad (9)$$

$$Y = \begin{bmatrix} w_1 x_{11} & w_2 x_{12} & w_n x_{1n} \\ w_1 x_{21} & w_2 x_{22} & w_n x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ w_1 x_{m1} & w_2 x_{m2} & w_n x_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$C_{kl} = \{j, y_{kj} \geq y_{lj}\} \quad (11)$$

$$D_{kl} = \{j, y_{kj} < y_{lj}\}$$

$$C_{kl} = \sum_{j \in C_{kl}} w_j \quad (12)$$

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1m} \\ c_{21} & - & c_{23} & \dots & c_{2m} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & \dots & - \end{bmatrix}$$

$$d_{kl} = \frac{\max_{j \in D_{kl}} |y_{kj} - y_{lj}|}{\max_j |y_{kj} - y_{lj}|} \quad (13)$$

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & - & d_{23} & \cdots & d_{2m} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & \cdots & - \end{bmatrix}$$

$$\underline{c} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl} \quad (14)$$

$$\text{If } c_{kl} \geq \underline{c} \rightarrow f_{kl} = 1,$$

$$\text{If } c_{kl} < \underline{c} \rightarrow f_{kl} = 0$$

$$\underline{d} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m d_{kl} \quad (15)$$

$$\text{If } d_{kl} \geq \underline{d} \rightarrow g_{kl} = 1,$$

$$\text{If } d_{kl} < \underline{d} \rightarrow g_{kl} = 0$$

The linguistic measures used in binary comparisons in the process are given in Table 1 [21].

Table 1. Linguistic measures of interval valued spherical fuzzy sets.

	$([\mu_{A_S}^L(\mathbf{u}), \mu_{A_S}^U(\mathbf{u})], [v_{A_S}^L(\mathbf{u}), v_{A_S}^U(\mathbf{u})], [\pi_{A_S}^L(\mathbf{u}), \pi_{A_S}^U(\mathbf{u})])$
Absolutely more importance (AMI)	[(0.85, 0.95], [0.10, 0.15], [0.05, 0.15])
Very high importance (VHI)	[(0.75, 0.85], [0.15, 0.20], [0.15, 0.20])
High importance (HI)	[(0.65, 0.75], [0.20, 0.25], [0.20, 0.25])
Slightly more importance (SMI)	[(0.55, 0.65], [0.25, 0.30], [0.25, 0.30])
Equal importance (EI)	[(0.50, 0.55], [0.45, 0.55], [0.30, 0.40])
Slightly low importance (SLI)	[(0.25, 0.30], [0.55, 0.65], [0.25, 0.30])
Low importance (LI)	[(0.20, 0.25], [0.65, 0.75], [0.20, 0.25])
Very low importance (VLI)	[(0.15, 0.20], [0.75, 0.85], [0.15, 0.20])
Absolutely low importance (ALI)	[(0.10, 0.15], [0.85, 0.95], [0.10, 0.15])

IV. APPLICATION

Electric cars are becoming more important in our lives. This study is based on the comparison and ranking of electric cars in terms of the criteria based on experts' opinions. In the preparation phase of the study, experts working in the electric vehicle business sector were contacted and all possible criteria were discussed with them. In the preliminary interviews, 15 criteria were determined, and a detailed investigation was conducted in this sector regarding these criteria. As a result of the

interviews with the electric vehicle manufacturers and the opinions of the experts, it was decided that with 6 criteria, the electric cars could be evaluated. The criteria examined in the study were determined to be C1: autonomous driving, C2: performance, C3: charging network, C4: price, C5: efficiency and C6: battery capacity. Figure 2 shows the hierarchical structure that includes the main criteria and the alternatives used for comparison in the study.

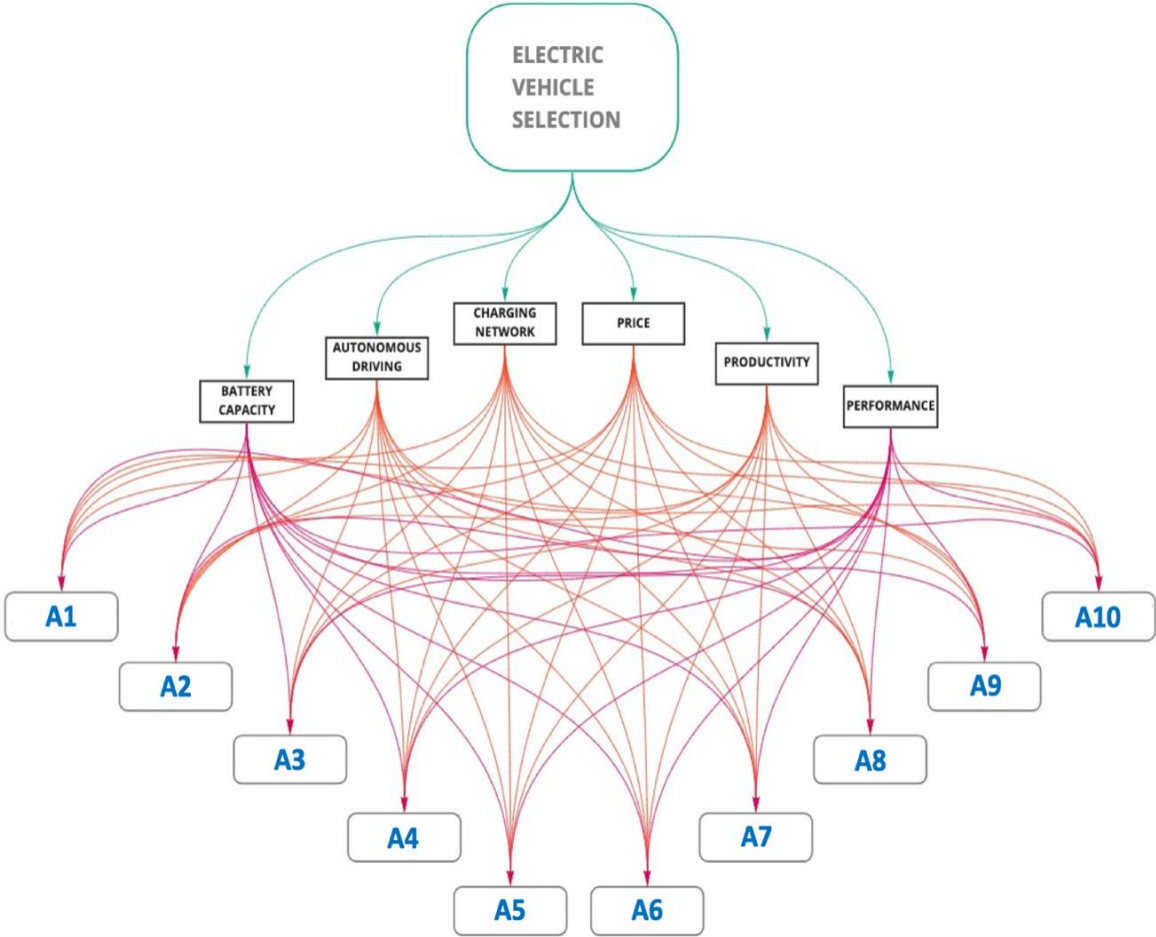


Figure 2. Hierarchical structure of the main criteria and alternatives.

In the study, the main criteria were evaluated according to the linguistic terms given in Table 1 produced by the decision-maker expert group.

For the linguistic measure given in Table 1, binary comparison matrices were calculated according to the corresponding numerical values in the classical AHP method and the results are given in Table 2. The basis of the ELECTRE method, which is one of the multi-criteria decision-making methods, is to establish a superiority relationship between preferred and undesired alternatives. In order to establish this relationship, concordance and discordance indices are created. In the pairwise comparison of alternatives for the concordance set, if one alternative is greater or equal than the other, that criterion is included in the concordance set. If one alternative is less than the other in the pairwise comparison of the alternatives for the discordance set, that criterion is included in the discordance set.

Table 2. Judgments of decision makers based on interval valued spherical fuzzy approach.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Average	Score	Weight
C1 $\mu_{A_S}^L(u)$	0.50	0.55	0.65	0.55	0.65	0.75	0.62	0.587282567	0.171165386

	$\mu_{A_S}^U(u)$	0.55	0.65	0.75	0.65	0.75	0.85	0.72		
	$v_{A_S}^L(u)$	0.45	0.25	0.20	0.25	0.20	0.15	0.24		
	$v_{A_S}^U(u)$	0.55	0.30	0.25	0.30	0.25	0.20	0.29		
	$\pi_{A_S}^L(u)$	0.30	0.25	0.20	0.25	0.20	0.15	0.22		
	$\pi_{A_S}^U(u)$	0.40	0.30	0.25	0.30	0.25	0.20	0.28		
	$\mu_{A_S}^L(u)$	0.25	0.50	0.65	0.20	0.55	0.65	0.52		
	$\mu_{A_S}^U(u)$	0.30	0.55	0.75	0.25	0.65	0.75	0.60		
C2	$v_{A_S}^L(u)$	0.55	0.45	0.20	0.65	0.25	0.20	0.34	0.532143131	0.155094821
	$v_{A_S}^U(u)$	0.65	0.55	0.25	0.75	0.30	0.25	0.41		
	$\pi_{A_S}^L(u)$	0.25	0.30	0.20	0.20	0.25	0.20	0.24		
	$\pi_{A_S}^U(u)$	0.30	0.40	0.25	0.25	0.30	0.25	0.30		
	$\mu_{A_S}^L(u)$	0.20	0.20	0.50	0.15	0.20	0.55	0.35		
	$\mu_{A_S}^U(u)$	0.25	0.25	0.55	0.20	0.25	0.65	0.42		
C3	$v_{A_S}^L(u)$	0.65	0.65	0.45	0.75	0.65	0.25	0.53	0.556701684	0.16225249
	$v_{A_S}^U(u)$	0.75	0.75	0.55	0.85	0.75	0.30	0.62		
	$\pi_{A_S}^L(u)$	0.20	0.20	0.30	0.15	0.20	0.25	0.23		
	$\pi_{A_S}^U(u)$	0.25	0.25	0.40	0.20	0.25	0.30	0.30		
	$\mu_{A_S}^L(u)$	0.25	0.65	0.75	0.50	0.25	0.75	0.59		
	$\mu_{A_S}^U(u)$	0.30	0.75	0.85	0.55	0.30	0.85	0.69		
C4	$v_{A_S}^L(u)$	0.55	0.20	0.15	0.45	0.55	0.15	0.29	0.586640313	0.170978199
	$v_{A_S}^U(u)$	0.65	0.25	0.20	0.55	0.65	0.20	0.36		
	$\pi_{A_S}^L(u)$	0.25	0.20	0.15	0.30	0.25	0.15	0.21		
	$\pi_{A_S}^U(u)$	0.30	0.25	0.20	0.40	0.30	0.20	0.27		
	$\mu_{A_S}^L(u)$	0.20	0.25	0.65	0.55	0.50	0.75	0.55		
	$\mu_{A_S}^U(u)$	0.25	0.30	0.75	0.65	0.55	0.85	0.64		
C5	$v_{A_S}^L(u)$	0.65	0.55	0.20	0.25	0.45	0.15	0.33	0.554961605	0.161745338
	$v_{A_S}^U(u)$	0.75	0.65	0.25	0.30	0.55	0.20	0.40		
	$\pi_{A_S}^L(u)$	0.20	0.25	0.20	0.25	0.30	0.15	0.23		
	$\pi_{A_S}^U(u)$	0.25	0.30	0.25	0.30	0.40	0.20	0.29		
	$\mu_{A_S}^L(u)$	0.15	0.25	0.25	0.15	0.15	0.50	0.28		
	$\mu_{A_S}^U(u)$	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20	0.55	0.33		
C6	$v_{A_S}^L(u)$	0.75	0.55	0.55	0.75	0.75	0.45	0.62	0.61335324	0.178763767
	$v_{A_S}^U(u)$	0.85	0.65	0.65	0.85	0.85	0.55	0.72		
	$\pi_{A_S}^L(u)$	0.15	0.25	0.25	0.15	0.15	0.30	0.22		
	$\pi_{A_S}^U(u)$	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20	0.40	0.29		

Interval-valued spherical weights obtained according to the binary comparisons are given in Table 3.

Table 3. Interval valued spherical fuzzy weight matrix based on the fuzzy approach.

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
C1	$\mu_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.43	0.31	0.37	0.46	0.23	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
	$\mu_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.37	0.23	0.31	0.43	0.13	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
	$v_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.79	0.72	0.76	0.87	0.67	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
	$v_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.81	0.76	0.79	0.90	0.72	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	$\pi_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.12	0.09	0.11	0.14	0.04	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	$\pi_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.16	0.15	0.15	0.20	0.17	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
C2	$\mu_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.29	0.41	0.44	0.22	0.35	0.59	0.63	0.41	0.59	0.63
	$\mu_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.22	0.35	0.41	0.13	0.29	0.56	0.59	0.35	0.56	0.59
	$v_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.75	0.81	0.88	0.70	0.78	0.91	0.94	0.81	0.91	0.94
	$v_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.78	0.83	0.91	0.75	0.81	0.94	0.96	0.83	0.94	0.96
	$\pi_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.08	0.12	0.14	0.03	0.10	0.10	0.08	0.12	0.10	0.08
	$\pi_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.14	0.15	0.19	0.17	0.14	0.13	0.10	0.15	0.13	0.10
C3	$\mu_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.42	0.36	0.36	0.36	0.23	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	$\mu_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.36	0.30	0.30	0.30	0.13	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
	$v_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.80	0.77	0.77	0.77	0.69	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	$v_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.82	0.80	0.80	0.80	0.74	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	$\pi_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.12	0.10	0.10	0.10	0.03	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	$\pi_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.16	0.15	0.15	0.15	0.17	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
C4	$\mu_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.61	0.61	0.61	0.61	0.65	0.37	0.37	0.43	0.31	0.43
	$\mu_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.58	0.58	0.58	0.58	0.61	0.31	0.31	0.37	0.23	0.37
	$v_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.90	0.90	0.90	0.90	0.93	0.76	0.76	0.79	0.72	0.79
	$v_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.93	0.93	0.93	0.93	0.95	0.79	0.79	0.81	0.76	0.81
	$\pi_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.11	0.11	0.11	0.11	0.08	0.11	0.11	0.12	0.09	0.12
	$\pi_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.13	0.13	0.13	0.13	0.11	0.15	0.15	0.16	0.15	0.16
C5	$\mu_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.42	0.36	0.23	0.42	0.36	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
	$\mu_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.36	0.30	0.13	0.36	0.30	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
	$v_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.80	0.77	0.69	0.80	0.77	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
	$v_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.82	0.80	0.74	0.82	0.80	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	$\pi_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.12	0.10	0.03	0.12	0.10	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
	$\pi_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.16	0.15	0.17	0.16	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
C6	$\mu_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.38	0.44	0.31	0.44	0.24	0.63	0.66	0.66	0.63	0.47
	$\mu_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.31	0.38	0.24	0.38	0.13	0.59	0.63	0.63	0.59	0.44
	$v_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.75	0.78	0.71	0.78	0.66	0.90	0.93	0.93	0.90	0.87
	$v_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.78	0.81	0.75	0.81	0.71	0.93	0.95	0.95	0.93	0.90
	$\pi_{\tilde{A}_S}^L(u)$	0.11	0.12	0.09	0.12	0.04	0.11	0.09	0.09	0.11	0.15
	$\pi_{\tilde{A}_S}^U(u)$	0.15	0.16	0.15	0.16	0.17	0.13	0.11	0.11	0.13	0.21

Since the proposed MCDM technique included the interval-valued spherical fuzzy AHP-ELECTRE method, the results obtained by the process steps of the ELECTRE method are given in Tables 4, 5, 6, 7 and 8, respectively. Matrices of the concordance sets are given in Table 4.

Table 4. Concordance matrix.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	0.00	0.48	0.49	0.33	0.49	0.65	0.65	0.65	0.48	0.83
A2	0.35	0.00	0.33	0.17	0.33	0.67	0.84	0.84	0.50	0.84
A3	0.34	0.34	0.00	0.51	0.33	0.67	0.67	0.67	0.50	0.67
A4	0.33	0.32	0.16	0.00	0.49	0.65	0.83	0.83	0.48	0.83
A5	0.51	0.51	0.67	0.51	0.00	0.84	0.84	0.84	0.67	0.84
A6	0.35	0.33	0.33	0.35	0.16	0.00	0.33	0.33	0.00	0.33
A7	0.35	0.16	0.33	0.17	0.16	0.00	0.00	0.16	0.00	0.18
A8	0.35	0.00	0.33	0.17	0.16	0.17	0.17	0.00	0.00	0.18
A9	0.52	0.50	0.50	0.52	0.33	0.17	0.50	0.50	0.00	0.50
A10	0.17	0.16	0.33	0.17	0.16	0.17	0.17	0.16	0.00	0.00

Table 5 shows the matrices of the discordance sets.

Table 5. Discordance matrix.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	0.00	1.51	1.06	1.01	2.68	1.84	1.75	1.83	2.72	0.79
A2	1.89	0.00	2.00	0.95	2.01	1.18	0.69	0.00	2.04	0.69
A3	1.51	1.42	0.00	1.00	2.88	1.33	1.28	1.10	2.30	1.52
A4	1.46	1.00	1.69	0.00	2.02	1.15	0.44	0.63	2.05	0.44
A5	0.94	0.61	1.08	0.77	0.00	0.58	0.68	0.11	1.45	0.70
A6	2.59	2.55	3.05	2.48	3.61	0.00	0.00	0.25	1.00	0.39
A7	2.37	3.31	2.77	3.01	3.62	1.90	0.00	0.20	2.87	0.28
A8	1.59	3.18	2.65	3.22	3.51	1.26	1.00	0.00	1.75	1.00
A9	1.58	1.82	2.23	1.72	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A10	2.71	2.72	2.64	2.46	3.22	1.37	1.00	0.72	2.17	0.00

The harmony superiority matrices are given in Table 6.

Table 6. Harmony superiority matrix.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
A2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1

A3	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
A4	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
A5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
A6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A9	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
A10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

The discord superiority matrices are given in Table 7.

Table 7. Discord superiority matrix.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
A2	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
A3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
A4	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
A7	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
A8	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
A9	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
A10	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0

Table 8 shows the total dominance matrix obtained by multiplying Table 6 and Table 7.

Table 8. Total dominance matrix.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
A2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
A3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
A4	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
A5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A9	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
A10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

The ranking of the alternatives compared is given in Table 9.

Table 9. Ranking of the compared alternatives.

	Rank
A1	1
A9	2
A4	3
A2	4
A3	5
A5	6
A6	7
A7	8
A8	9

V. CONCLUSION

In this study, an important multi-criteria decision-making strategy problem of electric car selection has been solved with the interval-valued spherical fuzzy AHP-ELECTRE method. According to the data obtained in this study, the A1 electric car alternative was in first place, the A9 electric car alternative was in second place and the A4 electric car alternative was in the third place. These results show that electric vehicle manufacturers that attach importance to battery capacity, efficiency – and thus range – autonomous driving capabilities and charging network are ahead of other competitors and are thought to be more preferable. The price, efficiency, and performance criteria have an important role in electric car selection. In this study, the aforementioned criteria were evaluated together with the experts, and the significance level of each criterion was determined. The study was performed by integrating AHP-ELECTRE into interval-valued spherical fuzzy sets and it is the first study presented in this field as far as it is known. Aydın and Gündoğdu applied this method for Industry 4.0 using the Interval-Valued Spherical Fuzzy MULTIMOORA Method in their studies [21]. In this study, its application was carried out by integrating MOORA to both spherical fuzzy sets and interval-valued spherical fuzzy sets. What makes this study novel is that weighted values were calculated with AHP, while the ranking and selection processes was carried out with ELECTRE.

VI. DISCUSSION

There are many different criteria when it comes to electric cars because the electric vehicle industry offers a new philosophy as well as the technical innovations involved. The widespread use of electric cars cannot be simply defined as a matter of vehicle substitution. Electric cars bring very important issues to the table, such as car manufacturers taking their engine manufacturing technique to a completely different level, changes in taxes, changes in the location and power of the car dealerships, and the replacement of gas stations with charging stations. This situation affects all participants. While new lines of work are emerging, discussions on the share of electric vehicles in the automotive market are growing. Current internal combustion engine manufacturers are calculating how much of their manufacturing should be allocated to electric vehicles and under what conditions. While calculating the changes these manufacturers will make in their factories, to their employees and to their partnerships is an important problem. Another problem is that the functionality of the car dealerships, which are an important player in vehicle sales, is declining. The stakeholder power of the car dealerships decreases with the online sales of electric vehicles without intermediaries. However, considering the investments made by the current vehicle manufacturers in their dealerships, it does not seem easy to abandon this in one go. Another issue on the agenda is about how green electric vehicles really are. While these discussions are still going on, the electric vehicle business – trying to improve their features day by day – is developing partnerships to solve important problems involving battery capacity, autonomous driving, price, range, efficiency, performance and charging networks. The battery stores the electrical energy as chemical energy and enables it to be used as electrical energy when desired. This amount of energy is called the battery capacity. Today, the area where electric vehicle manufacturers compete with each other the most is in the battery capacity. Parameters such as the technology used in the battery, the size of the battery capacity, and the battery life, directly affect electric vehicles. Another parameter that directly affects electric vehicles is the charging network. One of the important questions that people who buy electric vehicles think about is where and how they will charge their vehicles. Thanks to the equipment on the electric vehicles, it can be charged anywhere, from a 220V home socket to a 400V three-phase industrial socket. The use of charging stations located on the roadside or in places where lots of people spend time is easier for the end user and these stations can even be installed in homes. When the charging network is widespread and easily accessible it triggers electric vehicle selection.

Autonomous driving, which is often referred to within the concept of electric vehicles, is a vehicle-driving technology that can sense its environment and move without human input. These vehicles use artificial intelligence technology to move around without the need for a driver. The presence of autonomous driving is a very important parameter in electric vehicle selection. Studies on autonomous driving are increasing day by day and now autonomous driving technology is categorized as partial, conditional, or full automation. There is a lot of work to be done in the field of autonomous driving. Of course, price, efficiency and performance are among the issues that attract the most attention from the end user, because the end user wants to buy the best quality product at the most reasonable cost. Comparing different techniques for the same application in future studies is advised. When different electric vehicle brands become more comparable in terms of technical features, the criteria used in this study can be applied with sub-criteria for future studies. This is because under present conditions – even though the study started with the goal of having more criteria – criteria elimination had to be used so that different electric car models could be compared against the same criteria, which is the limitation of this study for now. With the development of the technologies used, the study can be improved by adding different criteria to the evaluation.

VII. REFERENCES

- [1] K. Gyimesi and R. Viswanathan, “The shift to electric vehicles: Putting consumers in the driver’s seat,” IBM, Somers, NY 10589, USA, IBM Global Business Services Executive Rep, 2011.
- [2] L. A. Zadeh “Fuzzy logic and approximate reasoning,” *Synthese*, vol. 30 no. 4, pp. 407-428, 1975.
- [3] T. L. Saaty, “Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process,” *Management Science*, vol. 32, no. 7, pp. 841-855, 1986.
- [4] A.Y. Korkusuz., U. H. İnan, Y. Özdemir and H. Başlıgil, “Occupational health and safety performance measurement in healthcare sector using integrated multi criteria decision making methods,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 35, no. 1, pp. 81-96, 2020.
- [5] N. Yayla and M. Karacasu, “A decision support model to incorporate public and expert opinions for assessing the privatization of public bus transit system: application of ELECTRE for the Bus System,” *Scientific Research and Essays*, Eskisehir, Turkey, 2011, vol. 6, no. 21, pp. 4657-4664,
- [6] İ. Ertuğrul and N. Karakaşoğlu, “Choosing a computer for a business with ELECTRE and fuzzy AHP methods,” *Dokuz Eylül University Faculty of Economics and Administrative Sciences Journal*, vol. 25, no. 2, pp. 23-41, 2010.
- [7] H. Yürekli, “The use of electre method in the selection of attack helicopters,” PhD Dissertation, Department of Business Administration, Institute of Social Sciences, T.C. Istanbul University, İstanbul, Turkey, 2008.
- [8] M. Yücel ve A. Ulutaş, “Çok Kriterli Karar Yöntemlerinden Electre Yöntemiyle Malatya’da Bir Kargo Firması İçin Yer Seçimi,” *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, c. 9, no. 17, ss. 327-344, 2009.
- [9] B.D. Rouyendegh and S. Erol, “Selecting the best project using the fuzzy ELECTRE method,” *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2012, pp. 1-13, 2012.
- [10] S. Hartati, R. Wardoyo, A. Harjoko, J.I. Palembang and O. Ilir, “ELECTRE methods in solving group decision support system bioinformatics on gene mutation detection simulation,” *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, vol. 3, no. 1, pp. 40-52, 2011.

- [11] L. Fei, J. Xia, Y. Feng and L. Liu, “An ELECTRE-based multiple criteria decision-making method for supplier selection using dempster-shafer theory,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 84701-84716, 2019.
- [12] Yu Xiaohan, Z. Suojuan, L. Xianglin and Q. Xiuli, “ELECTRE methods in prioritized MCDM environment,” *Information Sciences*, vol. 424, pp. 301-316, 2018.
- [13] İ. Otay and S. Atik, “Multi-criteria oil station location evaluation using spherical AHP&WASPAS: A real-life case study,” *Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions Publisher*, 2021.
- [14] F. Kutlu Gündoğdu, and C. Kahraman, “A novel fuzzy TOPSIS method using emerging interval-valued spherical fuzzy sets,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 85, pp. 307–323, 2019.
- [15] A. Shahzaib, et al. “Spherical fuzzy sets and its representation of spherical fuzzy T-norms and T-conorms,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 36, no. 6, pp. 6089 – 6102, 2019.
- [16] F. Kutlu Gündoğdu, C. Kahraman and A. Karaşan, “Spherical fuzzy VIKOR method and its application to waste management,” In: *Kahraman C, Cebi., Cevik Onar S, Oztaysi B, Tolga A, Sari I (eds) Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making INFUS 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, Cham, 2020.
- [17] F. Kutlu Gündoğdu and C. Kahraman, “A novel vikor method using spherical fuzzy sets and its application to warehouse site selection,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol.37, no. 1, pp. 1197-1211, 2019.
- [18] F. Kutlu Gündoğdu and C. Kahraman, “A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application,” *Soft Computing*, vol. 24, pp. 4607–4621, 2020.
- [19] S. Tepe, “Coding program selection using spherical fuzzy analytical hierarchy and pythagorean fuzzy analytical hierarchy processes,” *Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing*, pp.1-22, 2021.
- [20] Y. Donyatalab, S.A. Seyfi-Shishavan, E. Farrokhzadeh, F. Kutlu Gündoğdu and C. Kahraman, “Spherical fuzzy linear assignment method for multiple criteria group decision-making problems,” *Informatica*, vol. 31, no. 4, pp. 707-722, 2020.
- [21] S. Aydın and F. Kutlu Gündoğdu, Interval-Valued Spherical Fuzzy MULTIMOORA Method and Its Application to Industry 4.0. In: C. Kahraman, F. Kutlu Gündoğdu, “Decision Making with Spherical Fuzzy Sets,” *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, vol. 392, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Beyaz Baş Lahana Hatlarının Morfolojik Özellikleri Üzerine Turnip Mosaic Virus (TuMV)'nin Etkilerinin Belirlenmesi

 Nuran CANSIZ^a,  Mehmet Ali ŞEVİK^{a,*}

^a Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: malis@omu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.884407

ÖZ

Turnip mosaic virus (TuMV), dünya çapında Brassica grubu sebze türlerinde en önemli viral etmenlerden biridir. TuMV'nin beyaz baş lahana (*Brassica oleracea* var. *capitata* sub. var. *alba*) bitkisinin gelişimi ve morfolojik parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yürütülmüştür. Araştırmada, 21 beyaz baş lahana hattına ait bitkilerin TuMV'ye karşı reaksiyonları incelenmiştir. Lahana bitkilerine mekanik inokulasyon yöntemiyle virüs inokule edilmiş ve belirli aralıklarla ELISA yöntemiyle bitkilerdeki virüs varlığı incelenmiştir. Bitkilerde oluşan belirtiler vejetasyon sonuna kadar takip edilmiş ve hasat zamanı bitkilerde morfolojik ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler istatistik analize tabi tutulmuş, hatlar kendi aralarında ve kontrolleriyle kıyaslanmıştır. Toplam 17 hatta ait bitkiler virüsten şiddetli şekilde etkilenirken, 4 hat (YBB35, W13, HB5-2, YBB37) hafif şekilde etkilenmiştir. Lahana bitkilerinde bazı morfolojik parametrelere virüsün etkisi değerlendirildiğinde kontrole kıyasla; bitki boyunda %32.1, bitki eninde %46.1, dış yaprak genişliği %34, dış yaprak boyunda %40.2, yaprak sap genişliğinde %22.4, baş ağırlığında %68.1, baş çapında %32.1, baş yüksekliğinde %23.4, koçan uzunluğunda %31.9, koçan genişliğinde %21.3 oranında azalmalar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lahana, Virüs, TuMV, Morfolojik parametreler

Determination of Impact of Turnip Mosaic Virus (TuMV) on Morphological Characteristics of White Cabbage Lines

ABSTRACT

Turnip mosaic virus (TuMV) is one of the most important viral pathogens in *Brassica* vegetables worldwide. Experiments were conducted to investigate the effects of TuMV on growth and the morphological parameters of white head cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* sub. var. *alba*) plant. In the present research, 21 lines of cabbage were screened for their reaction to TuMV. The virus was inoculated to the cabbage plants by mechanical inoculation method and the presence of viruses in plants was examined at regular intervals by ELISA method. The symptoms in plants were examined until harvest time and morphological measurements were made in plants at harvest time. These measurements were compared between the lines and their controls which were subjected to statistical analysis. Seventeen lines were severely affected by the virus, while four lines (YBB35, W13, HB5-2, and YBB37) were slightly affected. When the morphological parameters in the lines were evaluated, there were reductions in plant height by 32.1%, plant width by 46.1%, outer leaf width by 34%, outer leaf height by 40.2%, petiole width by 22.4%, head weight by 68.1%, head diameter by 32.1%, head height by 23.4%, head stem length by 31.9%, head stem width by 21.3%.

Keywords: Cabbage, Virus, TuMV, Morphological parameters

I. GİRİŞ

Dünya'da gıdaya olan ihtiyaç her geçen gün artış göstermektedir. Türkiye yaş sebze üretiminde beşinci sırada yer almakta olup sektörde söz sahibi ülkeler arasındadır[1]. Türkiye'de yetiştirilmekte olan 38 sebze türü içerisinde önemli bir çeşitlilik bulunmaktadır [2].

Brassicaceae familyasına ait bitkilerin birçoğu ılıman bölgelerde yayılış göstermektedir [3]. Bu grubun orijini Doğu Akdeniz ülkeleri ve Anadolu olarak kabul edilmektedir [4]. Türkiye Brassicaceae familyasına ait tür çeşitliliğinde dünyanın en zengin ülkelerinden birisi konumundadır. Sahip olduğu 571 tür ile dünyada ikinci sırada olan ABD, Türkiye'den 10 kat daha büyük toprağa sahip olmasına karşın 10 cins ve 653 tür barındırmaktadır [5].

Lahana grubu sebzeleri geniş bir aile olup, beyaz baş lahana gerek ülkemizde ve gerekse Karadeniz Bölgesi'nde yoğun bir şekilde yetiştirilen bir sebze türüdür [6]. Ülkemizde 2018 yılında 516.951 ton beyaz lahana üretimi gerçekleştirilmiştir. Samsun ili ise bu üretimde %17'lik pay ve 91.847 ton üretim ile Niğde ilinden sonra ikinci sırada yer almaktadır [7].

İnsan beslenmesinde oldukça önemli yere sahip olan Brassica gurubu sebze türlerinde üretimi ve verimi olumsuz yönde etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Brassicaceae familyasına ait bitki türlerinde hastalık yapan birçok viral etmen bulunmaktadır. Brassicaceae familyasına ait bitkilerde hastalık yapabilen önemli bazı viral etmenler arasında; *Turnip mosaic virus* (TuMV), *Cauliflower mosaic virus* (CaMV), *Turnip yellow mosaic virus* (TYMV), *Beet western yellows virus* (BWYV), *Cucumber mosaic virus* (CMV) ve *Radish mosaic virus* (RaMV) bulunmaktadır [8]. Ancak en yaygın görülen viral etmenler arasında *Turnip mosaic virus* (TuMV) yer almaktadır. TuMV, Brassica grubu bitki türlerinde her yıl önemli verim ve kalite kayıplarına yol açabilmektedir. Virüs özellikle hassas çeşit beyaz baş lahanaların dış yapraklarında şiddetli nekrotik simptomlara neden olabilmektedir [9].

TuMV, dünyadaki en önemli bitki virüslerinden biridir ve non-persistent olarak çok sayıda yaprak biti türü ile taşınabilmektedir [10]. TuMV kültürel işlemler sırasında mekanik yollarla da taşınabildiği için virüsle mücadelede en etkili yöntem dayanıklı çeşit kullanılması olarak karşımıza çıkmaktadır [11].

TuMV'nin birçok önemli kültür bitkilerin de hastalık oluşturması ve virüs hastalıklarının kimyasal mücadelesi olmaması nedeniyle hastalık daha önemli hale gelmiştir. Virülens ve konukçu dizisine bağlı olarak izolatların çeşitlerde etkilerinin değişkenliği, üretilen çeşitlerin TuMV izolatlarına karşı reaksiyonları ile ilgili araştırmaların yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır [12],[13]. Farklı ülkelerde yapılan bazı çalışmalarda TuMV'nin lahanalarda önemli verim kayıplarına neden olduğu bildirilmiştir [14],[15].

Ülkemizin farklı bölgelerinde TuMV'nin beyaz baş lahanada yaygınlığı ve karakterizasyonu üzerine yapılan bazı çalışmalar bulunmaktadır [16]. Ancak virüsün lahanalarda morfolojik parametrelere ve verim unsurlarına yönelik detaylı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Yürütülen bu çalışmada, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilen beyaz baş lahana hatları kullanılarak, virüsün lahana bitkilerinde morfolojik parametreler üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. BİTKİSEL DENEME MATERYALİ

Bu çalışmada kullanılan deneme materyalini, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü (KTAE)'nden temin edilen beyaz baş lahana ıslah hatlarına ait tohumlar oluşturmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Denemede kullanılan beyaz baş lahana hatlarının kod isimleri ve kademe sayısı.

Hatlar	Kademe	Hatlar	Kademe	Hatlar	Kademe
183	S12	508	S12	BY27/2	S8
HB4-1	S8	HB5-2	S8	P66	S8
P95	S9	M155	F8	X1	F12
P68	S8	P19-4	S8	YBB36-2	S10
P88	S8	P33	S8	Z145-3-2	F8
YBB35	S11	P94	S9	235	S12
YBB37	S8	W13	S8	22/1	S12

B. TURNIP MOSAIC VIRUS (TuMV)

Bu çalışmada, Samsun ilinde daha önce yapılan sörveyler kapsamında [16] beyaz baş lahana üretim alanlarından izole edilen TuMV-BA izolatu kullanılmıştır. TuMV izolatu Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma iklim odasında kontrollü şartlar altında hassas beyaz baş lahana çeşidine (Yalova 1) inokule edilerek çoğaltılmıştır.

C. MEKANİKSEL İNOKULASYONDA KULLANILAN TAMPON ÇÖZELTİLER

Virüsün bitkilere mekaniksel inokulasyonu sırasında kullanılmak üzere, 0.01 M Potasyum Fosfat Tampon Çözeltisi (PBS) (pH 7.0) [17]; Na₂HPO₄.2H₂O (0.178 gr/100 ml) ve NaH₂PO₄.2H₂O (0.156 gr/100 ml) kullanılarak hazırlanmıştır.

D. LAHANA TOHUMLARI

Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde 03.07.2019 tarihinde 28'lik viyollere her hattan 56 beyaz baş lahana tohumu ekimi gerçekleştirilmiş ve viyoller sera içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Tohum ekimi ve sera içerisine yerleştirilmesi.

E. LAHANA ISLAH HATLARINA VİRÜS İNOKULASYONU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi iklim odasında lahana bitkilerinde yeterli miktarda inokulum elde edilen virüs, beyaz baş lahana fideleri 2-4 yapraklı döneme geldiği zaman mekanik inokulasyon yöntemiyle bulaştırılmıştır.

F. LAHANA HATLARININ ARAZİYE DİKİMİ

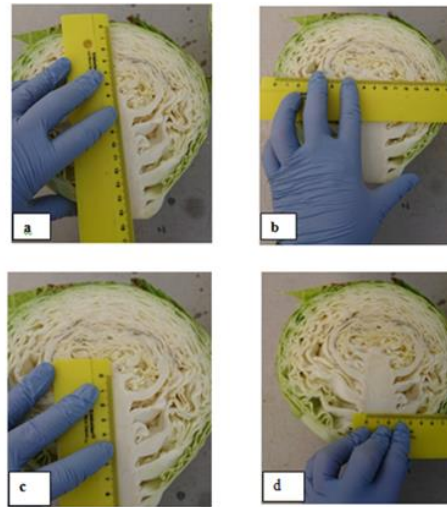
Lahana fidelerinin araziye dikilmesinden bir hafta önce arazide toprak işleme yapılmış ve damla sulama sistemi kurulmuştur. Mekanik inokulasyondan iki hafta sonra fideler Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü'ne ait 550 m²'lik deneme arazisine her tekerrürde 20 bitki olacak şekilde dört tekerrürlü olarak dikilmiştir. Deneme kurulduktan sonra haftalık gözlemler alınmaya başlanmış ve hasat sonuna kadar gözlem alınmaya devam edilmiştir. Lahana bitkilerinin üzeri böcek geçirmez tülle kapatılarak izolasyon işlemi yapılmıştır.

G. DAS- ELISA YÖNTEMİNİN UYGULANIŞI

Mekaniksel inokulasyon yapılan bitkilerde TuMV varlığını belirlemek için DAS-ELISA yöntemi kullanılmıştır. ELISA testleri, ticari firmadan (Bioreba) temin edilen antiserum ve konjugat kullanılarak 96 kuyucuklu düztabanlı mikropleytlerde (TPP) çift tekerrürlü olarak uygulanmıştır.

H. LAHANA BİTKİSİNİN MORFOLOJİK PARAMETRELER ÜZERİNE VİRÜSÜN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Hasat zamanı lahana bitkilerinde bazı morfolojik ölçümler (bitki boyu, bitki eni, dış yaprak genişliği, dış yaprak boyu, yaprak sap genişliği, baş ağırlığı, baş çapı, baş yüksekliği, koçan uzunluğu ve koçan genişliği) yapılmıştır (Şekil 2). Yapılan bu ölçümler kontrol bitkileriyle kıyaslanmış ve istatistiksel analiz yapılmıştır.



Şekil 2. Lahanalarda baş boyu (a), baş çapı (b), koçan uzunluğu (c), koçan genişliği (d), ölçümleri.

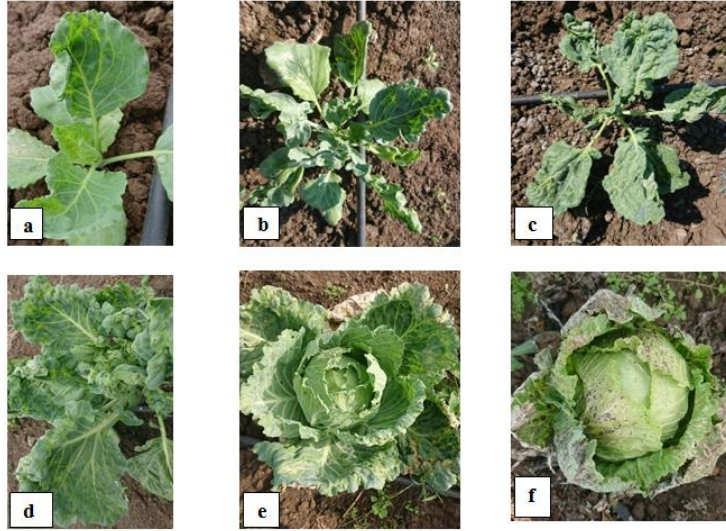
I. VERİLERİN ANALİZİ

Çalışmada elde edilen veriler JMP- SAS 5.01 istatistik paket programında varyans analizine tabi tutulmuştur. Ardından istatistiksel anlamda önemli bulunan kriterler Duncan çoklu karşılaştırma testiyle gruplandırılmıştır.

III. BULGULAR

A. BEYAZ BAŞ LAHANA BİTKİLERİNDE OLUŞAN BELİRTİLER

Kontrollü koşullarda yetiştirilip mekanik inokulasyon yöntemiyle TuMV inokule edilen 21 beyaz baş lahana ıslah hattı (183, HB4-1, P95, P68, P88, YBB35, YBB37, 508, HB5-2, M155, P19-4, P33, P94, W13, BY27/2, P66, X1, YBB36-2, Z145-3-2, 235, 22/1) ve kontrol araziye dikilmiştir. Gözlem ve örnek analiz süreci hasat sonuna kadar devam etmiştir. Bu hatlara ait bitkilerde ve Yalova 1 çeşidinde değişen şiddetlerde farklı virüs belirtileri gözlemlenmiştir. Hatlar araziye şaşırtıldıktan birinci haftadan itibaren belirtiler görülmeye başlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. a: Virüs inokule edilen yapraklarda mozaik b: yeni gelişen yapraklarda mozaik c: tüm bitkide mozaik ve kabarcıklı mozaik b d: tüm bitkide şiddetli kabarcıklı mozaik e: dış yapraklarda mozaik f: tüm bitkide nekrotik lekelenmeler.

İlk olarak inokule edilen yapraklarda görülen mozaik belirtisi daha sonra yeni gelişen yapraklarda da görülmüştür. Yapraklarda şiddetli kabarcıklı mozaik görülmüştür. Bitki baş oluşturmaya başladığı zaman kabarcıklı mozaik belirtileri dış yapraklarda kalmıştır. Hasat zamanı tüm bitkide nekrotik lekelenmeler meydana gelmiştir.

B. LAHANA HATLARINDA MORFOLOJİK ÖZELLİKLERE AİT SONUÇLAR

Lahana hatlarının hasat dönemleri birbirinden farklı olmakla birlikte ilk hasatlar bitkiler araziye dikildikten üç ay sonra gerçekleşmiştir. İlk hasatlar 08.10.2019 tarihinde başlayıp 01.15.2020 tarihine kadar kademeli olarak devam etmiştir. Bitkiler hasat edilirken bitkilerin bitki boyu bitki eni, dış yaprak genişliği ve boyu yaprak sap genişliği, baş ağırlığı, baş çapı, baş yüksekliği, koçan uzunluğu ve kaçan

genişliği ölçümleri yapılmış ve kontrol uygulaması ile kıyaslanmıştır. Hatların baş özelliklerine ait kayıp oranları (%) hesaplanmıştır (Tablo 2).

Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlara göre; TuMV ile enfekteli ve kontrol bitkilerindeki ölçülen tüm morfolojik parametlerdeki azalmaların istatistiki olarak %1 düzeyinde çok önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 2).

TuMV ile enfekteli hatlar birbiriyle kıyaslandığında bitki boyu açısından en fazla etkilenen hatların sırasıyla X1(%50.7), P68(%44.3), P88(%43) olduğu tespit edilmiştir. En az etkilenen hatlar ise sırasıyla P94(%9.1), BY27-2(%13.9) ve Z145-3-2(%14.2) olduğu saptanmıştır.

Hatlar bitki eni açısından incelendiğinde P68(%63.3), 508(%63.5), P95(%60) hatları virüsten en fazla etkilenen hatlar olmuştur. En az etkilenen hatlar sırasıyla YBB35 (%20.4), BY27-2(%25.1), P94 (%25.8) olduğu bulunmuştur.

Dış yaprak genişliği açısından incelendiğinde P68(%49.7), P95(%44.8), X1(%48.6), hatları sırasıyla en fazla etkilenen hatlar olmuştur. En az etkilenen hatlar ise YBB35(%9.2), BY27-2(%9.9), 183(%18.1) hatları olduğu tespit edilmiştir. Dış yaprak boyundaki azalma incelendiğinde virüsten en fazla etkilenen hatlar sırasıyla P68 (%55.2), YBB36-2(%57.3), P95(%51.5) hatları olduğu tespit edilmiştir. En az etkilenen hatlar ise BY27-2(%13.0), YBB37(%16.5), P94 (%20.1) hatları olduğu bulunmuştur.

Tablo 2. TuMV ile enfekteli ve kontrol beyaz baş lahanaya ait morfolojik ölçüm değerleri.

Hat no	Bitki boyu (cm)	Bitki eni (cm)	Yaprak genişliği (cm)	Dış yaprak boyu (cm)	Baş ağırlığı (g)	Baş çapı (cm)	Baş yüksekliği (cm)	Koçan uzunluğu (cm)
183, e	32.6n-s	46.41 jkl	25.85 h-l	32.01k-p	0.670mno	12.86nop	14.32jkl	4.33p
183,k	52.25c-g	101.95 a	31.58 d-ı	54.68 bcd	2.03gh	21.1c-h	20.85bc	9.49b-j
P95,e	33.69m-s	31.96l	23.47 ı-l	23.11	0.478no	11.94op	9.49m	6.43ı-p
P95,k	50.15 d-h	79.9 b-f	42.55 bc	47.7 c-g	2.55d-h	24.75a-d	21.05bc	8.3e-m
P68,e	30.01 o-s	38.15 kl	19.45l	22.62 pq	0.703mno	16.34ı-o	13.51kl	6.9g-p
P68,k	53.91 b-e	103.85a	38.65 bcd	50.55 b-f	2.82de	27.35ab	20.85bc	10.6b-f
P88,e	29.21 p-s	35.72 kl	23.24 jkl	24.68 pq	0.630mno	13.14m-p	12.88l	7.75e-o
P88,k	51.25 c-g	78.5 b-g	36.1 cde	45.4d-ı	2.19e-ı	20.05e-j	18.77c-f	9.65b-ı
YBB35,e	48.51d-j	77.98 b-f	29.02e-k	48.33b-g	1.04ı-o	19.65f-k	19.96bcd	9.00c-l
YBB35,k	61.97 ab	97.92 ab	31.97 d-h	69.85a	1.85h-k	23.25b-g	20.02bcd	9.37b-k
YBB37,e	35.56 m-r	46.14 jkl	24.86h-k	30.45m-q	1.05ı-o	15.89j-o	14.43ı-l	6.32ı-p
YBB37,k	51.8 c-g	71.8 d-ı	35.4 cde	36.6 ı-o	2.7d-g	20.8d-ı	16.35g-j	8.45d-m
508,e	37.80 k-p	34.32 l	26.6 g-k	29.14 m-q	0.755mno	16.47ı-n	18.96c-f	8.89c-m
508,k	52.91 c-f	93.93 abc	41.42 bc	50.98 b-f	2.57d-h	24.09b-g	26.07a	16.85a
HB5-2,e	38.59 k-o	56.78g-k	30.81d-j	37.5h-n	1.75ı-l	20.08e-j	19.84bcd	7.37f-p
HB5-2,k	52.6 c-g	88 a-e	44.5 b	57.7 b	4.79a	28.65a	21.85b	11.65bcd
M155,e	33.36m-s	46.75jkl	16.46l	27.36 opq	0.717mno	15.88j-o	14.83ı-l	5.87ı-p
M155,k	53.6 b-e	78.45b-g	34.95 c-f	36.9h-o	2.25e-ı	23.3e-j	18.25d-g	11.9bc
P 19-4,e	32.91-s	43.38 jkl	25.60 h-l	28.12n-q	0.751mno	15.82j-o	14.80ı-l	6.24j-p
P 19-4,k	43.9 f-l	92.8 a-e	37 b-e	40.6 g-k	2.14e-ı	20.7d-ı	21.85b	12.65b
P33,e	28.06 rs	34.88l	24.81 h-l	23.91 pq	0.395o	11p	10.03m	4.8nop
P33,k	44.9 e-k	91.8 a-e	37.68 bcd	38.92g-m	1.24j-m	19.2g-l	15.05h-l	8.65c-m
P94,e	39.87j-n	53.55 h-l	26.88 f-l	31.67k-p	0.698mno	16.94h-n	17.20e-h	6.86h-p
P94,k	43.87 g-l	72.15 d-h	35.35 cde	39.62 g-l	2.81de	25.9ab	19.62bcd	10.8b-e
W13,e	28.70 qrs	44.41 jkl	23.64 ı-l	26.16 pq	0.731mno	15.29k-p	14.39ı-l	6.98g-p
W13,k	49.3 d-ı	75.95 c-g	35.85 cde	42.15 f-j	3.16cd	25.3abc	16.7f-ı	7.45f-p
BY 27-2,e	51.68 c-g	73.56c-h	31.16d-j	50.87 b-g	0.889 mno	13.05m-p	14.73ı-l	5.63m-p
BY 27-2,k	60.05 abc	98.2 ab	34.58 c-g	57.2 bc	2.06 f-ı	20.03e-j	16.7f-ı	7.63e-p
X1,e	26.54 s	36.13 kl	21.96 kl	25.23 pq	0.784 mno	15.07ı-p	13.61kl	4.52op
X1,k	53.8 b-e	93.05 a-d	42.75 bc	52.15 b-e	2.78 def	24.25a-e	18.75c-f	6.65h-
YBB36-2,e	28.48qrs	38.9 kl	20.11	21.69q	0.630 mno	12.97m-p	13.23l	6.10k-p
YBB36-2,k	47.95 d-j	84.8 a-f	36.7 bcde	50.85 b-f	3.76 bc	24.65a-d	20.85bc	11.9bc

Z145 -3-2,e	35.90 k-r	50.13 ı-l	25.41 hijkl	27.93 n-q	0.927 mno	17.29h-n	16.63f-j	7.37f-p
Z145 -3-2,k	41.83h-m	88.7 a-e	38.65 bcd	44.33 e-ı	2.00 ghi	20.72d-ı	19.37cde	9.1c-l
22-1,e	37.35 k-o	44.65 jkl	30.95d-j	32.4j-p	1.18 k-n	19 g-l	15.65h-k	8e-n
22-1,k	55.75 bcd	71.25 e-ı	42.1 bc	46.7 d-h	1.93 hij	19.3g-l	16.7f-ı	8.05e-n
Yalova, e	40.78 ı-n	63.65 f-j	38.83 bcd	29.97 1-q	1.11 k-o	17.39 hm	16.15 g-j	7.67 e-o
Yalova, k	66.70 a	103.20 a	67.62 a	45.36 d-ı	4.19 ab	25.32 abc	21.93 b	10.21 b-g
'k' ort	52.02a	87.69a	39.23a	47.80a	2.62 a	23.09a	19.55a	9.96a
(P< 0001)								
'h' ort	35,25b	47.23b	25.90b	30.16b	0.83b	15.66b	14.98b	6.78b
(P< 0001)								
CV (%)	0.1	0.15	0.12	0.12	0.2	0.11	0.06	0.19

k; Sağlıklı kontrol, e: TuMV ile enfekteli

Yaprak sap genişliğindeki azalmalarda M155(%43.5), P95(%43), P88(%37.1) hatları virüsten en fazla etkilenen hatlar olduğu bulunmuştur. En az etkilenen hatlar ise BY27-2(%2.4) P94(%8.6), HB5-2(%9.3), hatları olduğu bulunmuştur.

Baş ağırlığındaki kayıplar incelendiğinde 22/1(%38.9), YBB35(%43.8), BY27-2(%56.8), hatları virüsten en az etkilenen hatlar olmuştur. En fazla etkilenen hatlar sırasıyla ise YBB36-2(%83.2), P95(%81.2), W13(%76.9) hatları olduğu bulunmuştur.

Baş çapındaki azalmalar incelendiğinde virüsten en fazla etkilenen hatlar sırasıyla P95(%51.7), YBB36-2(%47.4), P33(%42.7) hatları olduğu bulunmuştur. En az etkilenen hatlar ise 22/1(%1.5), YBB35(%15.5), Z145-3-2(%16.5), hatları olduğu bulunmuştur. Baş yüksekliği en fazla etkilenen hatlar P95(%54.9), P68(%35.2), YBB36-2(%36.5) hatları olduğu tespit edilmiştir. En az etkilenen hatlar ise YBB35(%0.3), 22/1(%6.3), HB5-2(%9.2) hatları olduğu bulunmuştur.

Koçan uzunluğundaki azalmalarda en fazla etkilenen hatlar 183(%54.4), M155(%50.7), P19-4(%50.7) hatları olduğu tespit edilmiştir. En az etkilenen hatlar ise 22/1(%0.6), YBB35(%3.9), W13(%6.3), hatları olduğu bulunmuştur. Koçan genişliği incelendiğinde en fazla etkilenen hatlar 183(%38.9), X1(%35.4) hatları olduğu bulunmuştur. En az etkilenen hatlar ise P95(%2.0), YBB37(%4.5), W13(%6.8), hatları olduğu tespit edilmiştir.

IV. TARTIŞMA

Viral etmen kaynaklı hastalıkların kimyasal bir mücadelesi olmadığı için diğer hastalık etmenlerine göre daha yıkıcı olabilmekte ve bazen üretimde %100'lere varan oranlarda kayıplara neden olabilmektedir. TuMV, Brassicaceae familyasına bağlı 300'ün üzerinde bitki türünde hastalık oluşturabilmekte ve üretimde önemli kayıplara neden olmaktadır [18].

Bu çalışmada, 21 lahana ıslah hattına ait bitkilerde TuMV'nin oluşturduğu belirtiler değerlendirilmiştir. Çalışma sürecinde 17 hatta şiddetli belirtiler görülmüş, 4 tanesi ise virüsten az etkilenmiştir. Toplam 18 hatta baş oluşumu gerçekleşirken, 3 hatta ait bitkilerde ise hiç baş bağlama gerçekleşmemiştir. 14 hatta baş sayısındaki kayıplar %20-93.3 arasında değişirken, 4 hatta (HB5-2, YBB35, W13 ve 183) ise baş sayısında kayıp gerçekleşmemiştir. Ortalama baş sayısındaki kayıp ise %54 olarak saptanmıştır. Hatlardaki bazı morfolojik özelliklerde oluşan kayıplar değerlendirildiğinde; bitki boyunda %32.1, bitki eninde %46.1, dış yaprak genişliği %34, dış yaprak boyunda %40.2, yaprak sap genişliğinde %22.4, baş ağırlığında %68.1, baş çapında %32.1, baş yüksekliğinde %23.4, koçan uzunluğunda %31.9, koçan genişliği %21.3 oranında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Gladysz ve Fajerska [19], TuMV izolatlarının beyaz lahana çeşitlerine karşı etkisinin değerlendirilmesi için bir çalışma yürütmüşlerdir. Bayaz baş lahana Amager çeşidinde TuMV varlığı, CAR37A izolatı ile aşılaman bitkilerin %42.5'inde ve CAR39 izolatı ile aşılaman bitkilerin %50'sinde tespit edilmiştir. 'Langedijker' çeşidinde, enfekte olmuş bitkilerin oranı, CAR37A ve CAR39 izolatları

için sırasıyla %35 ve %50'dir. Denemenin sonuçlarına göre, her iki beyaz lahana çeşitleri de, TuMV izolatına duyarlı çeşitler olduğu kanıtlanmıştır. Yapılan bu çalışmada da 21 beyaz baş lahana ıslah hattına inokule edilen TuMV-BA izolatının inokulasyon yapılan tüm bitkilerde belirti görülmüştür. Bu hatlardan HB5-2, YBB35, W13 ve YBB37, hatları diğerlerine göre daha toleranslı, diğer 17 hat ise oldukça hassas bulunmuştur.

Korkmaz ve Çevik [20], tarafından yürütülen bir çalışmada TuMV enfeksiyonlarının ilk aşamalarında bitkide fazla etkisinin olmadığı, ancak ilerleyen dönemlerde bitkilerde şiddetli belirtilerin görülebileceğini ortaya koyulmuştur. Yürütülen bu çalışmada ise; 183, P95, P68, P88, 508, M155, P19-4, P33, P94, P66, X1, YBB36-2, Z145-3-2, 235, 22/1, BY27-2 hatlarında bitkinin ilk döneminden itibaren şiddetli belirtiler görülmüş, haftalar ilerledikçe daha da şiddetli hale gelmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada TuMV ile enfekteli bulunan örneklerden alınarak indikatör bitkilerden olan *Chenopodium quinoa*, *B. rapa* ve *N. benthamiana* üzerine inokule edilmiş ve bu bitkilerde de şiddetli mozaik, bodurlaşma ve solgunluk simptomları oluşturmuştur [21]. TuMV'nin bitkilerde oluşturduğu belirtiler konukçu bitkiye göre değişmekle birlikte ilk belirtiler önce yapraklarda sararma, yaşlı yaprakların tamamen veya kısmen ölmesi, genç yapraklarda küçülme ve tipik mozaik simptomları şeklindedir. Yürütülen bu çalışmada ise mekaniksel inokulasyondan 2 hafta sonra belirtiler görülmeye başlanmıştır. İlk belirtiler tüm hatlarda inokule edilen yapraklarda mozaik belirtileri şeklinde görülmüştür. *Brassica* cinsine bağlı bitkilerde tipik belirtiler genç yapraklarda klorotik halkalı lekelerin oluşmasıdır. Yaprak yaşına bağlı olarak bu halkalı lekeler küçük-yuvarlak sarımsı-kahverengimsi bir yapıya dönüşmektedir. Belirtiler daha çok yaprak damarlarına yakın alanlarda oluşmakta ve lekeler çoğaldıkça ve büyüdükçe yaprak yanmış ya da kurumuş gibi bir görünüm almaktadır [22]. Yürütülen bu çalışmada da inokulasyon yapılan tüm hatlarda mozaik belirtileri görülmüş. Bu mozaik belirtileri haftalar ilerledikçe 183, P68, P88, YBB35, M155, P19-4, P33, P94, P66, YBB36-2, Z145-3-2, 22/1, hatlarda şiddetli mozaikle beraber kabarcıklı mozaik belirtileri görülmüştür. YBB35, M155 hatlarında yapraklarda kıvrılma 22/1, 235, Z145-3-2, P66, P94, M155, P95 hatlarında yapraklarda şekil bozukluğu belirtileri görülmüştür.

Hunter ve ark. [14], yaptıkları bir çalışmada, lahana fidelerinin TuMV ile tek başına veya CaMV ile karışık enfeksiyon halinde inokule edilmesinin, pazarlanabilir lahana başlarının sayısını ve ağırlığını önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Virüsler aynı anda inokule edildiğinde, lahana başlarının %25'i pazarlanamaz hale gelmiş ve kontrol ile karşılaştırıldığında baş ağırlığında 20 kat verim kaybına neden olduğu gösterilmiştir. Kenya da yapılan bir çalışmada TuMV'nin tek başına ve CaMV ile birlikte uygulanmasının, kontrole kıyasla lahana verimini yaklaşık %40 oranında azaltığı tespit edilmiştir. Ekonomik açıdan ise önemli kayıplara sebep olduğu saptanmıştır [15]. Yürütülmüş olan bu çalışmada da 21 beyaz baş lahana ıslah hatlarında baş ağırlıkları bakımında önemli kayıplara sebep olduğu bulunmuştur. Hatların baş ağırlıkları açısından kayıpları incelendiğinde hatların; YBB36-2(%83.2), P95(%81.2), W13(%76.9), P94(%75.2), P68(%75.1), X1(%71.8), P88(%71.2), 508(%70.6), M155(%68.1), P33(%68.1), 183(%67), P19-4(%64.9), HB5-2(%63.5) YBB37(%61.1), Z145-3-2(%53.6), BY27-2(%56.8), YBB35(%43.8), 22/1(%38.9) şeklinde olduğu belirlenmiştir. Hatlardaki ortalama baş ağırlığı kaybı ise %68.1 oranında gerçekleşmiştir.

CaMV ve TuMV+CaMV kombinasyon şeklinde araziye dikilmeden inokule edilen beyaz baş lahana bitkileri için kaydedilen verim kayıpları araziye dikildikten sonra inokule edilen bitkilerden (%63-76), ilk dönemlerinde inokule edilen bitkilerdeki verim kayıpları (%23-34) önemli ölçüde daha yüksek olduğu bulunmuştur [14]. Bu çalışmada ise inokulasyon işlemi araziye şaşırtılmadan önce yapılmış, hatların baş ağırlığındaki dekara baş ağırlık kayıpları %68.3 olarak bulunmuştur. TuMV ile enfekteli bitkilerden pazarlanabilir lahanaların ortalama baş ağırlığı, sağlıklı bitkilerden daha az olduğu tespit edilmiştir [23]. Tamamen bulaşık alanlarda ise verim kayıpları %100 olabilmektedir [24]. Bu çalışmada baş sayısındaki kayıpların ortalama değeri %54 olarak saptanmıştır.

V. SONUÇ

Brassicaceae familyasına bağlı bitkilerde tek başına ya da birlikte zarar yapan pek çok hastalık, zararlı ve yabancı ot bulunmaktadır. Bu hastalık ve zararlılar üretim miktarını azaltmakta, kaliteyi ve ürünlerin pazar değerini düşürmektedir. Önemli viral hastalık etmenleri arasında yer alan TuMV, yüksek derecede genetik çeşitliliğe ve populasyon yapısına sahiptir. Bu nedenle konukçularda farklı tipte enfeksiyonlara, belirtilere ve kayıplara neden olabilmektedir.

Bu çalışmada, beyaz baş lahana ıslah hatlarında TuMV'nin oluşturduğu belirtiler ve bazı morfolojik parametrelerine virüsün etkisi incelenmiştir. İncelenen 21 materyalin 17 tanesinde şiddetli belirtiler görülmüş, hasat sonu önemli derecede olumsuz etkilenmiş ve bu hatların virüse karşı oldukça hassas olduğu değerlendirilmiştir. 4 tanesine (HB5-2, YBB35, W13, YBB37) ait lahana bitkileri ise virüsten diğerlerine göre daha az etkilenmiştir.

Ölçülen tüm morfolojik parametrelerde önemli oranda azalmaların olduğu belirlenmiştir. Baş ağırlığındaki azalmaların 15 lahana ıslah hattında %50'nin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Virüs lahana bitkilerinde ekonomik açıdan önemli kayıplara neden olmuştur. Bitkisel ürünlerde ağırlık ve miktar yanında pazar değeri kaybı da oldukça önemli bir sorun teşkil etmektedir. Baş lahanalarda baş üzerinde oluşan nekrotik lekelerde ürünün pazar değerini düşürdüğü belirlenmiştir. TuMV 14 lahana ıslah hattında baş sayılarında azalmalara neden olmuştur. Üç lahana hattında baş oluşumu gerçekleşmemiş ve dört hatta ise baş sayısı bakımından azalma görülmemiştir.

Beyaz baş lahana morfolojik ve verim parametrelerine virüsün etkisinin belirlenmesine yönelik bir çalışma olması ve kullanılan hatların yeni çeşit denemelerinde kullanılma potansiyeli açısından bu çalışma önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR: Arazi çalışmalarında desteklerinden dolayı, Ziraat Yüksek Mühendisi Hayati Kar, Dr. Mehtap Özbakır Özer, Dr. Şenay Murat Doğru'ya teşekkür ederim.

VI. KAYNAKLAR

- [1] FAOSTAT, (2016). [Online]. Available: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- [2] A. Balkaya, Ş. Sarıbaş ve T. Özgen, "Türkiye'de kışlık sebze türlerinin tarımsal üretimdeki yeri ve önemi," *Türktob Dergisi*, c. 5, s. 20, ss. 8-12, 2017.
- [3] E. Martin, B. Güler, B. Karabulut ve A. Özdemir, "Türkiye'de yetişen *Cheiranthus cheiri* L. (Brassicaceae) türünün karyotip analizi," *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 13-16, 2009.
- [4] A. Balkaya and R. Yanmaz, "Promising kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) populations from Black Sea region, Turkey," *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, vol. 33, no. 1, pp. 1-7, 2005.
- [5] I. A. Al-Shehbaz, M. A. Beilstein and E. A. Kellogg, "Systematics and phylogeny of the Brassicaceae (Cruciferae): an overview," *Plant Systematics and Evolution*, vol. 259, no. 2-4, pp. 89-120, 2006.
- [6] A. Balkaya, R. Yanmaz, A. Apaydin and H. Kar, "Morphological characterization of white head cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* subvar. *alba*) genotypes in Turkey," *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, vol. 33, no. 4, pp. 333-341, 2005.

- [7] TÜİK, [Online] Available: <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>, 2018.
- [8] A. F. Raybould, L. C. Maskell, M. L. Edwards, J. I. Cooper and A. J. Gray, "The prevalence and spatial distribution of viruses in natural populations of *Brassica oleracea*," *New Phytologist*, vol. 141, no. 2, pp. 265-275, 1999.
- [9] R. L. Rusholme, E.E. Higgins, J.A. Walsh and D.J. Lydiate, "Genetic control of broad-spectrum resistance to Turnip mosaic virus in *Brassica rapa* (Chinese cabbage)," *Journal of General Virology*, vol. 88, no. 11, pp. 3177-3186, 2007.
- [10] S. Adachi, T. Honma, R. Yasaka, K. Ohshima and M. Tokuda, "Effects of infection by *Turnip mosaic virus* on the population growth of generalist and specialist aphid vectors on turnip plants," *Plos One*, vol. 13, no. 7, pp. e0200784, 2018.
- [11] S. A. Bonos, B. B. Clarke and W. A. Meyer, "Breeding for disease resistance in the major cool-season turf grasses," *Annual Review of Phytopathology*, vol. 44, pp. 213-34, 2006.
- [12] K. Ohshima, Y. Yamaguchi, R. Hirota, T. Hamamoto, K. Tomimura, Z. Y. Tan, T. Sano, F. Azuhata, J. A. Walsh, J. Fletcher, J. S. Chen, A. Gera and A. Gibbs, "Molecular evolution of *Turnip mosaic virus*: evidence of host adaptation, genetic recombination and geographical spread," *Journal of General Virology*, vol. 83, no. 6, pp. 1511-21, 2002.
- [13] J. A. Walsh and C. E. Jenner, "*Turnip mosaic virus* and the quest for durable resistance," *Molecular Plant Pathology*, vol. 3, no. 5, pp. 289-300, 2002.
- [14] P. J. Hunter, J. E. Jones and J. A. Walsh, "Involvement of *Beet western yellows virus*, *Cauliflower mosaic virus* and *Turnip mosaic virus* in internal disorders of stored white cabbage," *Phytopathology*, vol. 92, no. 8, pp. 816-826, 2002.
- [15] N. J. Spence, N. A. Phiri, S. L. Hughes, A. Mwaniki, S. Simons, G. Oduor, D. Chacha, A. Kuria, S. Ndirangu, G. N. Kibata and G. C. Marris, "Economic impact of *Turnip mosaic virus*, *Cauliflower mosaic virus* and *Beet mosaic virus* in three Kenyan vegetables," *Plant Pathology*, vol. 56, no. 2, pp. 317-323, 2007.
- [16] M. A. Sevik, "Viruses infecting brassica crops in the Black Sea region of Turkey," *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, vol. 66, no. 7, pp. 553-557, 2016.
- [17] R. Yasaka, H. Fukagawa, M. Ikematsu, H. Soda, S. Korkmaz, A. Golnaraghi, N. Katis, S. Y. W. Ho, A. J. Gibbs and K. Ohshima, "The timescale of emergence and spread of *Turnip mosaic potyvirus*," *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, pp. 1-14, 2017.
- [18] R. Provvidenti and R. O. Hampton, "Sources of resistance to viruses in the Potyviridae," In *Potyvirus Taxonomy*, Springer, Vienna, Austria, 992, pp. 189-211.
- [19] K. Gladysz and E. H. Fajerska, "Evaluation of the infectivity of selected *Turnip mosaic virus* isolates towards white cabbage cultivars," *Folia Horticulturae*, vol. 21, no. 1, pp. 129-138, 2009.
- [20] S. Korkmaz ve B. Çevik, "Ülkemiz şalgam mozaik virüs izolatlarının tanılanması ve moleküler karakterizasyonu," *Türkiye III. Bitki Koruma Kongresi*, Van, Türkiye, 15-18 Temmuz 2009, pp.141-141.
- [21] S. Korkmaz, S. Onder, Y. Tomitaka and K. Ohshima, "First report of *Turnip mosaic virus* on Brassicaceae crops in Turkey," *Plant Pathology*, vol. 56, no. 4, pp. 719, 2007.

- [22] A. Karanfil ve S. Korkmaz, "Çanakkale ili kanola (*Brassica napus* L.) üretim alanlarında Şalgam mozaik virüsü (TuMV) enfeksiyonunun tanılanması ve karakterizasyonu," *Bitki Koruma Bülteni*, c. 56, s. 2, ss. 185-197, 2016.
- [23] D. G. A. Walkey and M. J. W. Webb, "Internal necrosis in stored white cabbage caused by *Turnip mosaic virus*," *Annals of Applied Biology*, vol 89, pp. 435-41, 1978.
- [24] S. F. Hwang, T. Cao, Q. Xiao, H. U. Ahmed, V. P. Manolii, G. D. Turnbull, B. D. Gossen, G. Peng and S. E. Strelkov, "Effects of fungicide, seeding date and seedling age on clubroot severity, seedling emergence and yield of canola," *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 92, no. 6, pp. 1175-1186, 2012.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Manyetik Aktif Karbon Modifiyeli Bitümün Kompleks Modül Değerlerinin Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini

 Ahmet Münir ÖZDEMİR ^a,  Bahadır YILMAZ ^{a,*},  Nurten AKGÜN TANBAY ^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bahadir.yilmaz@btu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.919452

ÖZ

Bu çalışmada Manyetik Aktif Karbon (MAK) ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcının reolojik özellikleri araştırılmış ve sonuçlar yapay sinir ağları ile tahmin edilmiştir. Çalışma kapsamında B160/220 penetrasyon sınıfı bitümlü bağlayıcıya %5, %10 ve %15 oranlarında MAK ilave edilerek modifiye bitümler elde edilmiş, ardından bitümler üzerinde Dinamik Kayma Reometresi (DSR) cihazı ile on farklı frekansta (0.01-10Hz) ve dört farklı sıcaklıkta (40°,50°,60°,70°C) frekans taraması testi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, MAK ilavesinin kompleks modül değerlerini artırıp, faz açısı değerlerini azaltarak bitümlü bağlayıcının elastik özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir. Daha sonra frekans, katkı oranı ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişen kompleks modül ve faz açısı değerleri yapay sinir ağları yöntemi ile tahmin edilmiştir. Sonuçlar, kompleks modül ve faz açısı değerlerinin oldukça yüksek doğrulukta düşük hata ile elde edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Bitüm, Reoloji, Manyetik aktif karbon, Modifikasyon, Yapay sinir ağları

Predicting The Complex Modulus of Magnetic Activated Carbon Modified Bitumen Using Artificial Neural Networks

ABSTRACT

In this study, the rheological properties of the bitumen modified with Magnetic Activated Carbon (MAC) were investigated and the results were predicted with artificial neural networks. Within the scope of the study, modified bitumens were obtained by adding 5%, 10% and 15% MAC to the B160/220 penetration grade bituminous binder. Then, a frequency sweep test at ten different frequencies (0.01-10Hz) and four different temperatures (40 °, 50 °, 60 °, 70 ° C) was carried out on original and modified bitumens with the Dynamic Shear Rheometer (DSR) device. The results showed that the addition of magnetic activated carbon improves the elastic properties of the binder by increasing the complex modulus and decreasing the phase angle values. Then, complex modulus and phase angle values, which vary depending on the frequency, addition content and temperature value, were predicted by artificial neural networks. The results showed that complex modulus and phase angle values of the bitumen can be obtained with very high accuracy and low error with artificial neural networks.

Keywords: Bitumen, Rheology, Magnetic activated carbon, Modification, Artificial neural networks

I. GİRİŞ

Bağlayıcı malzeme olarak bitüm ve iskelet yapısını oluşturmak üzere agregalardan meydana gelen bitümlü sıcak karışımlar (BSK), artan trafik yükleri, sıcaklık değişimleri, çevresel etkiler ve tasarım eksiklikleri gibi sebeplerden dolayı zamanla bozulmaya uğramaktadırlar [1]. Başlıca bozulmalardan yorulma çatlakları aşırı yüklemeler veya temel tabakalarının eksikliklerinden kaynaklanmakta; termal çatlaklar, aşırı ve düzensiz sıcaklık değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Tekerlek izi ise karışım tasarımı aşamasındaki hatalardan, bağlayıcı malzemedeki eksikliklerden veya aşınma tabakasında normalden fazla meydana gelen plastik deformasyondan dolayı oluşurlar. Bu nedenle, tekerlek izi oluşumu bağlayıcı özellikleri ile doğrudan ilgilidir [2]. Bitümlü bağlayıcıların tekerlek izine karşı dayanımlarını artırmak amacıyla çeşitli katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Yaygın olarak polimer malzemeler [3], [4], karbon siyahı [5], kauçuk, organik atıklar [6], [7], lifler vb. katkı malzemeleri tercih edilmektedir. Kimyasal yapısı itibarıyla oldukça karmaşık bir madde olan bitüm, ağırlıkça %90-98 oranında hidrokarbon içermektedir. Bu sebeple, kullanılan katkı malzemesi karbon içerikli olduğunda katkı malzemesi ile bitümlü bağlayıcı arasında kuvvetli etkileşimler sağlanmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda karbon içerikli katkı malzemelerinin kullanımı ile bitümlü bağlayıcıların ve BSK'ların fiziksel [8], iletkenlik [9], [10] termal, mekanik [11], [12] ve reolojik [13], [14] özelliklerinin iyileştiği görülmüştür.

Aktif karbon, gıda, metal ve savunma sanayi gibi çeşitli endüstriyel alanlarda özellikle kirlilik giderimi ve arıtımı gibi adsorban madde ihtiyacı olan yerlerde kullanılmaktadır [15]. Ayrıca aktif karbon, kömür, odun, meyve çekirdekleri, kabukları ve atık organik maddeler kullanılarak düşük maliyetle elde edilmektedir [16]–[19]. Piroliz, diğer bir deyişle karbonizasyon, yüksek sıcaklıklarda meydana gelen termo-kimyasal bozulmadır ve bu bozulma sonucunda maddenin üç halinde de (katı-sıvı-gaz) ürünler elde edilebilmektedir. Piroliz yöntemiyle üretilen sıvı ürünlere biyoyağ (bio-oil), katı ürünlere de biyokömür (bio-char) denilmektedir [6], [20]. Biyokömlere uygulanan bazı işlemler sonucunda aktif karbon elde edilebilmektedir. Son zamanlarda araştırmacılar tarafından biyokömür ve aktif karbonun bitümlü bağlayıcıların ve BSK'ların çeşitli özelliklerini geliştirmek amacıyla katkı malzemesi olarak kullanımı ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Zhang ve ekibi yapmış oldukları çalışmada bitümlü bağlayıcıya iki farklı partikül boyutuna sahip biyokömür katkı malzemesini üç farklı oranda (%2, %4 ve %8) ilave etmiştir. Deney sonucunda biyokömür ilavesinin bitümlü bağlayıcıların viskozite değerlerini yükseltip, düşük sıcaklıklarda çatlak oluşumuna karşı gösterdikleri direnci artırdığı sonucuna varmıştır [21]. Bir başka çalışmada piroliz işlemi sonucu elde edilen biyokömür bitümlü bağlayıcıya ilave edilmiş ve bağlayıcılar üzerinde dönel viskozimetre ve çeşitli DSR deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre, biyokömür ilavesi bitümlü bağlayıcıların viskozite değerlerini ve tekerlek izi dayanım parametrelerini artırmıştır [22]. Seyrek ve ekibi yaptıkları araştırmada tarım atıklarından elde ettikleri aktif karbonu bitümlü bağlayıcılarda katkı malzemesi olarak kullanmış ve katkılı bitüm ile elde edilen BSK'ların Marshall stabilite, rijitlik ve yorulmaya karşı direnç değerlerinin geliştiği belirlenmiştir [20].

Son yıllarda bitümlü bağlayıcılar ve karışımlar üzerinde uygulanan deneylerin sonuçlarının tahmininde [23]–[26], karışım dizayn metodlarının ve çeşitli hesaplama yöntemlerinin optimizasyonunda [27], [28], görüntü işleme ile çatlak oluşumlarının, bozulmaların ve karışımın davranışlarının saptanmasında [29]–[31] ve bunun gibi çeşitli alanlarda yapay zeka yöntemleri kullanılmaktadır. Yapay zeka yöntemleri arasında hızlı sonuç alma, kullanım kolaylığı gibi sebeplerden dolayı Yapay Sinir Ağları (YSA) çokça tercih edilmektedir. Kök ve ekibi yaptıkları çalışmada YSA kullanarak farklı şartlarda Stiren – Butadien – Stiren (SBS) ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcıların kompleks modül değerlerini yüksek doğrulukla elde etmişlerdir [32]. Özşahin ve Oruç, yapay sinir ağlarını kullanarak emülsifiye bitümün esneklik modülünü deneysel verilerle yüksek benzerlik elde ederek tahmin etmiştir. Saltan ve Terzi yaptıkları çalışmada kaplama tabaka kalınlığına göre, kaplamada meydana gelen defleksiyon miktarını yapay sinir ağları kullanarak tahmin etmişlerdir [33]. Yapılan farklı çalışmalarda araştırmacılar YSA kullanarak bitümlü bağlayıcıların ve BSK'ların farklı özelliklerini

(dinamik modül [34], viskozite [35], tekerlek izi derinliği [36], rijitlik [37], Marshall stabilite [38]) elde etmişlerdir.

Bu çalışmada şeker üretimi sonucu açığa çıkan bir çeşit tarımsal atık olan şlempe-cibreden elde edilen aktif karbon kullanılarak, kimyasal çöktürme ve hidrotermal yöntem ile MAK sentezlenmiş ve bitümlü bağlayıcılara üç farklı oranda (%5, %10, %15) ilave edilmiştir. Daha sonra DSR cihazı ile dört farklı sıcaklıkta (40, 50, 60, 70°C) ve 0.01-10 Hz aralığında frekans taraması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar oluşturulan farklı YSA modelleri ile tahmin edilerek model performansları karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

A.1. Manyetik Aktif Karbon (MAK)

Çalışma kapsamında şlempe-cibreden hazırlanmış aktif karbon kullanılarak kimyasal çöktürme ve hidrotermal yöntem ile MAK elde edilmiştir. Katkı malzemesi olarak kullanılan MAK'ın görüntüsü Şekil 1'de, özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Katkı maddesi MAK'ın görüntüsü.

Tablo 1. MAK'ın özellikleri.

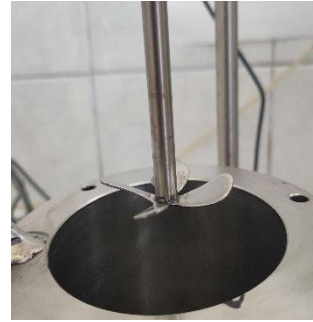
Özellik	Değer
Görünür yoğunluk (g/cm³)	1.2814
Gerçek yoğunluk (g/cm³)	2.52245
BET yüzey alanı (Mikro+Mezo)(m²/g)	310.9
Mikroporyüzey alanı (m²/g)	210.1
Mikroporhacmi (cm³/g)	0.2957
Porçapı (Å)	24.9
Partikülboyutu [Ağırlıklıortalama(D[4,3]), µm]	11.552

A.2. Bitümlü Bağlayıcı ve Modifiye İşlemi

160/220 penetrasyon sınıfına sahip bitümlü bağlayıcı TÜPRAŞ Batman rafinerisinden temin edilmiştir. Bağlayıcının fiziksel özellikleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Saf bağlayıcıya %5, %10 ve %15 olmak üzere üç farklı oranda MAK ilave edilerek, 1000 devir/dk hızda 180°C sabit sıcaklıkta 1 saat karıştırılıp modifiye bitümler elde edilmiştir. Modifiye mikseri ve modifiye işleminde kullanılan 4 bıçaklı pervane Şekil 2’de gösterilmiştir. Modifiye işlemi sonrası hazırlanan ve beherlere aktarılan saf ve MAK modifiyeli bitümlü bağlayıcı numuneleri Şekil 3’te gösterilmiştir.

Tablo 2. Bitümlü bağlayıcının fiziksel özellikleri.

Özellikler	Değer	Şartname
Penetrasyon (25°C, dmm)	176.7	ASTM D-5
Yumuşama Noktası (°C)	43.7	ASTM D-36
Düktilite (25°C, cm)	100+	ASTM D-113
Parlama Noktası (°C)	223	ASTM D-92
Özgül ağırlık (25°C, g/cm ³)	1.018	ASTM D-70
Viskozite (135°C, cP)	275	ASTM D-4402
Viskozite (165°C, cP)	100	ASTM D-4402



Şekil 2. Modifiye Mikseri ve 4 bıçaklı pervane.

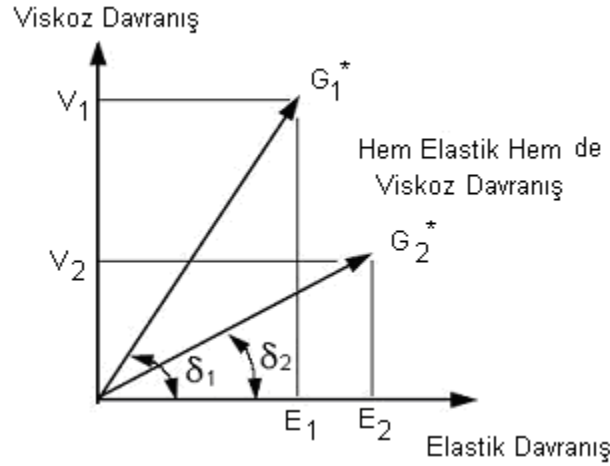


Şekil 3. Hazırlanan MAK modifiyeli bitümlü bağlayıcılar.

B. METOT

B.1. Dinamik Kayma Reometresi (DSR) Deneyi (AASHTO TP5)

DSR deneyi, asfalt çimentosunun kompleks kayma modülü (G^*) ve faz açısı (δ) değerlerini belirlemek amacıyla yapılmakta ve bitümlü bağlayıcının elastik tepkilerini belirlemektedir. G^* , bitümlü bağlayıcıda meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri sebebiyle oluşan deformasyonlara karşı bağlayıcının gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Kompleks kayma modülü, elastik modül (G') ve viskoz (G'') olmak üzere iki kısım ile tanımlanır [39]. Bu kısımlar G^* ve δ değerleriyle ilişkilidir. Faz açısı, uygulanan gerilme ile meydana gelen deformasyon arasındaki zaman farkına eşittir. Faz açısı 0° iken malzemenin davranışının tamamen elastik, 90° iken tamamen viskoz olduğu kabul edilmektedir [40] (Şekil 4).



Şekil 4. Bitümün viskoelastik özelliği [40].

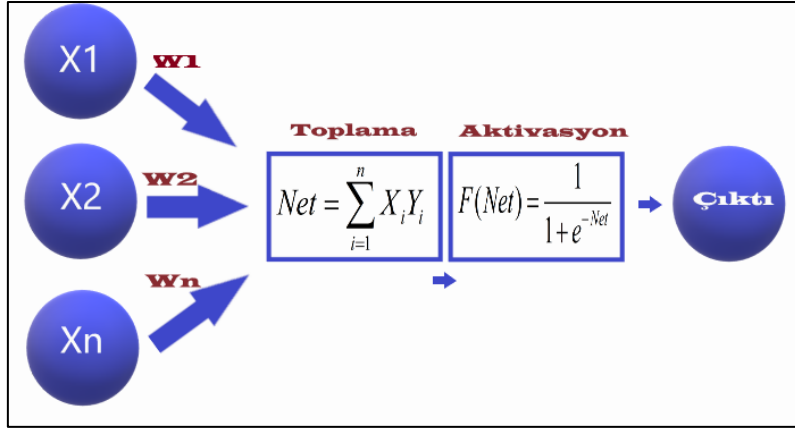
Frekans taraması testi asfalt kaplama üzerinde seyreden bir aracın hızını simüle edebilmektedir. 10 Hz'lik yükleme frekansı 60 km/saat'lik hıza tekabül ederken, 15 Hz'lik yükleme frekansı 90 km/saat hıza karşılık gelmektedir. Kompleks modül ve faz açısı değerleri sıcaklık ve frekans ile önemli ölçüde değişmektedir [41].

Bu çalışmada bitümlü bağlayıcılar üzerinde 40°C , 50°C , 60°C ve 70°C sıcaklıklarda, 0.01-10Hz aralığında DSR cihazı ile frekans taraması testi uygulanmıştır. Numune geometrisi 25mm çapta ve 1mm yükseklikte olacak şekilde belirlenmiştir.

B.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

YSA insan beyninin çalışma prensiplerinden esinlenerek oluşturulan hücrelerden ibaret olup, kendilerine verilen bilgiler ile öğrenme amacıyla programlanabilen yapılardır. YSA'da insandaki sinir hücrelerine benzeyen yapılar (nöronlar) mevcuttur [42]. YSA çözülmesi gereken problem için mevcut verilerden bilgileri alır, öğrenir ve bu öğreneyi kullanarak çözüm üretip tahminde bulunur [43].

Bir YSA yapısında girdiler (X_1, X_2, X_3, \dots), ağırlıklar (W_1, W_2, W_3, \dots), birleştirme (toplama) fonksiyonu, aktivasyon (transfer) fonksiyonu ve çıktı (Y) olmak üzere beş bölüm mevcuttur. Girdiler, nöronlara ağırlıklar ile birlikte girmekte, birleştirme fonksiyonundan geçirilerek aktivasyon fonksiyonuna aktarılmaktadır. Daha sonra hücre çıktı değerleri hesaplanır [44]. YSA hücresinin genel yapısı Şekil 5'te sunulmuştur. Tüm yapay sinir ağı modelleri için aynı fonksiyonların kullanılma zorunluluğu yoktur. Bu çalışmada aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid (Logsig) Fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 5). Sigmoid fonksiyonunun tercih edilmesinin sebebi, fonksiyonun 0 ile 1 arasında olması ve bu nedenle özellikle çıktı olarak tahminlerde bulunmayı sağlamasıdır.



Şekil 5. YSA yapısı.

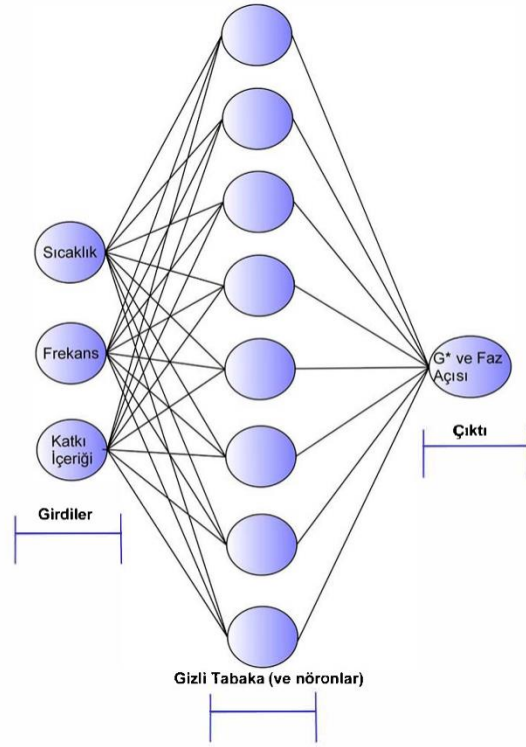
YSA'nın en ideal biçimde çalışması ve sonuç verebilmesi için eğitilmesi gerekmektedir. Eğitim işlemi için uygun algoritmaların seçilmesi önem arz etmektedir [44]. Bu çalışmada YSA'lar MATLAB ortamında çalıştırılmış ve Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian Regularization (BR) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) olmak üzere üç farklı eğitim algoritması tercih edilmiştir.

LM temelinde en küçük kareler yöntemi yardımıyla hesaplama yöntemidir. Bu algoritma Gauss-Newton ve gradient-descent algoritmalarının en başarılı özelliklerine sahiptir. Bu eğitim algoritmasında yavaş yakınsama problemleri yaşanmaz. Oldukça hızlı bir algoritmadır [45], [46].

Matlab kodu "trainbr" olan BR eğitim algoritması, ağırlık değerlerini LM optimizasyonuna göre günceller. Ağırlık değerlerindeki dengesizlikleri düzenler ve büyük ağırlıkların çıktıyı etkilemesini engeller. Hataları ve ağırlık kombinasyonunu en aza indirir ve daha sonra iyi bir şekilde genelleştiren bir ağ oluşturmak için doğru kombinasyonu belirler. Bu süreç Bayesian Düzenleme olarak isimlendirilmektedir [44], [47].

Standart geri yayılım algoritmalar, büyük ölçekli problemlerde iyi performans gösterememektedir. Bu sebeple danışmanlı algoritmalar geliştirilmiştir ve bunlardan biri de SCG eğitim algoritmasıdır [48].

Veri setinin %70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i ise test amacıyla kullanılmak üzere ayrılmıştır. Eğitime başlarken YSA katmanlarında kaç adet nöron bulunması gerektiği çeşitli hesaplarla bulunabileceği gibi deneme yanılma yolu ile istenilen performans değerleri elde edilene kadar denenerek bulunabilmektedir. Bu sebeple en yüksek doğruluğu en düşük hata oranı ile elde etmek amacıyla her bir algoritma için üç farklı nöron sayısı (8, 10, 12) model tekrar denenmiştir. Kurulan YSA modellerinin isimleri ve nitelikleri Tablo 3'te verilmiştir. Aynı modeller hem G* hem de faz açısı değerleri için ayrı ayrı çalıştırılarak tahminler elde edilmiştir. Çalışmada kompleks modül ve faz açısı değerlerini tahmin etmek için kullanılan YSA mimarilerinden biri (sekiz nöronlu) Şekil 6'te verilmiştir.



Şekil 6. YSA mimarisi.

Tablo 3. Kurulan YSA modellerinin isimleri ve nitelikleri.

YSA Modeli	Niteliği
LM8	Eğitim Algoritması: Levenberg-Marquardt Nöron Sayısı: 8
LM10	Eğitim Algoritması: Levenberg-Marquardt Nöron Sayısı: 10
LM12	Eğitim Algoritması: Levenberg-Marquardt Nöron Sayısı: 12
BR8	Eğitim Algoritması: Bayesian Regularization Nöron Sayısı: 8

Tablo 3 (devam). Kurulan YSA modellerinin isimleri ve nitelikleri.

BR10	Eğitim Algoritması: Bayesian Regularization Nöron Sayısı: 10
BR12	Eğitim Algoritması: Bayesian Regularization Nöron Sayısı: 12
SCG8	Eğitim Algoritması: Scaled Conjugate Gradient Nöron Sayısı: 8
SCG10	Eğitim Algoritması: Scaled Conjugate Gradient Nöron Sayısı: 10
SCG12	Eğitim Algoritması: Scaled Conjugate Gradient Nöron Sayısı: 12

Model performansını ve hataları değerlendirmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Oluşturulan YSA modelinin hata oranının kabul edilebilir seviyede olması gerekmektedir. Bu çalışmada Belirleme Katsayısı (R^2), Ortalama Hata Kareleri (Mean Square Error-MSE) ve Ortalama Hata Kareleri Karekökü (Root Mean Square Error-RMSE) olmak üzere üç istatistiksel metot tercih edilmiştir.

$Y^{deneyse}$ = Gerçek, deneysel veriler,

Y^{tahmin} = Tahmin edilen veriler ve n deneysel veri sayısı olmak üzere:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{tahmin} - Y_i^{deneyse})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{deneyse})^2} \quad (1)$$

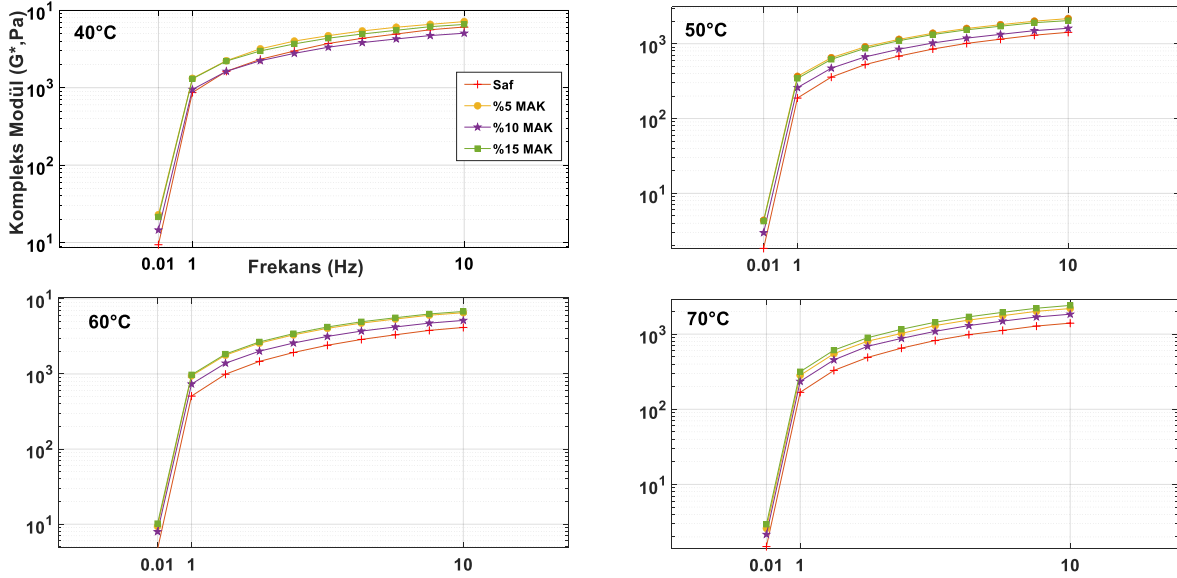
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i^{tahmin} - Y_i^{deneyse})^2}{n} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i^{tahmin} - Y_i^{deneyse})^2}{n}} \quad (3)$$

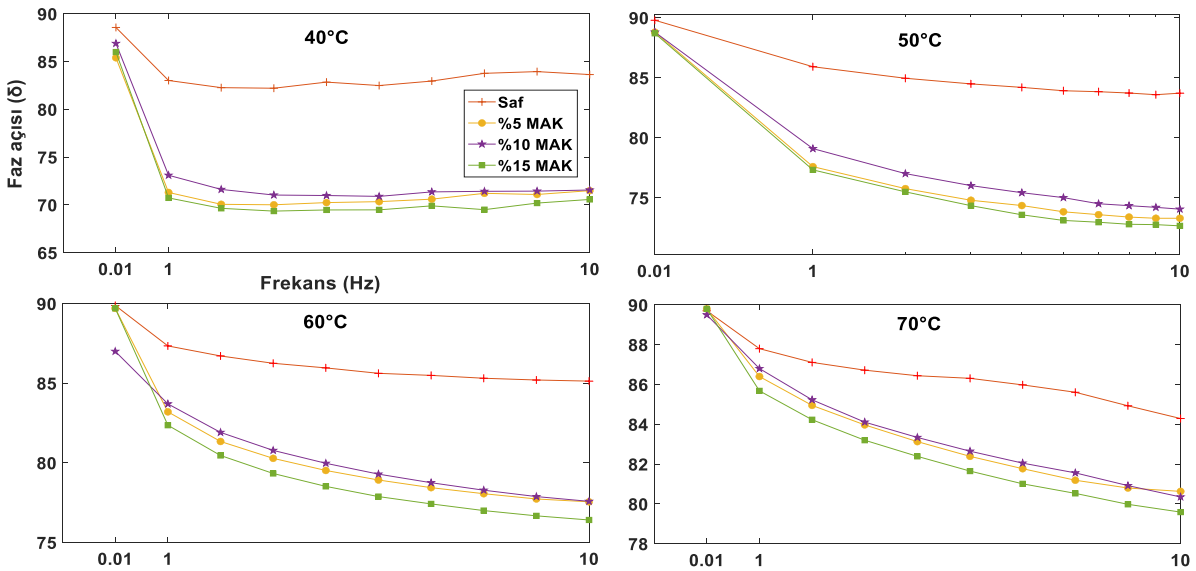
III. BULGULAR

A.1. DSR Sonuçları

Dört farklı sıcaklıkta, 0.01-10 Hz aralığında gerçekleştirilen frekans tarama testi sonucu elde edilen kompleks modül (G^*) değerleri Şekil 7’de, faz açısı (δ) değerleri Şekil 8’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde artan frekans ile birlikte G^* değerleri tüm bağlayıcı numuneleri için artmıştır. Katkı oranı arttıkça G^* değerleri saf bağlayıcıya göre artış göstermiştir.



Şekil 7. Kompleks modül (G^*) değerleri.



Şekil 8. Faz açısı (δ) değerleri.

Katkı oranının ve frekansın artmasıyla tüm bağlayıcı numunelerinde tekerlek izi dayanımlarının arttığı görülmektedir. Faz açısı deney sonuçlarına göre düşük frekanslarda değerler azalırken, frekansın artmasıyla neredeyse sabit kalmıştır. G^* değerlerinin artıp, faz açısı değerlerinin azalması bitümlü bağlayıcının elastik özelliklerinin arttığı anlamına gelmektedir. Aynı frekans değerlerinde farklı sıcaklıklar için kompleks modül değerleri incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla G^* değerlerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin 40°C ve 10Hz frekans altında %10 MAK modifiyeli bitümün G^*

değeri 5610 Pa iken, 70°C’de 1837 Pa’dır. Deney sonuçlarına bağlı olarak üç bağımsız değişken de (sıcaklık, katkı oranı ve frekans) bağımlı değişkenler üzerinde (G^* , δ) etkilidir denebilmektedir.

A.2. YSA Sonuçları

Oluşturulan YSA modellerinin performanslarını değerlendirmek amacıyla elde edilen R^2 , MSE ve RMSE sonuçları Tablo 4 ve 5’te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde Levenberg-Marquart (LM) ve Bayesian Regularization (BR) ile eğitilen YSA modelleri, Scaled Conjugate Gradient (SCG)’ye kıyasla daha düşük hata ile daha yüksek doğrulukta sonuçlar vermiştir. Genel olarak G^* ve faz açısı için oluşturulan YSA modelleri karşılaştırıldığında faz açısını tahmin etmek için kurulan YSA modelleri çok daha az hata ile yüksek doğrulukta değerleri sunmuştur. G^* için oluşturulan YSA modelleri incelendiğinde en küçük R^2 değerini SCG10, en yüksek R^2 değerini ise BR10 modeli sunmuştur. Ancak modellerin RMSE değerlerine bakıldığında en düşük hata değeri LM10 modelinde elde edilmiştir (4.89). G^* değerlerinin ortalama 10^2 ile 10^4 arasında olduğu düşünüldüğünde, RMSE, yani gerçek ile tahmin edilen değerler arasındaki uzaklığın 4.89 olarak elde edilmesi model performansının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

Faz açısı YSA modelleri için en düşük hata oranı ile en yüksek doğruluğu BR10 modeli sunmuştur. Ancak hem faz açısı hem de kompleks modül modelleri birlikte düşünüldüğünde en iyi sonucu LM10 yapay sinir ağı modelinin verdiği kabul edilmiştir. Bu sebeple çalışmanın geri kalanında, YSA’nın diğer sonuçları ve grafiklerinin elde edilmesi LM10 modeli üzerinden hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Tablo 4. G^* değerlerinin tahmini için oluşturulan YSA modellerinin R^2 , MSE ve RMSE sonuçları.

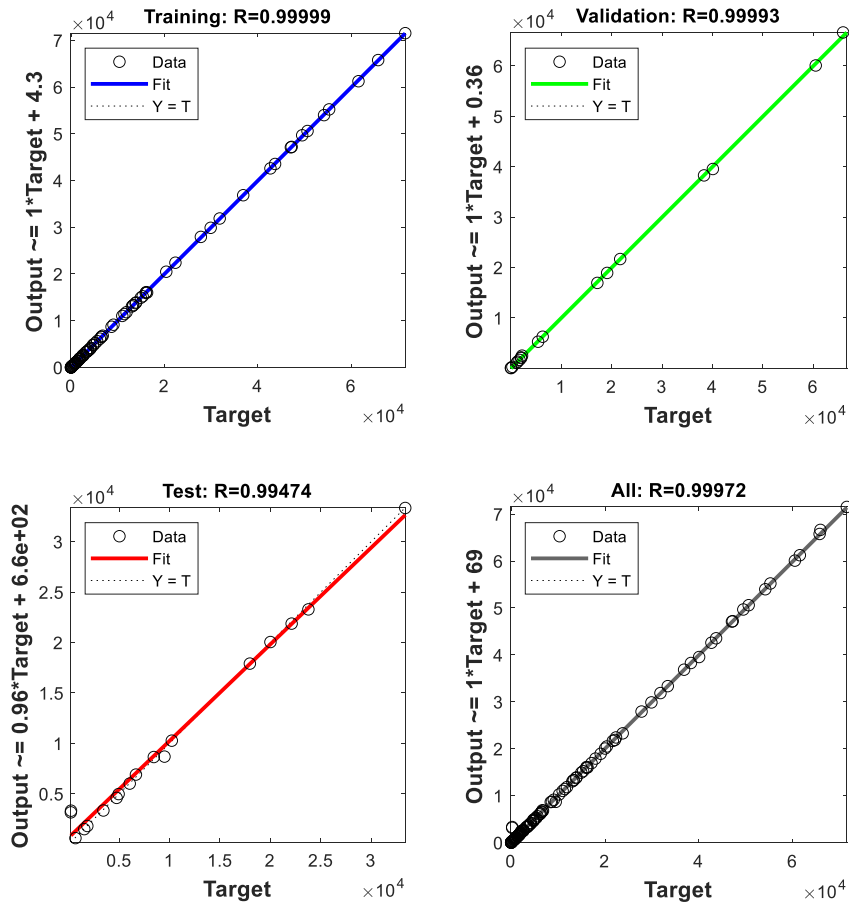
	R2	MSE	RMSE
LM8	0.9976337246	1659.49966	40.73695694
LM10	0.9994338231	23.97301928	4.896225003
LM12	0.9801637864	20024.65153	141.5084857
BR8	0.9999130541	1056.104922	32.49776795
BR10	0.9999332672	1890.23835	43.47687144
BR12	0.9998082399	2576.803007	50.76222027
SCG8	0.971557735	65097.71442	255.1425375
SCG10	0.780974186	176338.5073	419.926788
SCG12	0.9087417068	134668.9298	366.9726553

Tablo 5. Faz açısı değerlerinin tahmini için oluşturulan YSA modellerinin R^2 , MSE ve RMSE sonuçları.

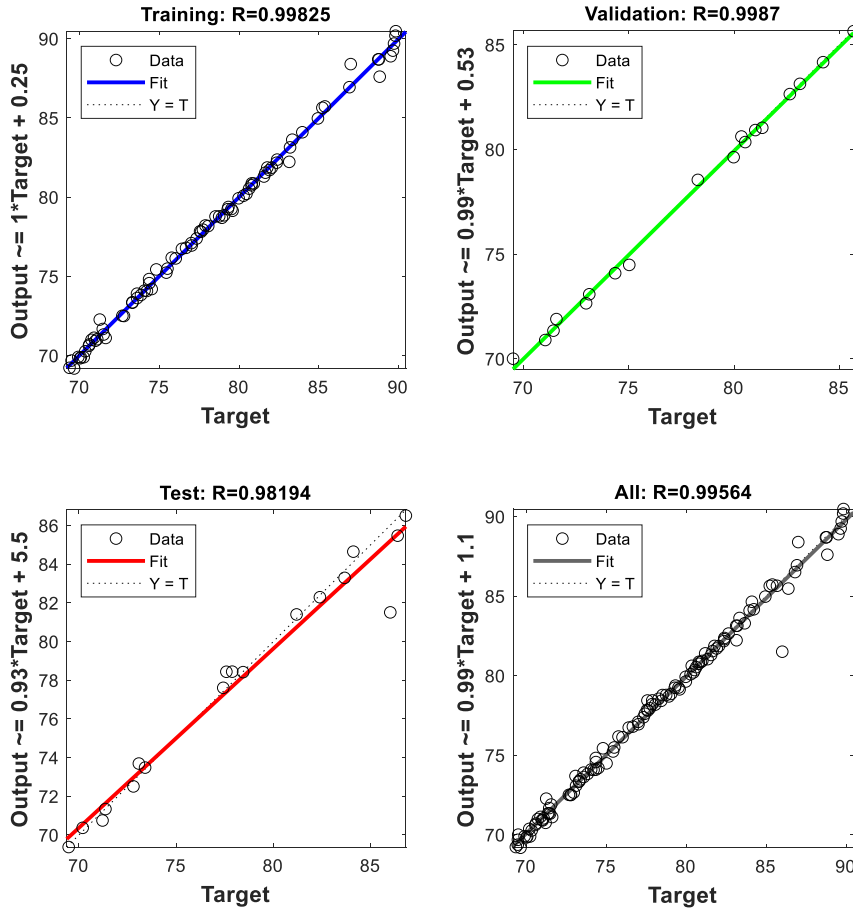
	R2	MSE	RMSE
LM8	0.8096542578	0.06768650716	0.3420823783
LM10	0.9912898514	0.0002959543658	0.0926101036
LM12	0.9347481574	0.0004906809715	0.3275719367
BR8	0.9961247036	0.000006713987187	0.1616246654

SCG8	0.7692484608	0.1253890421	0.4919896999
SCG10	0.7435386795	0.000007350297006	0.1395828437
SCG12	0.9233633162	0.001042320044	0.2194478918
BR10	0.9989713478	0	0.003974277382
BR12	0.9991780125	0.00003006452533	0.0003963019206

On nöron sayısına sahip ve LM eğitim algoritması ile eğitilmiş YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test aşamalarında gösterdiği performansın ölçüsü olarak korelasyon katsayısı (R) değerleri ve grafikleri kompleks modül için Şekil 9'da, faz açısı için Şekil 10'da verilmiştir.

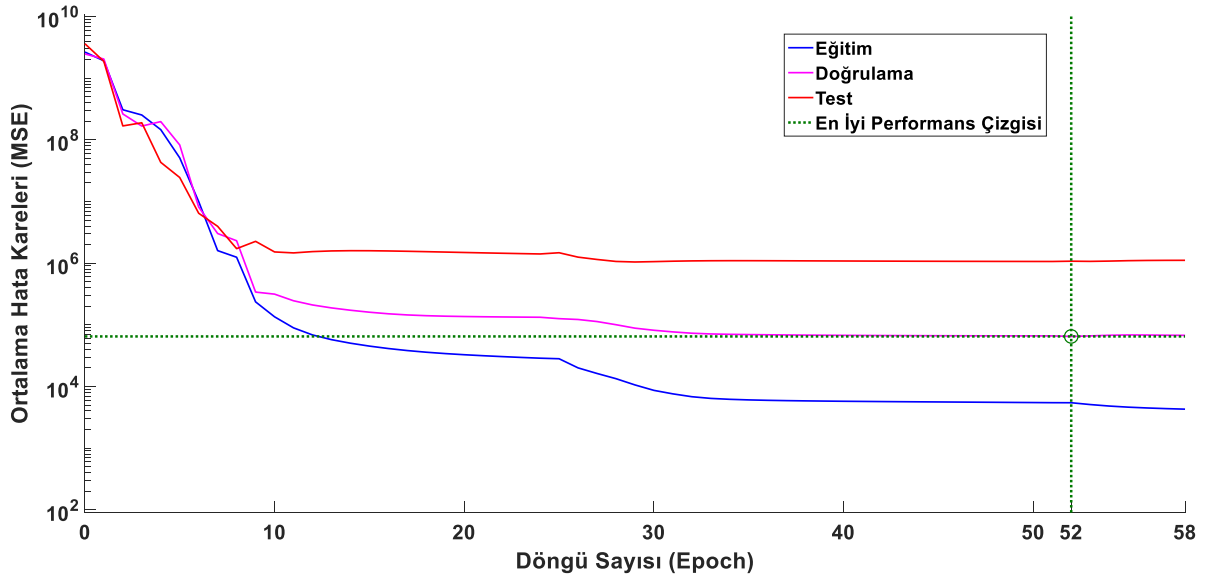


Şekil 9. Kompleks Modül (G^*) için LM10 modelinin R değerleri.



Şekil 10. Faz Açısı için LM10 modelinin R değerleri.

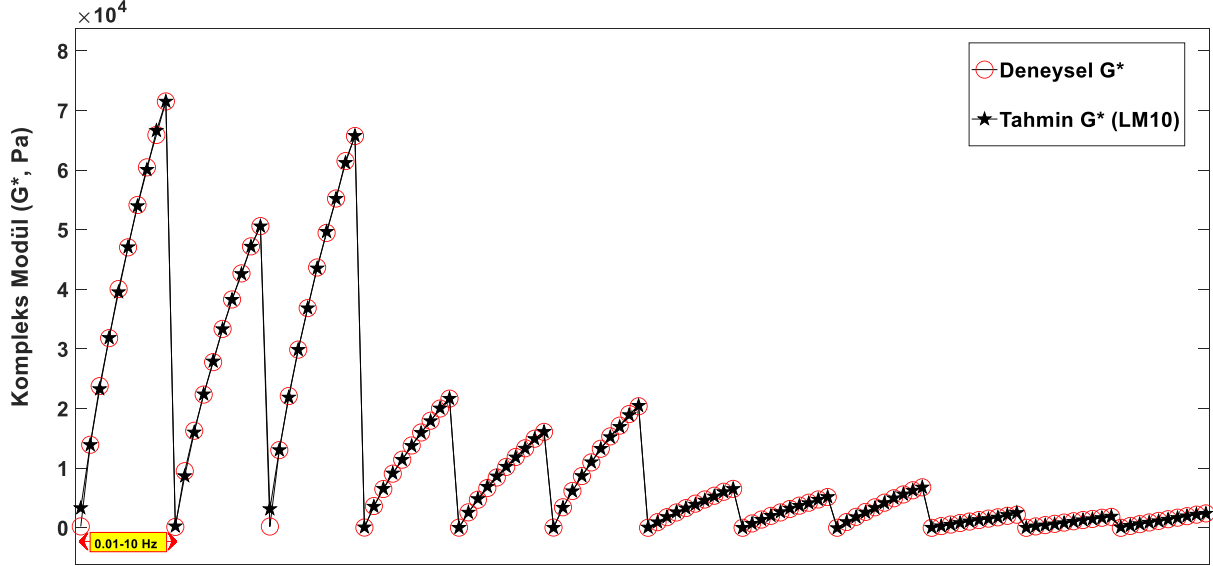
Şekil 9 ve 10 incelendiğinde hem eğitim, hem doğrulama hem de test aşamasında LM10 modelinin oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Tahmin edilen ve gerçek değerler arasındaki ilişki oranı oldukça yüksektir. Şekil 11’de yapay sinir ağının performansı verilmiştir (LM10).



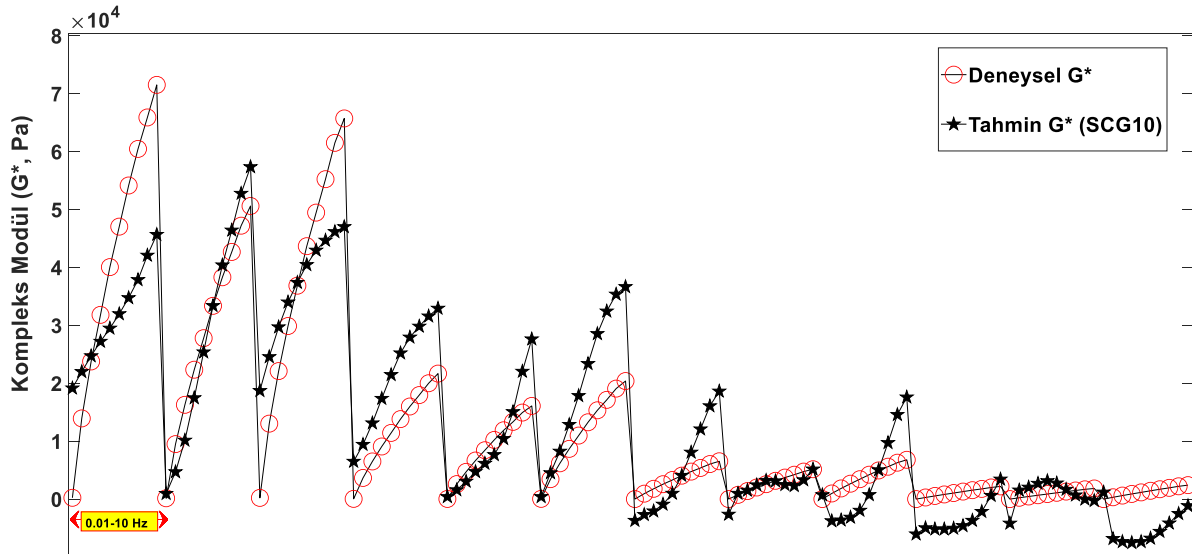
Şekil 11. Yapay sinir ağının performansı.

Eğitim sırasında tüm eğitim verilerinin ağı gösterilme sayısına “epoch (döngü sayısı)” denir. Döngü sayısı arttıkça genellikle hata azalır. Kurulan modelin aşırı uydurmaya (overfitting) maruz kalmaması

için doğrulama veri setindeki hata oranı azalmaya başladığında eğitim durdurulur. En iyi performans, doğrulama veri setindeki en düşük hata oranını veren döngü sayısında temsil edilir. Şekil 11 incelendiğinde kurulan ağda 52 döngüde en iyi performans elde edilmiştir. Şekil 12 ve 13'te en iyi (LM10) ve en kötü (SCG10) performansı gösteren iki yapay sinir ağı ile elde edilen kompleks modül değerleri ile deneysel kompleks modül değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 12. Kompleks modül (G^*) için tahmin edilen ve deneysel değerlerin karşılaştırılması (LM10).



Şekil 13. Kompleks modül (G^*) için tahmin edilen ve deneysel değerlerin karşılaştırılması (SCG10).

Şekil 12'de LM10 YSA modelinin oldukça yüksek doğrulukta sonuçlar vererek başarıyla G^* değerlerini tahmin ettiği, Şekil 13'te ise SCG10 YSA modelinin buna nazaran tahmin performansının düşük olduğu açıkça görülmektedir.

IV. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada saf ve üç farklı oranda Manyetik Aktif Karbon (MAK) ilave edilerek elde edilen modifiye edilmiş bitümler üzerinde DSR cihazı ile dört farklı sıcaklıkta (40, 50, 60, 70°C) ve 0.01-10Hz frekans aralığında frekans taraması testi gerçekleştirilerek reolojik parametreler araştırılmıştır. Daha sonra oluşturulan yapay sinir ağları (YSA) ile bu parametreler elde edilmiştir. Kompleks modül

(G*) değeri sıcaklık ve frekansa bağılı olarak önemli miktarlarda değişmektedir. DSR deney sonuçlarına göre frekansın artması ile tüm bağlayıcı numuneleri için kompleks modül değerleri artmıştır. MAK oranı arttıkça kompleks modül değerlerinin saf bağlayıcıya göre arttığı, aynı zamanda faz açısı değerlerinin ise azalarak bağlayıcının elastik özelliklerinin geliştiği sonucuna varılmıştır. Farklı sıcaklıklarda aynı frekanslarda elde edilen kompleks modül (G*) sonuçlarına göre sıcaklığın artmasıyla G* değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian Regularization (BR) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) eğitim algoritmaları kullanılarak kompleks modül değerleri modellenmiş ve tahmin edilmiştir. En uygun sonuçlar LM eğitim algoritması ile eğitilen yapay sinir ağı ile elde edilmiştir. Sonuçlar, farklı frekans sıcaklık ve katkı oranı değerleri ile saf ve modifiye bitümlerin kompleks modüllerinin YSA ile başarılı bir şekilde tahmin edilebileceğini göstermiştir. En iyi sonucu $R^2=0.999$ doğrulukla ve $RMSE=4.89$ hatayla Levenberg-Marquardt eğitim algoritmasıyla eğitilen ve 10 adet nöron sayısıyla oluşturulan yapay sinir ağı modeli sunmuştur. Laboratuvarlarda ve test merkezlerinde gerçekleştirilen deneyler için yüksek miktarda malzeme ve zaman harcanmaktadır. Yapay zeka teknikleri kullanılarak yaklaşık olarak elde edilecek sonuçların tahmin edilmesi gerek kullanılacak malzeme miktarı gerekse zaman açısından oldukça faydalı olacaktır. Gelecek çalışmalarda deney çeşitliliği artırılarak, daha çok girdi ile derin öğrenme modelleri oluşturulabilir.

TEŞEKKÜR: Manyetik Aktif Karbon (MAK) katkısının sentezlenmesindeki katkılarından dolayı Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya ve Proses Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Hasan Arslanoğlu'na teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] R. Hunter, A. Self, and J. Read, *The shell bitumen handbook, 6th edition*, London, UK: ICE Publishing, 2015.
- [2] D. N. Little, D. H. Allen, and A. Bhasin, *Modeling and design of flexible pavements and materials*, Springer International Publishing AG, 2017.
- [3] Y. Erkuş, B. V. Kök, and M. Yılmaz, "Evaluation of performance and productivity of bitumen modified by three different additives," *Construction and Building Materials*, vol. 261, pp. 120553, 2020.
- [4] B. V. Kök, M. Yılmaz, and M. Akpolat, "Evaluation of the conventional and rheological properties of SBS+Sasobit modified binder," *Construction and Building Materials*, vol. 63, pp. 174–179, 2014.
- [5] P. Cong, P. Xu, and S. Chen, "Effects of carbon black on the anti aging, rheological and conductive properties of SBS/asphalt/carbon black composites," *Construction and Building Materials*, vol. 52, pp. 306–313, 2014.
- [6] S. Zhao, B. Huang, X. P. Ye, X. Shu, and X. Jia, "Utilizing bio-char as a bio-modifier for asphalt cement: A sustainable application of bio-fuel by-product," *Fuel*, vol. 133, pp. 52–62, 2014.
- [7] Ç. Muhammed Ertugrul, Y. Mehmet, B. V. Kök, and E. Yalçın, "Effects of various biochars on the high temperature performance of bituminous binder," Jun. 2016.
- [8] X. Hu, K. Dai, and P. Pan, "Investigation of engineering properties and filtration characteristics of porous asphalt concrete containing activated carbon," *Journal of Cleaner Production*, vol. 209, pp. 1484–1493, 2019.
- [9] Y. Rew, A. Baranikumar, A. V. Tamashauskyy, S. El-Tawil, and P. Park, "Electrical and

mechanical properties of asphaltic composites containing carbon based fillers,” *Construction and Building Materials*, vol. 135, pp. 394–404, 2017.

[10] B. Huang, X. Chen, and X. Shu, “Effects of electrically conductive additives on laboratory-measured properties of asphalt mixtures,” *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 21, no. 10, pp. 612–617, 2009.

[11] M. Bostancıoğlu and Ş. Oruç, “Effect of activated carbon and furan resin on asphalt mixture performance,” *Road Materials and Pavement Design*, vol. 17, no. 2, pp. 512–525, 2016.

[12] C. Li, F. Ning, and Y. Li, “Effect of carbon black on the dynamic moduli of asphalt mixtures and its master curves,” *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 13, no. 4, pp. 918–925, 2019.

[13] R. Casado-Barrasa, P. Lastra-González, I. Indacochea-Vega, and D. Castro-Fresno, “Assessment of carbon black modified binder in a sustainable asphalt concrete mixture,” *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 363–370, 2019.

[14] M. A. Notani *et al.*, “Investigating the high-temperature performance and activation energy of carbon black-modified asphalt binder,” *SN Applied Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 303, 2020.

[15] Ö. Gerçel ve G. Seydioğlu, “Kiraz çekirdeğinden granül aktif karbon üretimi,” *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A- Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, c. 16, s. 2, ss. 189, 2015.

[16] İ. Demiral, C. Şamdan, ve H. Demiral, “Şeftali çekirdeğinden çinko klorür aktivasyonu ile aktif karbon üretimi ve karakterizasyonu,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 28, s. 1, ss. 73–82, 2020.

[17] E. Ülkeryıldız Balçık, M. Torun, ve H. Şahin Nadeem, “Gıda atıklarından aktif karbon üretimi ve aktif karbonun gıda endüstrisinde uygulamaları,” *Gıda*, c. 45, s.2, ss. 217–229, 2020.

[18] Ö. Açışlı, “Doum palm meyve kabuklarından aktif karbon üretimi ve karakterizasyonu,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 16, ss. 544–551, 2019.

[19] Z. E. Sayın, C. Kumaş, ve B. Ergül, “Fındık kabuğundan aktif karbon üretimi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 16, s. 2, ss. 409–419, 2016.

[20] E. Seyma Seyrek, E. Yalcin, M. Yilmaz, B. Vural Kök, and H. Arslanoglu, “Effect of activated carbon obtained from vinasse and marc on the rheological and mechanical characteristics of the bitumen binders and hot mix asphalts,” *Construction and Building Materials*, vol. 240, pp. 117921, 2020.

[21] R. Zhang, Q. Dai, Z. You, H. Wang, and C. Peng, “Rheological performance of bio-char modified asphalt with different particle sizes,” *Applied Sciences*, vol. 8, no. 9, pp. 1665, 2018.

[22] A. Kumar, R. Choudhary, R. Narzari, R. Kataki, and S. K. Shukla, “Evaluation of bio-asphalt binders modified with biochar: a pyrolysis by-product of Mesua ferrea seed cover waste,” *Cogent Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 1548534, 2018.

[23] A. Behnood and E. Mohammadi Golafshani, “Predicting the dynamic modulus of asphalt mixture using machine learning techniques: An application of multi biogeography-based programming,” *Construction and Building Materials*, vol. 266, pp. 120983, 2021.

[24] F. Hussain, Y. Ali, M. Irfan, M. Ashraf, and S. Ahmed, “A data-driven model for phase angle behaviour of asphalt concrete mixtures based on convolutional neural network,” *Construction and*

Building Materials, vol. 269, p. 121235, 2021.

- [25] M. Yilmaz, B. V. Kok, B. Sengoz, A. Sengur, and E. Avci, "Investigation of complex modulus of base and EVA modified bitumen with adaptive-network-based fuzzy inference system," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 1, pp. 969–974, 2011.
- [26] B. V. Kok, M. Yilmaz, B. Sengoz, A. Sengur, and E. Avci, "Investigation of complex modulus of base and SBS modified bitumen with artificial neural networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 37, no. 12, pp. 7775–7780, 2010.
- [27] H. Sebaaly, S. Varma, and J. W. Maina, "Optimizing asphalt mix design process using artificial neural network and genetic algorithm," *Construction and Building Materials*, vol. 168, pp. 660–670, 2018.
- [28] S. Lv *et al.*, "Performance and optimization of bio-oil/Buton rock asphalt composite modified asphalt," *Construction and Building Materials*, vol. 264, pp. 120235, 2020.
- [29] C. Xing, H. Xu, Y. Tan, D. Wang, and C. Zhai, "Strain field distribution of asphalt mortar using digital image processing," *Construction and Building Materials*, vol. 238, pp. 117624, 2020.
- [30] F. Tang, C. Han, T. Ma, T. Chen, and Y. Jia, "Quantitative analysis and visual presentation of segregation in asphalt mixture based on image processing and BIM," *Automation in Construction*, vol. 121, pp. 103461, 2021.
- [31] N.-D. Hoang, "Automatic detection of asphalt pavement raveling using image texture based feature extraction and stochastic gradient descent logistic regression," *Automation in Construction*, vol. 105, pp. 102843, 2019.
- [32] B. V. K k, M. Yilmaz, M.  akiroğlu, N. Kuloğlu, and A. Őeng r, "Neural network modeling of SBS modified bitumen produced with different methods," *Fuel*, vol. 106, pp. 265–270, 2013.
- [33] M. Saltan and S. Terzi, "Modeling deflection basin using artificial neural networks with cross-validation technique in backcalculating flexible pavement layer moduli," *Advances in Engineering Software*, vol. 39, no. 7, pp. 588–592, 2008.
- [34] D. Singh, M. Zaman, and S. Commuri, "Artificial neural network modeling for dynamic modulus of hot mix asphalt using aggregate shape properties," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 54–62, 2013.
- [35] L. P. Specht, O. Khatchaturian, L. A. T. Brito, and J. A. P. Ceratti, "Modeling of asphalt-rubber rotational viscosity by statistical analysis and neural networks," *Materials Research*, vol. 10, no. 1, pp. 69–74, 2007.
- [36] N. Kamboozia, H. Ziari, and H. Behbahani, "Artificial neural networks approach to predicting rut depth of asphalt concrete by using of visco-elast"ic parameters," *Construction and Building Materials*, vol. 158, pp. 873–882, 2018.
- [37] M. A. Abed, Z. N. M. Taki, and A. H. Abed, "Artificial neural network modeling of the modified hot mix asphalt stiffness using bending beam rheometer," *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [38] E. Ozgan, "Artificial neural network based modelling of the Marshall Stability of asphalt concrete," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 5, pp. 6025–6030, 2011.
- [39] J. Zaniewski and M. Pumphrey, "Evaluation of performance graded asphalt binder equipment

and testing protocol,” 2004.

[40] E. Yalçın, “Saf ve modifiye bitümlerin farklı frekans ve sıcaklıklardaki reolojik özelliklerinin incelenmesi,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 901–909, 2020.

[41] W. Huang *et al.*, “Rheological characteristics evaluation of bitumen composites containing rock asphalt and diatomite,” *Applied Sciences*, vol. 9, no. 5, pp. 1023, 2019.

[42] E. Öztemel, *Yapay sinir ağları*, İstanbul, Türkiye: Papatya Yayıncılık Eğitim, 2008.

[43] D. Graupe, *Principles of artificial neural networks*, 3rd edition., World Scientific Publishing Company, 2013.

[44] F. Sönmez Çakır, *Yapay sinir ağları matlab kodları ve matlab toolbox çözümleri*, Ankara, Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 2019.

[45] D. Aşkin, İ. İskender, ve A. Mamizadeh, “Farklı yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak kuru tip transformatör sargısının termal analizi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 26, s.4, 2011.

[46] H. Yu and B. M. Wilamowski, “Levenberg–marquardt training,” in *Intelligent Systems*, CRC Press, 2018, pp. 12-1-12–16.

[47] B. Eren, M. Yağub, and V. Eyüpoğlu, “Assessment of neural network training algorithms for the prediction of polymeric inclusion membranes efficiency,” *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 20, no. 3, 2016.

[48] M. F. Møller, “A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning,” *Neural Networks*, vol. 6, no. 4, pp. 525–533, 1993.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Tür Agregalarla Üretilen Silindirle Sıkıştırılmış Betonların Özellikleri

 İsmail KILIÇ^{a,*},  Ahmet Okan SAVAŞ^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ismail.kilic@klu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.869509

ÖZ

Bu çalışmada, farklı tür agregalardan üretilen silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) örneklerinin özellikleri araştırılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R Portland çimentosu, dolomit, bazalt, mermer ve iki farklı tür kalker olmak üzere beş farklı agrega, doğal kum ve şebeke suyu kullanılmıştır. Agrega örnekleri üzerinde sıkışık ve gevşek birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, Los Angeles parçalanma direnci tayini ve elek analizi deneyleri yapılmıştır. Farklı tür agregalarla yapılan karışımlarda su/çimento oranı 0,35 olarak sabit tutulmuştur. Dolomit, bazalt, mermer, iki farklı tür kalker olmak üzere beş farklı agreganın her biri 12-19 mm kırmataş II, 4-12 mm kırmataş I ve 0-4 mm kırmataş tozu olarak kullanılmıştır. Ayrıca farklı agrega ile üretilen betonların her birinde 0-4 mm boyutunda doğal kum kullanılmıştır. 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının belirlenmesi için 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde silindir, 28 günlük eğilme dayanımı için ise 15 cm×15 cm×75 cm boyutlarında prizmatik kiriş örnekler üretilmiştir. Eğilme dayanımı testinden önce 28 günlük prizmatik kiriş numunelerden yararlanılarak ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silindirle sıkıştırılmış beton, Beton yol, Dolomit, Bazalt, Kalker, Mermer

Properties of Roller Compacted Concretes Produced with Different Types of Aggregates

ABSTRACT

In study, test results of roller compacted concrete (RCC) samples produced from different types of aggregates were researched. CEM I 42.5 R Portland cement, five different coarse aggregates (dolomite, basalt, marble, two different types of limestone), natural sand and tap water were used. The compact and loose bulk density, specific gravity, water absorption, Los Angeles abrasion resistance and sieve analysis tests were performed on the aggregate samples used. The water/cement ratio has been kept constant as 0.35 in mixtures produced with different types of aggregates. The RCC produced with five different aggregates: dolomite, basalt, marble and two different types of limestone, each were used as 12-19 mm crushed stone II, 4-12 mm crushed stone I and 0-4 mm crushed stone powder. In addition, 0-4 mm natural sand was used in each of the concretes produced with different aggregates. In order to determine the compressive strengths at the ages of 7 and 28 days, cylindrical specimens with 15 cm diameter and 30 cm height were used. Prismatic specimens with the dimensions of 15 cm×15 cm×75 cm were used to determine flexural strengths at the age of 28 days. Before bending test, ultrasonic pulse velocity and dynamic modulus of elasticity values were determined by using 28-day prismatic specimens.

Keywords: Roller compacted concrete, Concrete road, Dolomite, Basalt, Limestone, Marble

I. GİRİŞ

Beton, yollar, köprüler, barajlar ve konutlar olmak üzere birçok alanda kullanılan en önemli yapı malzemelerinden birisidir [1]. Beton üretiminde kullanılan agrega ve çimento gibi malzemeler, yerel koşullarda bile kolayca temin edilebilir [2]. Betonda aranılan en önemli özellik basınç dayanımıdır. Beton basınç dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri agrega özellikleridir. Betonda kullanılan agreganın dayanım özellikleri düşük olmamalıdır [3]. Agrega betonda iskelet görevi görmektedir [4]. Beton üretiminde tercih edilen agregaların özellikleri, betonun dayanım ve dayanıklılığı açısından oldukça önemlidir [5]. Agrega, su ve çimentonun kimyasal reaksiyonunu bozmadan betona aderans sağlayabilecek, yeterli dayanımına sahip dolgu malzemesidir [6]. Beton basınç dayanımlarını artırabilmek için öncelikle beton içerisindeki boşlukları en aza indirmek gerekir [7]. Betonda boşluk miktarı azaldıkça, basınç dayanımı da buna bağlı olarak yükselmektedir [8].

Agregaları tane şekline, yüzey dokusuna, elde edilişlerine, jeolojik yapılarına ve mineral muhtevalarına göre sınıflandırmak mümkündür [6]. Agregalar elde edilişlerine göre doğal ve yapay agregalar diye ikiye ayrılırlar. Tane boyutlarına göre iri agrega ve ince agrega olmak üzere iki sınıfta incelenirler [9]. Agregaları kökenlerine göre ise magmatik (volkanik), sedimanter (tortul) ve metamorfik (başkalaşım) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır.

İmal edildikleri malzemelere bağlı olarak karayolları üst yapıları iki sınıfa ayrılırlar. Bunlar, esnek ve rijit yapılar olarak tanımlanırlar. Esnek yol üst yapıları, yüzey tabakaları bitümlü malzeme, temeli bitümlü ya da granüler malzeme, alt temeli ise daima granüler malzeme olan üst yapılarıdır. Rijit yol üst yapıları ise yüzey tabakası betondan oluşan kaplamalar olarak bilinmektedir. Beton kaplamalar, ağır trafiğin olduğu karayollarında ve havaalanlarında hareket eden taşıtlar için gerekli konfor ve emniyeti temin etmek amacı ile yapılan yüksek standartlı üst yapılarıdır. Beton kaplamalar, esnek kaplamalar ile ekonomik yönden karşılaştırılacak olursa, beton kaplamaların ilk yapım maliyeti genelde esnek kaplamalara göre daha yüksektir fakat beton kaplamaların onarım ve bakım maliyetleri daha düşüktür. Bu da beton kaplamaların yaygınlığını artırmak için önemli bir etkidir. Ayrıca, beton kaplamalar tamamen yerli ürünler kullanılarak inşa edilebilmekte, esnek kaplamalarda ise petrol türevi malzeme kullanılmaktadır. Millî ve yerli kaynaklar açısından beton yolların desteklenmesi önem arz etmektedir.

Beton kaplamaların dayanımları ve ömürleri önemli avantajlarıdır. Beton kaplamalar rijit kaplama olarak, elastik olan zemine oturmuş kirişler şeklinde çalışırlar. Üzerlerine gelen yükü geniş alanlara yayarak taban zeminine iletirler [10]. Betonun kullanım özelliklerinin araştırılmasında birincil olarak bakılması gereken parametreler betonun mekanik özellikleridir [11]. Rijit üstyapı tasarımının kaliteli bir şekilde olabilmesi için üstyapı kaplanmasında kullanılacak olan betonun ve bileşenlerinin çok iyi bilinmesi gereklidir [12].

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) normal betona göre aynı bileşenlerin farklı oranlarda karşılaştırılması ile üretilmektedir [13]. SSB sertleşmemiş halde iken üzerinden silindirlerin geçmesine imkân verecek şekilde kuru kıvamda olan bir beton türüdür [14]. SSB'de su/çimento oranı 0,30 ile 0,40 arasında olmalıdır. Diğer beton çeşitlerinde olduğu gibi, SSB'nin ekonomik oluşunu ve kalitesini belirlemedeki en önemli etkenlerden biri doğru agreganın seçilmesidir SSB ve geleneksel betonlardaki agregalar arasında en önemli farklardan biri agrega granülometrisidir. SSB'de maksimum dane boyutu 19 mm olmalıdır [15]. Ayrışma olmaması, karıştırmayı kolaylaştırmak ve yüzey düzgünlüğünü oluşturmak amacıyla dane boyutu yüksek seçilmemelidir [16].

SSB'nin normal betona göre hiç çökme göstermemesi, bağlayıcı madde oranının daha az oluşu, daha az hidrasyon ısısının oluşması, yol ekipmanları ile serilip sıkıştırılabilmesi, hızlı ve seri üretimi, derz sayısının normal betona göre daha az oluşu, ekonomik oluşu en önemli farklılıklarıdır [17]. SSB yolların en önemli üstünlüğü, gerek beton kaplamalar gerekse çok tabakalı asfalt kaplamalara göre çok daha hızlı kullanıma açılması ve ekonomik olmasıdır [18]. Ayrıca, SSB yol yapımında hiçbir zaman kalıp kullanılmamakta, genellikle yüzey düzeltme işlemi yapılmamakta, kayma donatısı ve bağ donatısı gibi herhangi bir çelik donatı kullanılmamaktadır [13].

SSB'nin karıştırılması, taşınması, serilmesi ve sıkıştırma işlemleri mümkün olduğunca en kısa zamanda ve ayrışmaya uğratılmadan yapılmalıdır [19]. Taşınma sırasında SSB'nin ayrışmaya uğratılmaması, işlenebilirliğini kaybetmemesi ve mümkün olan en kısa zamanda getirilmesi için uygun bir taşıma yöntemi seçilmelidir. SSB'yi sermek için en iyi araçlar finisher ve dozerlerdir. Sıkıştırma işlemi için de genellikle dinamik kuvveti 8 kg/mm olan tek veya çift tamburlu ve ağırlığı 10 ton olan silindirler kullanılmaktadır [20]. SSB tabakasının, sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra vakit geçirilmeden en çok iki saat içinde su veya kimyasal kür malzemesi ile kaplanması gerekmektedir [21].

Beton karışımında en fazla kullanılan bileşen agregadır. Agreganın özellikleri betonun dayanım ve dayanıklılığını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Agregaların kimyasal ve mineralojik özellikleri farklılıklar göstermektedir. Aynı tür dahi olsa, farklı taş ocaklarında üretilen agregaların özelliklerinin aynı olmayacağı bilinmelidir. Bu nedenle farklı agregalarla üretilen betonların farklı dayanım özellikleri göstermesi beklenmektedir.

Yapılan çalışmada volkanik, tortul ve başkalaşım kökenli olmak üzere beş farklı tür agrega kullanılmış, agrega kökeninin SSB üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan agregaların farklı türde olması ve farklı yerlerden temin edilmesi granülometrik özelliklerinin farklılık göstermesine neden olmuştur. Agregada granülometrisinin betonun dayanım özelliklerini etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle, her bir agrega türü kendi içerisinde boyutlarına göre farklı oranlarda karıştırılmış ve karışım agregalarının granülometrisinin birbirine yakın olması sağlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

DeneySEL çalışmalarda bağlayıcı olarak Limak Trakya Çimento fabrikasından temin edilen CEM-I 42,5 R çimento kullanılmıştır (Tablo 1). Karma suyu olarak Kırklareli şebeke suyu kullanılmıştır. Agregada dolomit, bazalt, mermer, iki farklı kalker ve doğal kum kullanılmıştır. Beş farklı agrega türü karışımlarda kırmataş II (12-19 mm), kırmataş I (4-12 mm) ve kırmataş tozu (0-4 mm) olacak şekilde üç farklı boyutta kullanılmıştır. Ayrıca her karışımında 0-4 mm aralığında Pınarhisar'dan temin edilen doğal kum kullanılmıştır.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal analizi, fiziksel ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Analiz												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻	Kızdırma Kaybı	Çözünmeyen Kalıntı	Toplam Alkali
%	19,15	4,78	3,25	63,98	1,18	2,90	0,64	0,24	0,0128	3,43	0,35	0,66
Fiziksel Deneyler												
Priz Süresi (dak)	Başlangıç								140			
	Son								200			
Özgül Ağırlık									3,11			
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /g)									3712			
Toplam Hacim Genleşmesi (Le Chatelier) (mm)									1,00			
45 µ elek üstü									2,35			
90 µ elek üstü									-			
Basınç Dayanımı (MPa)												
Mekanik Özellik-Gün	Erken Dayanım (2 gün)								30,6			
	Erken Dayanım (7 gün)								47,1			
	Standart Dayanım (28 gün)								59,5			

Dolomit, kireçtaşlarında CaO'nun yerine kısmen veya tamamen MgO'nun alması ile oluşmaktadır. Masif yapılı, köseli ve serttir. Genelde bej renklidir. Kökenlerine göre tortul taşlar olarak sınıflandırılır. Deneylerde kullanılan dolomit agregası Pınarhisar bölgesinden temin edilmiştir. Dolomit agregasından üretilen beton örneklerinde D kodu kullanılmıştır.

Bazalt, volkanik taş türüdür. Masif yapılı, sert ve dayanıklı bir taştır. Siyah ve koyu gri tonlu renklere sahiptir. Kökenlerine göre volkanik taşlar olarak sınıflandırılır. Deneylerde kullanılan bazalt agregası Afyon bölgesinden temin edilmiştir. Bazalt agregasından üretilen beton örneklerinde B kodu kullanılmıştır.

Mermer, başkalaşım olayı sonucunda kalkerin (kireçtaşı) yeniden kristalleşmesiyle meydana gelen bir taş türüdür. Masif yapılı ve taneli dokuludur. Renkleri genellikle beyaz ve açık gridir. Kökenlerine göre başkalaşım taşlar olarak sınıflandırılır. Deneylerde kullanılan mermer agregası Afyon bölgesinden temin edilmiştir. Mermer agregasından üretilen beton örneklerinde M kodu kullanılmıştır.

Kalker (kireçtaşı), kalsiyum karbonattan oluşan tortul bir taştır. Oldukça sağlamdır ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Kökenlerine göre tortul taşlar olarak sınıflandırılır. Deneylerde kullanılan kalker I agregası Pınarhisar bölgesinden, kalker II agregası Silivri-Çatalca bölgesinden temin edilmiştir. Kalker I agregasından üretilen beton örneklerinde KI, kalker II agregasından üretilenlerde ise KII kodu kullanılmıştır.

Çalışmalarda beş farklı agrega türü ile silindirle sıkıştırılmış beton örnekleri üretilmiştir. Her bir agrega türü için 7 ve 28 günlük basınç dayanım deneyi için 6 adet 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde silindir beton örnekleri ve 28 günlük eğilme dayanım deneyi için 3 adet 15x15x75 cm boyutunda prizmatik kiriş beton örnekleri üretilmiştir. Toplamda 30 adet silindir ve 15 adet kiriş beton örnekleri üretilmiştir.

B. YÖNTEM

Beş farklı agrega üzerinde, agrega deneyleri ve bu agregalar kullanılarak üretilen silindirle sıkıştırılmış beton örnekleri üzerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Birim hacim ağırlık deneyi TS EN 1097-3 [22], agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini TS EN 1097-6 [23], agrega parçalanma direnci tayini TS EN 1097-2 [24], elek analizi TS EN 933-1[25], çökme deneyi TS EN 12350-2 [26], taze beton birim hacim ağırlık TS EN 12350-6 [27], basınç dayanımı TS EN 12390-3[28], eğilme dayanımı TS EN 12390-5 [29] (Şekil 2b), ultrases geçiş hızı ASTM C 597-09 [30] standartlarına göre yapılmıştır.

Farklı agregalarla yapılan karışım hesaplarında su/çimento oranı 0.35 olarak sabit tutulmuştur. Bu karışımlarda çökme sıfır olacak şekilde su ve çimento miktarları değişmemiş, agrega miktarları ise her bir agrega türünün kendi içerisindeki karışım oranları farklı olduğu için karışımdaki miktarları da değişkenlik göstermiştir.

ASTM C 1435/C1435M-20 [31] standardına göre silindirle sıkıştırılmış beton örneklerinin üretimi yapılmıştır. Silindir örnekler her biri yaklaşık 20 saniye olmak üzere 3 kademede sıkıştırılmıştır (Şekil 1a ve Şekil 1b). Prizmatik kiriş örneklerin sıkıştırılma işlemi 2 kademede yapılmıştır. Üretilen örnekler, üretimden bir gün sonra kalıptan çıkarılmış, kırım günlerine kadar kür havuzunda kirece doygun suda bekletilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1. (a) SSB örneğinin sıkıştırma aşaması ve (b) sıkıştırma işlemi tamamlanmış SSB örneği.

Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülünün belirlenmesi için yapılan deneylerde Proceq marka Pundit PL-200 ultrasonik test cihazından yararlanılmıştır (Şekil 2a). Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülünün tespiti için, eğilme dayanımlarının belirlenmesi amacıyla üretilen 15x15x75 cm boyutlu prizmatik beton örneklerinden yararlanılmıştır. Her bir kiriş numunesi üzerinde üç farklı noktadan ölçüm yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı tespiti için dalga boyu 68,5 mm olan 54 kHz P dalgası duyargaları kullanılmıştır. Dinamik elastisite modülünün tespiti için ise önce dalga boyu 68,5 mm olan 54 kHz P dalgası duyargaları ile ilk ölçüm yapılmış, ardından bu duyargalar çıkarılarak yerine dalga boyu 10 mm olan 250 kHz S dalgası duyargaları takılmış ve ikinci ölçüm yapılmıştır. S ve P dalgası duyargaları kullanılarak yapılan ölçümler sonrasında betonun dinamik elastisite modülü cihazın dijital ekranından okuma yapılarak tespit edilmiştir. Dalga boylarının hesaplanmasında 3700 m/s'lik boyuna dalga ve 2500 m/s'lik enine dalga darbe hızı kullanılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 2. (a) Ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü tespitinde kullanılan test cihazı ve (b) SSB kiriş örneğinin eğilme dayanımı deney aşaması.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Agregaların birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su emme ve parçalanma direnci deney sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde birim hacim ağırlık deneylerinin gevşek ve sıkışık olmak üzere iki şekilde yapıldığı görülmektedir. Özgül ağırlık değerleri incelendiğinde en yüksek değeri bazalt

agregasının aldığı görülmektedir. Doğal kumun özgül ağırlığı 2,76, gevşek birim hacim ağırlığı 1,54 g/cm³, sıkışık birim hacim ağırlığı 1,64 g/cm³ ve su emmesi % 1,30 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Agregaların birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su emme ve parçalanma direnci deney sonuçları.

Agrega Türü	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)		Özgül Ağırlık	Su Emme (%)	Los Angeles Parçalanma Direnci (%)
	Gevşek	Sıkışık			
Dolomit	Kırmataş II	1,50	1,59	2,80	0,56
	Kırmataş I	1,57	1,61	2,80	0,37
	K.Tozu	1,89	1,90	2,81	1,75
Bazalt	Kırmataş II	1,51	1,56	2,81	0,20
	Kırmataş I	1,53	1,63	2,82	0,14
	K.Tozu	1,67	1,80	2,83	1,56
Mermer	Kırmataş II	1,52	1,60	2,70	0,42
	Kırmataş I	1,62	1,75	2,71	0,30
	K.Tozu	1,73	1,89	2,74	1,92
Kalker I	Kırmataş II	1,51	1,59	2,78	0,36
	Kırmataş I	1,51	1,63	2,79	0,43
	K.Tozu	1,65	1,83	2,80	1,20
Kalker II	Kırmataş II	1,52	1,60	2,80	0,21
	Kırmataş I	1,54	1,68	2,81	0,75
	K.Tozu	1,59	1,75	2,82	1,16

Los Angeles parçalanma direnci deneyleri sonucu dolomit agregasının % 19,56, bazalt agregasının % 10,56, mermer agregasının % 42,88, kalker I agregasının % 24,16 ve kalker II agregasının % 24,75 parçalanma direncine sahip oldukları tespit edilmiştir. Mermer agregasının Los Angeles parçalanma değeri % 30'un üzerinde olduğu için yol kaplamaları için kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca rağmen mermer agregasından üretilecek olan silindire sıkıştırılmış betonların farklı amaçlarla kullanılabileninden dolayı deneysel çalışmalarda kullanılmaya devam edilmiştir.

Dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregalarının kırmataş II, kırmataş I ve kırmataş tozu olmak üzere üç farklı boyutta ve doğal kumun elek analizleri yapılmıştır. Yol kaplamalarında kullanılacak olan beton agregaları için istenilen gradasyon eğrisi alt ve üst sınır değerleri dikkate alınarak, her agrega türü için kendi içerisinde farklı karışım yüzdeleri belirlenmiştir. Tablo 3'de karışım agregalarının elek analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3. Karışım agregalarının elek analizi sonuçları.

Elek No (mm)	Agregaların Karışım Granülometrileri (%)				
	Dolomit	Bazalt	Mermer	Kalker I	Kalker II
19	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
16	85,62	90,11	89,68	94,68	95,75
12,50	73,01	78,23	78,13	81,20	85,93
9,5	67,83	70,12	73,26	76,59	77,24
8	62,93	64,34	68,18	72,68	67,40
4	49,34	53,29	49,99	54,91	41,63
2	40,56	44,74	44,34	44,47	28,97
1	32,49	36,34	39,02	36,78	21,54
0,5	21,66	23,75	28,10	24,79	13,96
0,25	10,82	10,89	13,67	11,75	6,27
0,125	5,19	3,76	3,37	4,29	2,58
0,075	3,03	1,70	0,93	1,50	1,91
0,063	1,76	1,00	0,46	0,70	1,30

Kırmataş II, kırmataş I, kırmataş tozu ve doğal kum karışım yüzdeleri sırasıyla; dolomit agregası için % 25, 25, 25 ve 25, bazalt agregası için % 15, 30, 30 ve 25, mermer agregası için % 20, 30,30 ve 20, kalker I agregası için % 20, 25, 30 ve 25, kalker II agregası için % 15, 30, 20 ve 35 olacak şekilde karıştırılarak karışım agregaları hazırlanmıştır. Her agregaya türü için farklı karışım oranları kullanılmasının nedeni, temin edilen agregaların farklı boyutlarda olmasından kaynaklanmıştır. Bu nedenle agregalar farklı oranlarda karıştırılarak, karışım agregası granülometrik değerlerinin birbirine yakın ve istenilen aralıkta olması sağlanmıştır.

Dolomit, bazalt, mermer, kalker ve kalker II olmak üzere beş farklı agregaya kullanılarak üretilen silindire sıkıştırılmış betonların ağırlıkça karışım miktarları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Farklı tür agregalarla üretilen silindire sıkıştırılmış betonların karışım miktarları ($1m^3$).

Beton Kodu	Agrega Türü	S/Ç	Su (kg)	Çimento (kg)	Kırmataş II (kg)	Kırmataş I (kg)	Kırmataş Tozu (kg)	Doğal Kum (kg)
D	Dolomit	0,35	150	429	488,25	488,25	488,25	488,25
B	Bazalt	0,35	150	429	293,40	586,80	586,80	489,00
M	Mermer	0,35	150	429	377,80	566,70	566,70	377,80
KI	Kalker I	0,35	150	429	388,80	486,00	583,20	486,00
KII	Kalker II	0,35	150	429	194,50	583,50	389,00	680,75

SSB karışımlarında su/çimento oranı 0,35 olarak sabit tutulduğu için beş farklı karışımda 150 kg su ve 429 kg çimento kullanılmıştır. Boyut aralığına göre agregaya miktarları değişkenlik göstermiştir. Bunun nedeni, her tür agregaya için uygun granülometri eğrisini yakalamak için kendi içerisinde farklı oranlarda karıştırılmasından kaynaklanmıştır. $1 m^3$ beton içerisindeki toplam agregaya karışımının granülometrik özellik açısından benzerlik göstermesinin, agregaya türleri arasında yapılacak kıyaslamada daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmüştür. Ayrıca agregaların yoğunluklarının da farklı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

DeneySEL çalışmalar için üretilen silindire sıkıştırılmış beton karışımlarının hepsinde çökme değeri sıfır olarak tespit edilmiştir. Dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları kullanılarak üretilmiş olan silindire sıkıştırılmış betonların birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Çökme (slump), birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü deney sonuçları.

Beton Kodu	Agrega Türü	Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)	Basınç Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)	Ultrases Geçiş Hızı (km/s)	Dinamik Elastisite Modülü (GPa)
			7	28			
D	Dolomit	2,54	27,60	35,35	10,43	4,86	36,17
B	Bazalt	2,56	28,64	37,01	8,78	4,65	38,87
M	Mermer	2,51	25,64	32,31	8,16	4,29	35,88
KI	Kalker I	2,45	23,83	31,30	6,78	4,09	29,10
KII	Kalker II	2,57	26,65	33,88	10,03	4,56	39,43

Taze beton birim hacim ağırlık değerleri dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II agregaları ile üretilen SSB örnekleri için sırasıyla 2,54, 2,56, 2,51, 2,45 ve 2,57 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Birim hacim ağırlık deney sonuçlarına bakıldığında en yüksek değeri 2,57 g/cm^3 ile dolomit agregalı D kodlu SSB örnekleri, en düşük değeri 2,45 g/cm^3 ile kalker I agregalı KI kodlu SSB örnekleri almıştır.

7 günlük basınç dayanımları D, B, M, KI ve KII kodlu SSB örnekleri için sırasıyla 27,60, 28,64, 25,64, 23,83 ve 26,65 MPa'dır. 28 günlük basınç dayanımlarının ise sırasıyla 35,35, 37,01, 32,31, 31,30 ve 33,88 MPa olduğu belirlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımlarında, 7 günlük basınç dayanımlarına göre; dolomit agregası kullanılan betonda % 28, bazalt agregası kullanılan betonda % 29, mermer agregası kullanılan betonda % 26, kalker I agregası kullanılan betonda % 31 ve kalker II agregası kullanılan betonda % 27 artış meydana gelmiştir. En yüksek artış kalker I agregası kullanılan betonda, en düşük artış ise mermer agregası kullanılan betonda görülmüştür. Ayrıca tasarlanan C30/37 sınıfı SSB için farklı agregalarla üretilen her karışımda, hedeflenen basınç dayanımı değerine ulaşılmıştır. En yüksek 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri bazalt agregası ile üretilen B kodlu SSB örneklerinden elde edilmiştir.

28 günlük eğilme dayanımları D, B, M, KI ve KII kodlu SSB örnekleri için sırasıyla 10,43, 8,78, 8,16, 6,78 ve 10,03 MPa olarak tespit edilmiştir. Beton yol kaplamaları için istenilen minimum 4,2 MPa eğilme dayanımı değerinin üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. 28 günlük eğilme dayanımlarında en yüksek değeri 10,43 MPa ile dolomit agregalı D kodlu SSB alırken en düşük değeri 6,78 MPa ile kalker I agregalı KI kodlu SSB almıştır.

Ultrases geçiş hızı test sonuçları incelendiğinde D, B, M, KI ve KII kodlu SSB örneklerinin 4,86, 4,65, 4,29, 4,09, 4,56 km/s geçiş hızına sahip oldukları belirlenmiştir. Farklı agregalar kullanılarak üretilen SSB örneklerinin tamamında 4 km/s ultrases geçiş hızının üzerinde çok iyi değerlere ulaşılmıştır. Dolomit, bazalt ve kalker II agregalarından üretilen SSB örneklerini ASTM C 597-09 standardına göre 4,5 km/s ultrases geçiş hızının üzerinde değer aldıkları için kaliteli beton olarak sınıflandırmak mümkündür.

Tablo incelendiğinde, genelde dinamik elastisite modülü değerleri 28 günlük basınç dayanımı değerleriyle doğru orantılı seyretmiştir. Sadece kalker I agregası ile üretilen SSB örneğinde bu orantı bozulmuştur. Kalker II agregalı silindire sıkıştırılmış betonun dinamik elastisite modülü 39,43 GPa olarak en yüksek değer olmasına rağmen, 28 günlük basınç dayanımı 37,01 MPa ve dinamik elastisite modülü 38,87 GPa değerleri birlikte incelendiğinde en iyi sonucu bazalt agregalı SSB vermiştir. SSB örneklerinin ultrases geçiş hızı arttıkça, 28 günlük basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinde de farklı oranlarda artış tespit edilmiştir. Ayrıca SSB örneklerinin eğilme dayanım değerleri arttıkça dinamik elastisite modülü değerlerinde de artışlar görülmüştür.

IV. SONUC

Su/çimento oranı 0,35 olarak belirlenmiş ve dolomit, bazalt, mermer, kalker I ve kalker II olmak üzere beş farklı agrega kullanılarak üretilen SSB örnekleri üzerinde yapılan deneyler sonucu;

- Agregası türü ve granülometrisinin SSB'nin dayanım özelliklerini etkilediği tespit edilmiştir.
- Tasarlanan C30/37 sınıfı, beş farklı agregadan üretilen SSB örneklerinin tamamı hedeflenen basınç dayanımı değerine ulaşmıştır.
- En yüksek basınç dayanımı değerine 37,01 MPa olarak bazalt agregası kullanılan SSB örneklerinde ulaşılmıştır. Bazalt, volkanik kökenli bir taş türü olduğundan diğer tortul ve başkalaşım kökenli taşlara göre daha sert ve dayanımları yüksektir. Basınç dayanımı değerini agrega özelliklerinin etkilediği bilinmektedir.
- Her bir agrega türü, SSB karışımlarında kendi içerisinde farklı oranlarda karıştırıldığı için elde edilen verilerde, granülometri farklılığının dayanım sonuçlarına etki etme ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır.

- Beş farklı agrega kullanılarak üretilen SSB örneklerinin 28 günlük eğilme dayanım değerlerinin, beton yol kaplamaları için istenilen minimum 4,2 MPa dayanımı değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.
- SSB örneklerinin basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve dinamik elastisite modülü değerleri karşılaştırıldığında en iyi sonuçları veren betonların bazalt ve dolomit agregalı SSB örnekleri olduğu tespit edilmiştir.
- Mermer agregasından üretilen SSB örnekleri yol kaplamaları için gerekli olan basınç ve eğilme dayanımı değerlerini sağlamıştır. Buna rağmen, yol kaplamaları için istenilen %30 parçalanma direncinin üzerinde %42,88 değer aldığı için kullanılmamalıdır. Fazla aşınmaya maruz kalmayan uygulama alanlarında SSB üretiminde değerlendirilebilir.
- SSB örneklerinden edilen deney sonuçlarına göre karışımlarda kullanılan agrega türünün betonun dayanım özelliklerini etkilediği görülmüştür. Karışımlardaki agregaların granülometri eğrilerinin aynı olması durumunda etkinin daha net bir şekilde ortaya çıkacağını söylemek mümkündür. SSB üretimi yapılmadan önce, agrega granülometrisine ve maksimum agrega dane çapının (Dmax) doğru seçimine dikkat edilmelidir.

SSB karışımlarında çimento miktarının azaltılmasıyla da yeterli basınç ve eğilme dayanımının sağlanabileceği düşünülmektedir. SSB ile ilgili yapılacak çalışmalarda ince agreganın (kırmataş tozu) karışımdaki oranı azaltılarak, çimento miktarında düşüş sağlanabileceği öngörülmektedir. Karışımdaki çimento miktarını azaltmak ekonomik yönden katkı sunacaktır.

Silindir SSB örnekleri üretilirken, sıkıştırılan tabaka kalınlığı ve sıkıştırma süresi dikkat edilmesi gereken önemli hususlardandır. Ayrıca, sıkıştırılan tabakalar arasında yatayda boşlukların oluşabilme ihtimaline karşılık önlemler alınmalıdır.

Hızlı inşa edilmesi, alternatif yollara nazaran trafiğe daha çabuk açılması, gece sürüş halinde görüş olanağının daha iyi olması, uzun ömürlü ve daha az bakım gerektirmesi, ekonomikliği, petrol ve türevlerine olan bağımlılığı azaltması nedeniyle silindirle sıkıştırılmış betonların beton yol üretiminde ve diğer alanlarda kullanılması önerilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] O. Şimşek, *Beton ve Beton Teknolojisi*, 4.baskı, Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2009, ss. 263.
- [2] B. Kobu, *Üretim Yönetimi*, 11.baskı, İstanbul, Türkiye: Avcıol Basım Yayın, 2003, ss. 712.
- [3] M. Arslan, *Beton*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Atlas Yayın Dağıtım, 2001, ss. 237.
- [4] P. K. Mehta ve P. J. M. Monteiro, 3. baskı, *Concrete-Microstructure, Properties and Materials*, New York, USA: Mc Graw-Hill Professional Publishing, 2005, ss. 684.
- [5] İ. Ö. Yaman ve H. Ceylan, "Silindirle sıkıştırılmış beton yollar," *Türkiye Mühendislik Haberleri*, s. 487, ss. 44-61, 2015.
- [6] S. Akman, *Yapı Malzemeleri*, 2. baskı, İstanbul, Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi Baskısı, 1990, ss.162.
- [7] D. S. Sarı, "Normal ve yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışına lif içeriğinin ve dayanımının etkisi," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik

Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.

[8] G. Özışık, *Beton*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2000, ss. 360.

[9] K. Akçaözoğlu, “Yüksek dayanımlı beton karışım dizaynı,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2001.

[10] THBB, “Beton Yollar,” *Türkiye Mühendislik Haberleri*, s. 427, ss. 38-44, 2003.

[11] P. Pourhossein, “Yüksek dayanımlı çelik lifli betonarme kiriş ve kolonlarda çatlamlar göz önüne alınarak deplasmanların belirlenmesi,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2012.

[12] E. Açar, İ. Süttaş ve G. Öztaş, *Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları)*, İstanbul, Türkiye: İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 1998.

[13] D. Harrington, F. Abdo, W. Adaska, C. Hazaree, H. Ceylan ve F. Bektaş, *Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements*, Ames, USA: National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University, 2010, ss. 104.

[14] N. Ağırlioğlu, “Baraj planlama ve tasarımı,” *Su Vakfı Yayınları*, c. 2, ss. 259, 2005.

[15] Portland Cement Association. (2009, Haziran). *Roller-compacted concrete pavements for highways and streets*. [Online]. Erişim: <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2009/pdf/Halsted.pdf>

[16] Portland Cement Association. (2004, Haziran). *Guide specification for construction of roller compacted concrete pavements*, [Online]. Erişim:<https://www.chaneyenterprises.com/files/productdocs/Guidetorcc.PDF>

[17] K. D. Hansen ve W. G. Reinhardt, *Roller Compacted Concrete Dams*, New York, USA: Mc Graw-Hill, 1991, ss. 298.

[18] Portland Cement Association.(2006, Mayıs). *Roller-compacted concrete (RCC)*. [Online]. Erişim:https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/sn2975.pdf?sfvrsn=414bfdbf_2

[19] *Guide to Roller-Compacted Concrete Pavements*, American Concrete Institute, ACI 327R-14, 2015.

[20] R. F. Andriolo, *The Use of Roller Compacted Concrete*, Sao Paulo: Past-Press, 1998, ss.554.

[21] TÇMB, *Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yollar Teknik Şartnamesi*, Ankara, Türkiye: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 2017.

[22] *Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler-bölüm 3: gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1097-3, 1999.

[23] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 6: tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1097-6, 2013.

[24] *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 2: parçalanma direncinin tayini için metotlar*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1097-2, 2020.

[25] *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-bölüm 1: tane büyüklüğü dağılımının tayini-*

eleme yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 933-1, 2012.

[26] *Beton-taze beton deneyleri-bölüm 2: çökme (slump) deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12350-2, 2019.

[27] *Beton-taze beton deneyleri-bölüm 6: yoğunluk*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12350-6, 2019.

[28] *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri-bölüm 3: sertleşmiş beton deney numunelerinde basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390-3, 2019.

[29] *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri-bölüm 5: sertleşmiş beton deney numunelerinde eğilme dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 12390-5, 2019.

[30] *Standard test method for pulse velocity through concrete*, American Society for Testing and Materials, ASTM C 597-09, 2009.

[31] *Standard practice for molding roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating hammer*, American Society for Testing and Materials, ASTM C1435 / C1435M-20, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

YHTD'lerin Değerlendirilmesinde Yeni Bir Yöntem

 Hakan KARACA ^{a,*}

^a *Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, TÜRKİYE*

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: hakan.karaca@ohu.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.719224

ÖZ

Yer hareketi tahmin denklemlerinin sayılarının günden güne artması (YHTD), geliştirme aşamasında kullanılan verilerin artması ve buna paralel olarak denklemlerin daha karmaşık hale gelmesi, kullanıcılar açısından kolaylık değil daha çok külfet getirmiştir. Sismik tehlike analizi (STA) için hangi denklemin daha uygun olduğu ve daha kesin sonuçlar verebileceği konusu bir süredir kullanıcıları meşgul etmekte, denklemlerin geçerlilik koşulları konusunda zorlamaktadır. Denklemlerin uzaklık, deprem büyüklüğü ve diğer parametrelere bağlı değişken performansları ve özellikle belirsizlikleri, denklemlerin seçimi konusunda kullanıcıları mantık ağacı gibi yöntemleri geliştirmeye sevk etmiştir. Ancak bu yöntemle, belirli sayıda YHTD seçimi ile sadece tek YHTD seçilmesinin oluşturabileceği belirsizlik ve yanlış tercih olasılığı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Ancak, şurası bir gerçek ki bu yönteminde yaklaşık yöntem olduğu ve en gerçekçi sonucu değil ancak en yakın sonucu verdiği bilinerek, yeni çözümler sunma amacı ile çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada da, böyle bir bakış açısı ile tamamıyla yeni bir yöntem olan eşivme eğrileri ile uyumluluk yöntemi kullanarak, hâlihazırda geliştirilmiş denklemler değerlendirilmiştir. Ayrıca denklemlerin performansı diğer denklemlerle karşılaştırılarak yerel etkilere de vurgu yapılmıştır. Bu yöntemle, depremlerin yıkıcı etkilerinin daha yüksek olduğu alanlarda ki performansının önemi ön plana çıkartılarak yapılan değerlendirmenin, en doğru denklemin seçimi açısından önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Yer hareketi tahmin denklemi, Eşivme eğrileri, Harita benzeşim katsayısı, Artık*

A New Method for the Evaluation of GMPEs

ABSTRACT

Ever-increasing number of Ground Motion Prediction Equations (GMPEs), the databases used to develop GMPEs and the associated complexity of the functional forms, brought more burden over the shoulders of the users. The issues in the selection of the most appropriate GMPE for a seismic hazard analysis (SHA) gives the users hard time and forces the developers about the validity requirements of their GMPEs. Varying performances of GMPEs with respect to distance, magnitude and other parameters and especially different levels of uncertainties, urged users to find ways such as logic tree to reduce uncertainties. Only through the introduction of such methods, the uncertainty and the outright errors caused by choosing a single equation is minimized by the selection of a number of equations. However, knowing that the introduction of such a method is also an approximation and it doesn't yield the exact answer but only the approximation, studies are being conducted to find out better solutions. In this study, looking from the same angle to the problem, a new method is proposed which rely on the comparison of iso-acceleration maps developed by the measurements and the predicted values by GMPEs. In addition, the performance of each GMPE is compared and the locality of the GMPEs are stressed. By the introduction of the new method, the importance of the evaluation of GMPEs in their prediction performances of ground motion parameters closer to the earthquake epicenters in the overall evaluation of GMPEs for their appropriateness for the considered area.

Keywords: *Ground motion prediction equation, Isoseismal contours, Map similarity index, Residuals*

I. GİRİŞ

Sayıları 100leri aşan [1] ve artık katalogları oluşturulmaya başlanan yer hareketi tahmin denklemleri, içerdiği girdilerin çeşitliliği ve her bir girdinin tahmin edilen yer hareketi büyüklüğü ile karmaşık bağıntılarla ilişkilendiği göz önüne alındığında, uzun bir süre daha araştırma konusu olmaya devam edecektir. Denklem oluşturulmasında ki esas amacın, deprem dalgalarının yayılmasını modellemek ve yapıların karşılaşılabileceği yer hareketi büyüklüklerini hesaplamak olduğu ve deprem dalgalarına yakınlık ne kadar artarsa, yapıların maruz kalacağı deprem etkilerinin büyüklüğünün de o kadar artacağı göz önüne alınır, denklemlerin özellikle maruziyet mesafesine göre daha hassas olmaları beklenir. Ancak hali hazırda geliştirilen denklemlerin böyle bir önceliği ve hassasiyeti olmadığı gibi, zaten denklemlerin geliştirilebilmesi için yerel ölçekte oluşturulan veri tabanlarının da ağırlıklı büyük depremlerin kısa mesafe etkilerini yansıtacak şekilde oluşturulması birçok yer için mümkün değildir [2]. Hâlihazırda kuvvetli yer hareketi modellerinin tamamı büyük depremleri kapsamakla birlikte [1], yıkıcı depremlerin büyük ve yakın mesafelerden etki ettiği gerçeği karşısında, bahsi geçen denklemlerin de aslında amaca tam olarak hizmet edip etmediği sorgulanabilir.

Böyle bir durumda, geliştirilen denklemlerin büyük bir kısmının büyük depremlerin kısa mesafelerdeki etkileri açısından duyarlılığının olmadığı ve aslında kısa mesafe etkilerinin çok önemli olduğu büyük depremlerinin etkilerinin hesaplanması açısından zayıf kalabileceği öngörülebilir. Bu durum ise, denklemlerin en başta geliştirilme amacı olan depremlerin yıkıcı etkisinin öngörülebilmesi amacı ile tam olarak bağdaşmamaktadır. Yani, eğer yapılara gelebilecek büyük yer hareketi etkilerini ancak küçük yer hareketlerinden elde ettiğimiz bilgiler ışığında öngörebiliyorsak [3], bu denklemlerin geçerliliği her zaman sorgulanmaya açık olacaktır. Öyleyse, denklemlerin geliştirilmesinde veya hâlihazırdaki denklemlerin değerlendirilmesinde takınılması gereken yaklaşım, bu denklemlerin büyük yer hareketlerini tahmin edebilme yetisinin öncelikli olarak irdelenmesi olmalıdır. Aslında denklemlerin gerçek depremlerin yayılma örüntülerini her biri için ayrı ayrı tahmin edip edemediği hakkında birçok çalışma bulunmakla birlikte [4], veri tabanında sadece büyük depremlerin, örneğin moment büyüklüğü 6.0'dan büyük olan depremlerin, sadece kısa mesafelerde nasıl bir yayılım örüntüsüne sahip olduğu ile ilgili çalışma neredeyse hiç bulunmamaktadır [1].

Buna birde, küçük depremlerin uzun mesafelerde, sayısal depremölçerler tarafından kaydedilemiyor olması, ancak büyük ölçekli depremlerin görece olarak uzak mesafelerde kayıtlarının bulunması nedeniyle oluşan veri yanlışlığı nedeniyle [5], küçük depremlerin daha kısa mesafelerde sönümlendiği gibi bir yayılımın olduğu eklenirse, büyük depremlerin etkilerini modellemenin hangi kısıtlarla karşı karşıya olduğu anlaşılabilir. Böyle bir durumda veri tabanı deprem büyüklükleri ve mesafeleri açısından benzeş olan denklemlerin, verilerdeki yanlışlığın azalması nedeniyle gerçek yayılma örüntülerini daha başarılı modelleyebileceği ve açıktır.

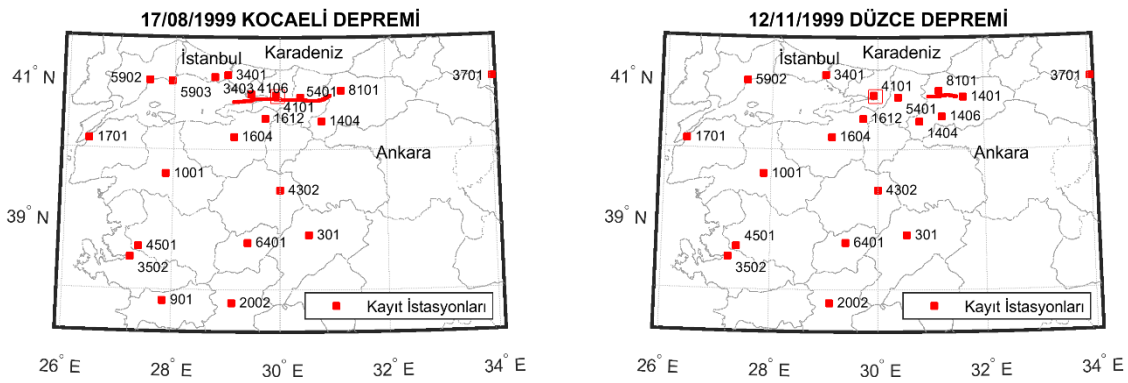
Kısaca özetlenen sorun ile ilgili olarak eldeki veri tabanları ile yapılabileceklerin sınırlı olduğu ancak büyük yer hareketlerinin daha çok hasar verdiğini kısa mesafelerdeki etkisini ölçebilme yetisinin daha önemli olarak değerlendirileceği yeni bir yöntemin gerekli olduğu sonucu çıkar. Bu çalışmanın amacı da böyle bir yöntem geliştirilmesi ve bu yöntemde hâlihazırda kabul gören YHTD değerlendirme yöntemlerine seçenek olarak sunulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, denklem artıklarının deprem büyüklüğü ve mesafe kısıtları oranında büyütülerek değerlendirilmesi yapılmış, sonrasında aday denklemler kullanılarak oluşturulan eş-ivme haritaları ile 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinin etkileri modellenerek geliştirilen eş-ivme haritaları karşılaştırılmıştır.

VERİLER VE YÖNTEM

A. İZMİT ve DÜZCE DEPREM KAYITLARI

Verilerin elde edilmesinde bütünlüğün sağlanması için Afet ve Acil Durum Başkanlığı [6]'nın kayıtlarına başvurulmuştur. İzmit depremi için 23 farklı istasyondan elde edilen kayıtlar ve Düzce depremi için de 19 farklı istasyondan elde edilen kayıtlar derlenmiş ve toplamda 42 adet kayıt çalışma için işlenmiştir. Şekil 1'de kayıtların elde edildiği istasyonların dağılımını gösterir haritalardan da anlaşılacağı üzere geniş bir alandan toplanan veriler, genelde ülkemizin batısındaki istasyonlardan elde edilmiş olup, özellikle fay kırıkları çevresinde yoğunlaşmıştır.

Derlenen kayıtlardan elde edilen kuzey-güney ve doğu-batı yönlü verilerin üssel ortalaması denklemler için ivme girdisi olarak kullanılmıştır. Bütün kayıtlar için taban düzeltme işlemi uygulanmış ve gürültüden arındırmak amacıyla da değişken alçak ve yüksek frekans sınırları eşliğinde 4-kutuplu Butterworth sügeci ile işlenmiştir [7]. Uygulanan işlemler sonunda, YHTD kullanılarak elde edilen ivme-periyot dağılımları ile karşılaştırmak üzere, ivme-periyot dağılımları üretilmiştir.



Şekil 1. İzmit ve Düzce deprem kayıtlarının elde edildiği sismik gözlem istasyonları [6].

Zaman ortamındaki ivme verilerinin yanı sıra PGA değerleri de aynı kayıtlardan derlenmiş, Sandıkkaya vd. [7] tarafından derlenen V_{s30} değerleri belirlendikten sonra, denklemlerin ana girdilerinden deprem kırığına en yakın yatay mesafe olarak tanımlanan R_{jb} değerleri de hesaplanmıştır. Her iki depreminde yanal atımlı faylar üzerinde meydana gelmesinden dolayı, fay terimleri bulunan denklemler için sadece yanal atımlı fay verileri kullanılmıştır.

B. YER HAREKETİ TAHMİN DENKLEMLERİ

Güncel denklemlerin hazırlanması sırasında kullanılan ergodik yaklaşım, yani bir yer hareketinin etkisinin konum ve zamandan bağımsız olarak, aynı olduğu savı, depremin yayılmasının yerel koşullara bağlı olup olmadığı irdelenmeden geliştirilmiştir. Aslında Bard vd. [8] esas sorunu ortaya koymuş ve depremin yayılma güzergâhı üzerinde bulunan dipkaya yapısının bile deprem enerjisinin yayılma ve sönümlenmesini keskin biçimde etkilediğini ve dolayısıyla yayılma değişkenliğinin en küçük sismotektonik birimde bile değişkenlik göstereceğini belirtmiştir. Böylesine bir değişkenliğin bulunduğu ve en küçük sismotektonik birim alanda bile yayılma farklılıkları bulunabileceğini göz önüne alarak bir çalışma yapmak ve bu durumu da aslında bir kısıt şeklinde düşünerek çalışma yapmak ve farklılıkları da nitel olarak tanımlayıp, nicel olarak da gösterebilmek gerekir [9]–[12]. Özellikle istasyonların sayısının hemen her yerde artması, duyarlılıklarının yükselmesi sayesinde deprem yayılma modellerinin yerel ölçekte geliştirilebilmesi ve yerelliğinin (non-ergodicity) sayısal olarak ifade edilebilmesi Kotha vd. [13] sayesinde aslında yayılma biçimi değişkenliğinin istasyonlar arasında bile diğer değişkenliklere göre daha fazla olabileceği gösterilmiştir [14]. Buna bir de denklemlerin karmaşık değişkenleri ile birlikte veri tabanlarının bu değişkenlerle uyumluluğu ile ilgili sorunlarda eklendiği zaman hangi denklemin nerede kullanılıp kullanılmayacağı ile ilgili çok değişkenli bir sorun ile karşı karşıya kalırız [15],[16]. Bu bilgiler ışığında, yerel denklemlerin yerel

depremlerin yayılma desenini daha kesin ve daha az belirsizlikle modelleyebileceği de düşünülmelidir [17].

Çalışmanın amacının sunulacak olan yeni yöntemlerin tanıtımı olması nedeniyle de, seçilen denklemlerin detaylı bir irdelenmesine gerek duyulmamış, sadece yerelliği ve uygulamadaki yaygınlığı göz önüne alınarak, Kalkan ve Gülkan [18] (KG04), Özbey vd. [19] (OB04), Akkar ve Cagnan [20] (AC10) seçilmiştir. Bu üç denklemin yanısıra, geliştirme aşamasında yerel verilerinde kullanıldığı Akkar ve Bommer [21] (AB10), Akkar vd. [22] (ASB14) tarafından Avrupa ve Ortadoğu için geliştirilen denklemlerde aynı yöntemle karşılaştırma amaçlı olarak değerlendirilecektir. Bu denklemlerin hepsinde de bu çalışmada kullanılan kayıtlar kullanılmış ancak veri tabanlarının kapsama alanının değişken olması nedeniyle kullanılan kayıtların sayısı ve niteliğinin farklı olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 1. YHTD veritabanı özellikleri.

YHTD	Veri tabanı Kayıtları	Deprem/Kayıt	Veri tabanı	Veri tabanı
AC10	Türkiye	137/433	3.5-7.6	0-200
KG04	Türkiye	57/112	4.0-7.6	0-250
OB04	Marmara Bölgesi	17/195	5.0-7.4	0-100
ASB14	Avrupa ve Ortadoğu	178/695	4.0-7.6	0-200
AB10	Avrupa ve Ortadoğu	131/532	5.0-7.6	0-100

Yukarıda bahsi geçen yerellik ve veri yanlılığı bağlamında, Tablo 1'de gösterilen veri tabanı özellikleri incelendiğinde, OB04 ve AB10 veri tabanlarının depremlerin büyüklüğü ve mesafe açısından daha odaklı olduğu, ancak verilerin yerelliği açısından OB04'ün öne çıktığı belirtilmelidir. Kullanılan üç yerel denklemde performans karşılaştırmalarının yapıldığı birçok çalışmaya konu olmuş [23],[24] ve YHTD karşılaştırmalarında yer almıştır. Kalabalık bir veritabanı ile yapılan değerlendirmelere göre aslında öne çıkamayan OB04 ve KG04 denklemlerinin ayrıca İzmit ve Düzce depremlerinin yayılma modellerinin değerlendirildiği çalışmalarda da performansları test edilmiş [25],[26] ve özellikle KG04 ve OB04'ün kısa mesafelerde yüksek sönümlenme oranına sahip bu iki depremin modellenmesinde değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır. Aslında veritabanları incelendiğinde, her bir denklemin geliştirilme amacı da öngörülebilir. Böyle bir çalışma için İzmit ve Düzce depremlerinin temsil oranının en yüksek olduğu veritabanına sahip denklemin daha başarılı olması beklenebilir ki aslında bu iki depremin kendine has özelliklerinin defalarca vurgulandığı çalışmalara bakılırsa [27],[28] böyle bir durum beklenmelidir.

C. YÖNTEM

En büyük ivmelerin ve aynı zamanda en yakın istasyonlardan elde edilen verilerin daha doğru tahmin edilebilmesi ölçütünün yanı sıra, bu değerlerin yakın coğrafya üzerindeki dağılımının da daha doğru tahmin edilebilmesi de önemli bir ölçüttür. Yüksek ivme değerlerinin daha doğru tahmini, bu değerlerin coğrafi dağılımı göze alınmadan yapılırsa tahmin yaklaşımı bir yönüyle eksik kalır çünkü bu değerlerin de mekânsal etki açısından önem derecesi değişebilir.

Bu bağlamda denklemlerin klasik standart sapma değerlerinin yanı sıra, bu çalışma kapsamında geliştirilen üç yeni yöntemle değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemlerden ilkinde, gözlemlenen spektral ivme değerlerinin denklemlerle tahmin edilen spektral ivme ile farkının, yani artıkların mutlak değerleri, gözlemlenen ivme değerlerinin normalize edilmesi ile elde edilen ağırlık değerleri ile çarpılarak yeni bir artık değerleri elde edilmiştir (Denklem 1). Böylelikle her bir denklem ve belirlenen her spektral periyot için elde edilen artık toplamlarının karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

$$I_{artık}^t = \sum_{i=1}^n abs(\Delta sa_i^t) I_{wi}^t \quad (1)$$

Denklem 1'de her bir spektral periyot (t) için $I_{artık}$ olarak ifade edilen bu toplam, artıkların, Δsa_i , yada gözlemlenen ve tahmin edilen ivme değerleri arasındaki farkın, I_{wi} , ağırlık katsayısı ile çarpılarak toplanması ile bulunur. Bu ağırlık katsayıları da, her bir kayıt için gözlemlenen spektral yer ivmelerinin normalize edilmiş değerleri olarak hesaplanır. İkinci yöntemde ise, mutlak artık değerlerinin, deprem merkez üssü ile kayıt istasyonu arasındaki yatay mesafelerin tersi oranında olacak şekilde belirlenen ağırlık katsayılarıyla büyütülerek derlenen yeni artık değerlerinin eklenmesi ile elde edilen toplamların karşılaştırması gerçekleştirilmiştir.

$$M_{artık}^t = \sum_{i=1}^n abs(\Delta sa_i^t) M_{wi}^t \quad (2)$$

Denklem 2'de ters mesafe katsayılı artık değeri toplamı, $M_{artık}$, n tane kayıt ve belirlenen ve her bir spektral periyot, t , için elde edilen artık değerlerinin, M_{wi} , ağırlık katsayılarıyla çarpılması sonucu bulunan değerlerin toplanması ile elde edilir.

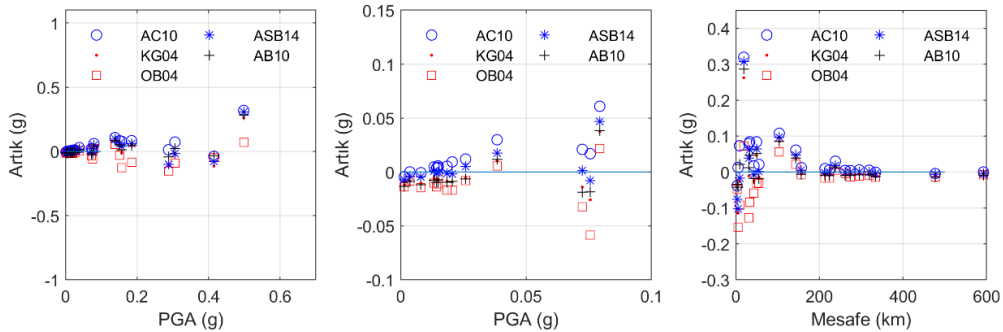
Üçüncü yöntemde ise, hem ivme değerlerinin hem de mesafenin birlikte önem derecesine göre değerlendirilebileceği eş-ivme haritalarının karşılaştırması yapılır. İvme değerlerinin coğrafi dağılımına göre şekillenecek olan eş-ivme haritasının, denklemlerden hangisi tarafından daha yakın modellendiğini belirleyebilmek için ise, hem kayıtlardan elde edilen ivme değerleri ile geliştirilen ivme-dağılım haritası ile tahmin denklemlerinden elde edilen ivme değerleriyle oluşturulan harita karşılaştırılır.

$$S = \frac{1}{n} \log \left(\sum_{ij} R_{ij} \right) \text{ ve } R_{ij} = \begin{cases} \left[\frac{X_{ij}}{X_{ij}^{kay}} \right] \text{ eğer } X_{ij} / X_{ij}^{kay} \geq 1.0 \\ \left[\frac{X_{ij}^{kay}}{X_{ij}} \right] \text{ eğer } X_{ij} / X_{ij}^{kay} < 1.0 \end{cases} \quad (3)$$

Bu karşılaştırma işleminin nicel değerlerini elde etmek için oluşturulan Denklem 3'te, S değeri benzerlik göstergesini, R benzerlik katsayısını, X değeri de denklemlerden elde edilen eşivme haritası değerlerini göstermekte, X_{kay} değerleri de kayıtlardan elde edilen eşivme haritası değerlerini temsil etmektedir. Denklem göre R değerleri hiçbir zaman 1 değerinden daha düşük olamaz ki, denkleme göre R değerleri ne kadar çok 1'e yakın olursa o kadar benzeşlik fazla olacaktır. Denklem göre S değerleri de ne kadar düşük olursa, benzeşimin o kadar yüksek olacağı bellidir.

CÖZÜMLEME

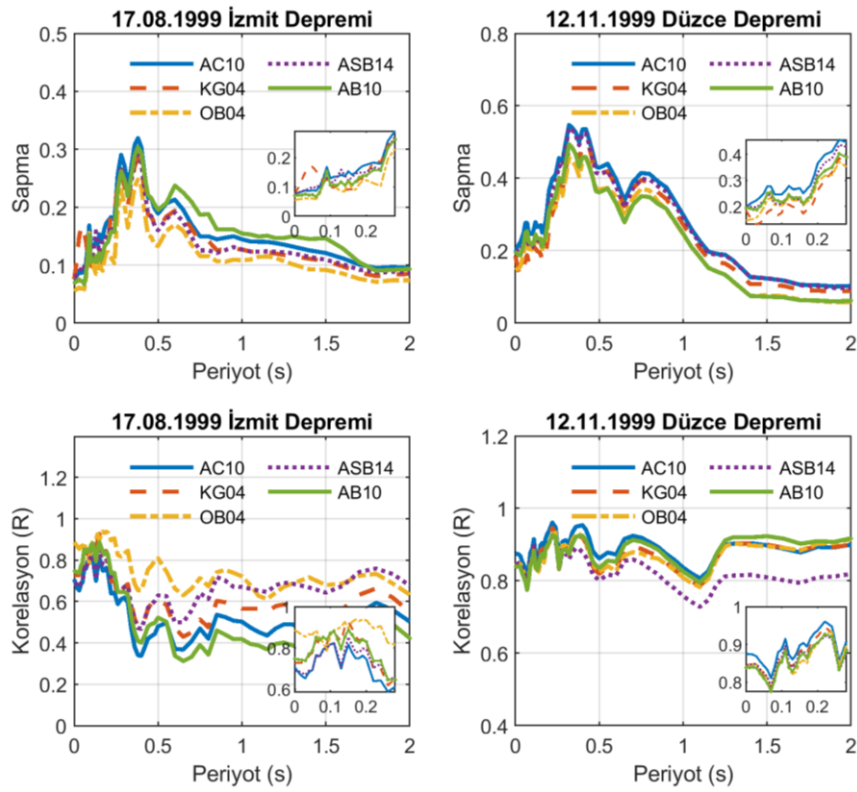
Yer hareketinin yayılmasının bütün olası yayılma hatlarda farklılık gösterebileceği gerçeği bu denklemlerin geliştirilmesine engel olmadığı gibi, bu denklemlerin sismik tehlike analizinin olmazsa olmazlarından olduğu düşünülerek, istatistiksel yöntemlerle en uygun denklemin geliştirilmesi ve veritabanının da bu ihtiyaca uygun olarak oluşturulması önem arz etmektedir.



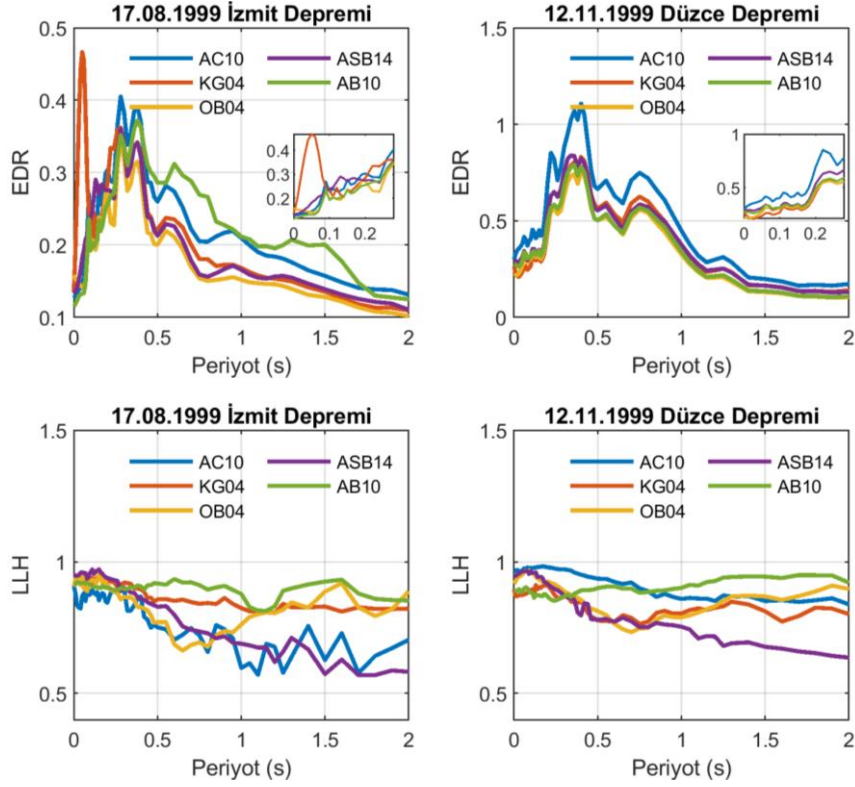
Şekil 2. En büyük yer ivmesi (PGA) ve mesafeye göre artık değerleri dağılımı.

Veritabanının zenginliğinin denklemin kesinliği açısından gerekli olduğu bariz olmakla birlikte, bu veriler derlenirken, mühendislik açısından önem arz eden verilerin önceliğinin bulunmaması eksiklik olarak görülmelidir. Veri önceliği ile anlatılmak istenenin daha kolay anlaşılması için Şekil 2'de ki çizimleri incelemek aydınlatıcı olacaktır. PGA değerleri büyüdükçe ve mesafe kısalдықça artık değerleri de büyümekte, mühendislik açısından önem arz eden veriler için hesaplanan artık değerlerinin, denklemlerin modelleme başarısı açısından diğer artık değerlerinden daha önemli olması gerektiği düşüncesi oluşmaktadır.

Denklemlerin klasik yöntemle karşılaştırılması için geliştirilen göstergelerden en önemlisi ölçüm değerleri ile tahmin değerleri arasındaki yakınlığı ifade etmek için kullanılan benzeşlik katsayısı, R, (korelasyon) ile, σ , standart sapma değeridir. Şekil 3'te görüleceği üzere İzmit depremi için OB04 denklemi neredeyse bütün periyotlarda, düşük sapma ve yüksek benzeşim (korelasyon) değerleri ile öne çıkarken, Düzce depremi için denklemlerin performansları özellikle düşük periyotlarda birbirine çok yakındır.



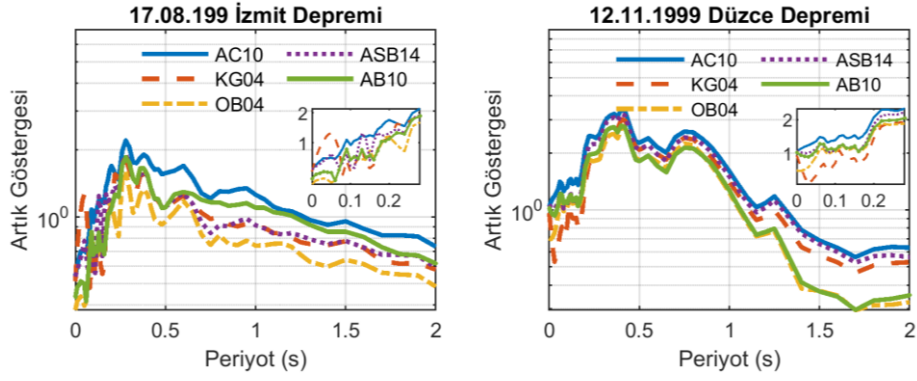
Şekil 3. Standard sapma ve korelasyon katsayısı değerleri.



Şekil 4. EDR ve LLH katsayılarının spektral değerleri.

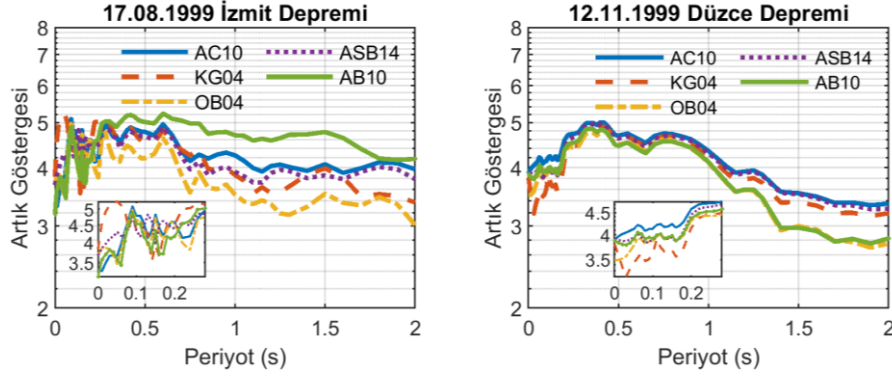
Standart sapma ve benzeşim katsayılarıyla denklemlerin değerlendirilmesinin yanısıra sonuçların pekiştirilmesi ve daha sağlıklı hale getirilmesi amacıyla Scherbaum [29] tarafından geliştirilen LLH yöntemi ile Kale vd. [30] tarafından geliştirilen EDR yöntemleri de kullanılarak ölçülen ve denklemlerle tahmin edilen değerler arasındaki yanlılığın değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 4 te sonuçları gösterilen çözümlere göre de, EDR yöntemine göre de OB04 hem İzmit hem de Düzce deprem verilerinin tahmininde öne çıkmış, düşük periyotlarda ise hem OB04 hem de AB10 diğer denklemlere göre daha az yanlılık göstermişlerdir. LLH verileri ile herhangi bir çıkarıma ulaşmak mümkün değildir.

Aslında klasik yaklaşıma uygun olarak hareket edilirse, sadece Şekil 2'teki artıklar ve Şekil 3'te sunulan değerlerle birlikte yaygın olarak kullanılan yöntemlere başvurularak denklemlerin hangilerinin yerel verilerle daha uyumlu olduğunu kestirmek zor değildir. Ancak böyle bir yaklaşım çalışmanın amacına uygun değildir. Bu bağlamda, ivme orantılı olarak büyütülen artık değerlerinden elde edilen $I_{artık}$ değerlerinin dağılımını gösterir Şekil 5 çizimleri incelendiğinde ise, Şekil 3'te verilen σ ve R değerlerine ve Şekil 4'te sunulan EDR değerlerine göre yapılan değerlendirmenin $I_{artık}$ değerleri için de geçerli olduğu anlaşılır. İzmit depremi için 0.1- 0.2 s arası hariç OB04 ön plana çıkarken, Düzce depremi için değişken sonuçlar gözlemlenmektedir. Düzce depremi verileri değerlendirildiğinde OB04 ile AB10 denklemlerinin ön plana çıktığı görülmüş, KG04'ün ise özellikle 0.2 s ve öncesi için belirgin şekilde başarılı olduğu gözlemlenmiştir.



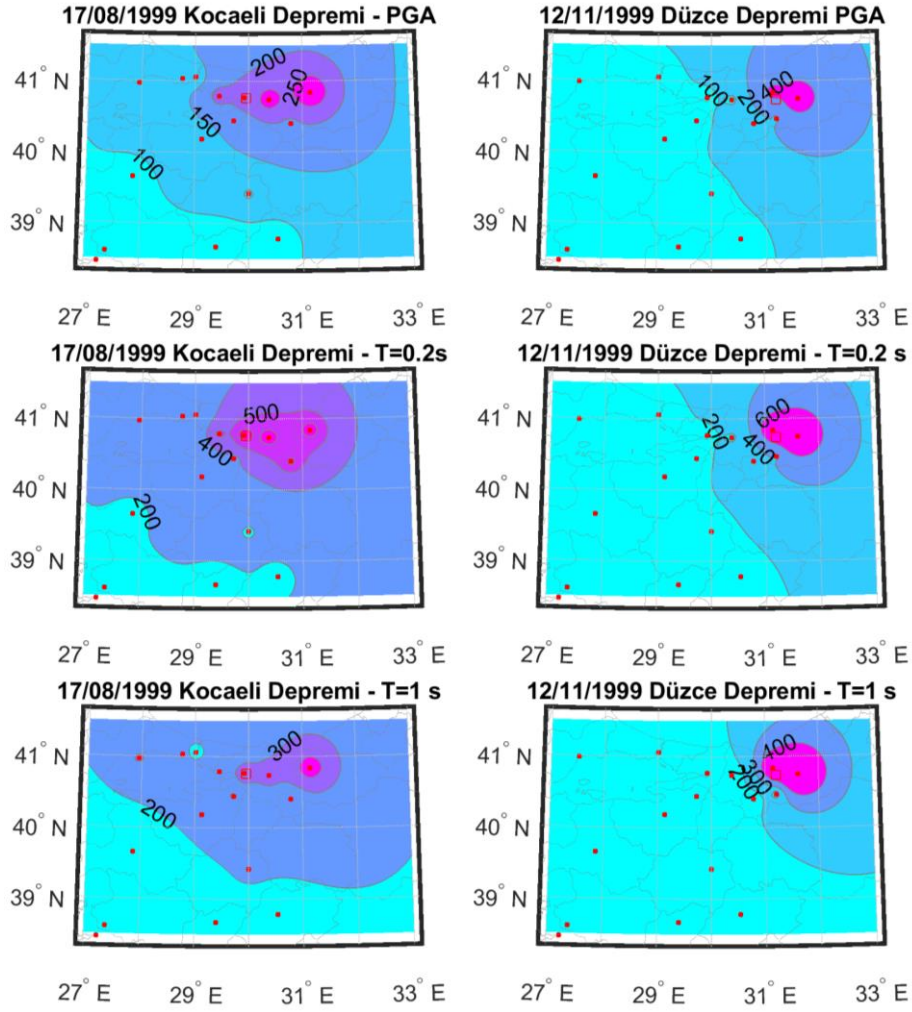
Şekil 5. Artık değerlerinin ivme ile orantılı olarak büyütülmesinden elde edilen $I_{artık}$ değerleri.

Şekil 6'da $M_{artık}$ değerlerinin dağılımı incelendiğinde ise, İzmit depremi için kısa periyotlarda (0.2 s ve öncesi) AB10 ve kalan periyotlarda ise OB04'ün ön plana çıktığı, bunun yanı sıra Düzce depremi içinse, $I_{artık}$ için gözlemlenen sonuçlara benzer sonuçların elde edildiği gözlemlenmektedir. $I_{artık}$ ve $M_{artık}$ değerlerinin aslında birbirleri ile farklı değişkenlere bağlı olarak doğrusal bağı olduğu göz önüne alındığında bu sonucun pek de şaşırtıcı olmadığı da unutulmamalıdır.



Şekil 6. Artık değerlerinin mesafe ile ters orantılı olarak büyütülmesinden elde edilen $M_{artık}$ değerleri.

İvme değerlerinin büyüklüğü ile orantılı ve mesafenin tersi ile orantılı olmak üzere yapılan artık değerlendirmelerinin yanısıra, ivme değerlerinin coğrafi dağılımlarının karşılaştırılması hem mesafe hem de ivme büyüklüğünün aynı anda değerlendirilebileceği bir seçenek sunmaktadır. İvme değerlerinin coğrafi dağılımından kastedilen, her bir istasyondan elde edilen ivme değerleri kullanılarak çalışma alanının bütünü için elde edilen ivme dağılımları (eş-ivme) haritasıdır.



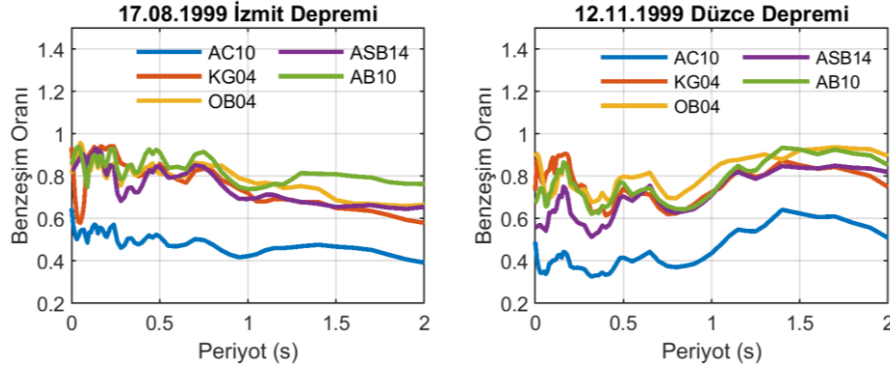
Şekil 7. İzmit ve Düzce deprem kayıtlarından elde edilen eşivme eğrileri.

Şekil 7'de Kocaeli ve Düzce deprem kayıtlarından elde edilen PGA değerleri kullanılarak ve ters uzaklık ağırlıklı ortalama enterpolasyon yöntemi uygulanarak oluşturulan eş-ivme haritası gösterilmektedir. Aslına bakılacak olursa, haritaların ne kadar doğru ya da hâlihazırda düzenlenen eş-şiddet haritalarıyla [31] ne kadar benzeştiği soruları bu çalışmanın ana konusu olmaması sebebiyle yanıtlanmamış, asıl anlatılmak istenen yönteme odaklanılmıştır. Ayrıca, zemin parametrelerinin büyütme ve küçültme etkisi nedeniyle enterpolasyon işleminin güvenilirliği de sorgulanmış olup, bu tür büyütme ve küçültme nedeniyle karşılaşılan ivme değişimlerinin, ancak verilerin sayısının artması ile modellenebileceği, alışlagelmiş yöntemlerle de zemin etkisinin modellenmesinin veri azlığında sorunsuz olmayacağı belirtilmelidir.

Bu noktada ayrıca belirtilmelidir ki, ister coğrafi dağılım şeklinde ister alışlagelmiş yöntemlerle değerlendirilsin, bir denklem böyle bir durumu tahmin etmek için gerekli parametreleri de buldurmalıdır. Özet olarak, eldeki veriler ölçüsünde bir değerlendirme yapılabileceği açık olup, hangi denklemin ne ölçüde bu verileri tahmin edebileceğinin coğrafi dağılım yöntemiyle de yapılabileceği ve hatta bu yöntemin daha güçlü bir değerlendirme olanağı sunduğu anlaşılabilir. Sonuç olarak bu yöntemin uygunluğu düşünülerek çözümler gerçekleştirilmiş ve denklemlerden elde edilen ivme haritalarının kayıtlardan elde edilen ivme haritaları ile benzeşimini belirlemek için 3 no'lu denklem kullanılmış ve her bir periyot için belirlenen S değerleri hesaplanmıştır. Şekil 7'de sunulan S değerleri en başarılı YHTD olarak İzmit Depremi için OB04'ü işaret ederken, Düzce depremi için 0-0.4 s arası OB04 ve geri kalan periyotlarda da AB10'u işaret etmektedir. AC10 ve ASB14 için hesaplanan S değerlerinin çok yüksek olması, bu iki denklem kullanılarak elde edilen ivmelerin

coğrafi dağılımının, Şekil 6'da verilen coğrafi dağılım haritalarıyla pek de uyuşmadığını göstermektedir.

Şekil 5,6 ve 8'de sunulan göstergelerden bir çıkarım yapmak gerekirse, OB04'ün diğer YHTD'lere göre daha başarılı olarak ön plana çıktığı, bunun yanısıra KG04 ve AB10 denklemlerinin de İzmit ve Düzce deprem etkilerinin yayılma desenlerini göreceli olarak daha başarılı bir şekilde tahmin ettiği söylenebilir.



Şekil 8. Harita benzeşim göstergeleri, S.

IV. SONUC

Yer hareketi tahmin denklemleri deprem büyüklüğü, periyot, mesafe ve zemin özelliklerine bağlı olarak ivme değerlerini tahmin etmeye geliştirilirler. Denklem en doğru şekilde oluşturulabilmesi için kullanılan veritabanının zengin olması aranır. Verilerin çokluğu hem genel belirsizliği hem de denklemi oluşturan terimlerin katsayılarının belirsizliğini azaltır.

Ancak şurası da unutulmamalıdır ki, verilerin çokluğu denklemin kesinliği hakkında belirsizliği azaltırken, denklemi oluşturan terimlerin artmasına ve dolayısıyla da verilere bağımlılığı artırmakla birlikte verilerin dışında kalan diğer verilerle ilgili olarak modelleme garantisi de verememektedir. Bunun üzerine bir de yer hareketi yayılma desenlerinin yerelliği ile ilgili varsayımlarda eklendiğinde, denklemlerin terim sayısının çokluğu ya da veri tabanının büyüklüğünün, denklemlerin uygulanabilirliğini sağlayamayabileceği beklenmelidir.

Hâlihazırda geliştirilen denklemler için geniş veritabanları oluşturulduğu [1] ve bu veritabanlarında da hem deprem büyüklüğü hem de mesafe aralıklarının düzenli dağılımı açısından yeterli sayıda örnek bulunduğu bir gerçektir. Bu durum karşısında, yer hareketlerinin mesafeye ve depremin büyüklüğüne göre nasıl bir değişim gösterdiği aslında bilinebilir. Dolayısıyla, zaten hâlihazırda veri tabanlarında kuvvetli yer hareketlerinin kısa mesafelerde yayılma eğilimleri hakkında bilgi sahibi olunabildiği halde, neden bu verileri yalıtıp yeniden bir değerlendirme yapılsın denilebilir. Böyle bir soru karşısında verilebilecek yanıt da sorunun kendisinde gizlidir ki, veritabanlarının büyük olması ve deprem büyüklüğü ve mesafe açısından düzenli bir dağılıma sahip olması, çalışmada odaklanılan yer hareketleri ile ilgili yanlılığa neden olma olasılığı yüksektir. Yani büyük veritabanı içerisinde, çalışmaya konu olan yer hareketlerinin ağırlığı kadar denklemin oluşmasına etki edeceği açıktır. Büyük veri tabanlarının belki de, küçük bir kısmını oluşturan kuvvetli yer hareketlerinin kısa mesafe yayılma özellikleri, aslında o kadar önemli olmakla birlikte, belirgin bir şekilde genel yayılma özelliklerinden farklıdır. Böyle bir durumda bu çalışmanın yapılmasının ne kadar önemli olduğu açıktır.

Bu bağlamda çalışmada elde edilen sonuçlardan belki de en önemlisi, denklemleri geliştirebilmek için kullanılan veri tabanının özelliklerine göre şekillenen denklemlerin, bu veri tabanlarına olan bağımlılığının, denklemlerin tahmin yetisine direk olarak etki ettiğinin gösterilmesidir. İzmit ve Düzce deprem kayıtlarının ağırlığının fazla olduğu OB04 ile KG04 ve veri tabanı sınırları açısından göreceli

olarak büyük depremlerin küçük mesafelerde yayılmasını modellemeyi amaçlayan AB10 denkleminin öne çıkması rastlantı değildir. Özellikle yerellik ve ölçüm yanlılığı hususları göz önüne alındığında, denklemleri oluşturup değişken katsayılarını elde ederken kullanılacak olan veri tabanlarının hem mesafe hem de deprem büyüklüğü açısından daha odaklı olmaları gerektiği de belirtilmesi gereken ikinci bir husustur.

V. KAYNAKLAR

- [1] J. Douglas, (2019, 26 Haziran). *Ground motion prediction equations* [Çevirimiçi]. Erişim: <http://www.gmpe.org.uk>.
- [2] J. Douglas and D. M. Boore, “Peak ground accelerations from large ($M > 7.2$) shallow crustal earthquakes: a comparison with predictions from eight recent ground-motion models,” *Bulleting of Earthquake Engineering*, vol. 16, no.1, pp-1-21, 2018.
- [3] J. Douglas and B. Edwards, “Recent and future developments in earthquake ground motion estimation,” *Earth Science Reviews*, vol.160, pp. 203-219, 2016.
- [4] J. P.Stewart, J. Douglas, M. Javanbarg, N.A. Abrahamson, Y. Bozorgnia, D.M. Boore, K.W. Campbell, E. Delavaud, M. Erdik and P.J. Stafford, “Selection of ground motion prediction equations for the Global Earthquake Model,” *Earthquake Spectra*, vol. 31, no.1, pp. 19–45, 2015.
- [5] D.M. Boore and G. Atkinson, “Ground motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV and %5-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s,” *Earthquake Spectra*, vol. 24, no. 1, pp. 99-138, 2010.
- [6] AFAD, (2019, 20 Haziran). *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı* [Çevirimiçi]. Erişim: <https://deprem.afad.gov.tr/>
- [7] S. Akkar, Z. Cagnan, E. Yenier, Ö. Erdoğan, A. Sandikkaya and P. Gulkan, “The recently compiled Turkish strong motion database: preliminary investigation for seismological parameters,” *Journal of Seismology*, vol.14, no.3, pp. 457-479, 2010.
- [8] M. A. Sandikkaya, M.T. Yılmaz, B. S. Bakır and Ö. Yılmaz, “Site Classification of Turkish National Strong-Motion Stations,” *Journal of Seismology*, vol. 4, pp. 543-563, 2010.
- [9] P.Y. Bard, S.S. Bora, F. Hollender, A. Laurendeau and P. Traversa. “Are the standard V_{s30} - kappa host-to-target adjustments the best way to get consistent hard- rock ground motion prediction?. Best Practices in Physics-based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations: issues and challenges towards full Seismic Risk Analysis,” CEA - AIEA, Cadarache France, 2018.
- [10] O. Kale, S. Akkar, A. Ansari and H. Hamzehloo, “A ground-motion predictive model for Iran and Turkey for horizontal PGA, PGV, and 5% damped response spectrum: Investigation of possible regional effects,” *Bulletin of Seismological Society of America*, vol. 105, no. 2, pp. 963-980, 2015.
- [11] N.M. Kuehn and F. Scherbaum, “A partially non-ergodic ground-motion prediction equation for Europe and the Middle East,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol.14, no.10, pp. 2629–2642, 2016.
- [12] O.J. Ktenidou, Z. Roumelioti, N. Abrahamson, F. Cotton, K. Pitilakis and F. Hollender, “Understanding single-station ground motion variability and uncertainty (sigma): lessons learnt from EUROSEISTEST,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol.16, no. 6, pp. 2311–2336, 2017.
- [13] S.R. Kotha, D. Bindi and F. Cotton, “Partially non-ergodic region specific GMPE for Europe

and Middle-East,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 14, no. 4, pp. 1245–1263, 2016.

[14] D. Bindi, D. Spallarossa and F. Pacor, “Between-event and between-station variability observed in the Fourier and response spectra domains: comparison with seismological models,” *Geophysical Journal International*, vol. 210, no. 2, pp. 1092-1104, 2017.

[15] Z. Gülerce, B. Kargiöglu and N.A. Abrahamson, “Turkey-adjusted NGA-W1 horizontal ground motion prediction models,” *Earthquake Spectra*, vol. 32, pp. 75-100, 2015.

[16] E. Yenier, “Regionally-adjustable generic ground-motion prediction equation,” Ph.D. dissertation, University of Western Ontario, Ontario, Canada, 2015.

[17] H. Karaca, “Güncel veriler ve olasılıksal sismik tehlike analizi kullanarak eşişehir için sismik tehlike haritası ve ivme eğrileri elde edilmesi,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 32, s.1, ss. 243-251, 2017.

[18] E. Kalkan and P. Gülkan, “Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey,” *Earthquake Spectra*, vol. 20, no. 4, pp. 1111–1138, 2004.

[19] C. Özbey, A. Sari, L. Manuel, M. Erdik and Y. Fahjan, “An empirical attenuation relationship for northwestern Turkey ground motion using a random effects approach,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 24, no. 2, pp. 115–125, 2004.

[20] S. Akkar and Z. Çağnan, “A local ground motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global ground-motion models,” *Bulletin of Seismological Society of America*, vol. 100, pp. 2978-2995, 2010.

[21] S. Akkar and J. J. Bommer, “Empirical equations for the prediction of PGA, PGV and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region and the Middle East”, *Seismological Research Letters*, vol. 81, no. 2, pp.195–206, 2010.

[22] S. Akkar, M.A. Sandıkaya and J. J. Bommer, “Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 12, no.1, pp. 359–387, 2014.

[23] S. Akkar, Ö. Kale, A. Yakut and U. Çeken, “Ground-motion characterization for the probabilistic seismic hazard assessment in Turkey,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 8, pp. 3439–3463, 2017.

[24] Ö. Kale, “Some discussions on data-driven testing of ground-motion prediction equations under the turkish ground-motion database,” *Journal of Earthquake Engineering*, pp. 1–22, 2017.

[25] D. Bindi, S. Parolai, H. Grosser, C. Milereit and E. Durukal, “Empirical ground-motion prediction equations for the northwestern turkey using the aftershocks of the 1999 Kocaeli earthquake,” *Geophysical Research Letters*, vol.34, no. L08305, 2007.

[26] P. Gulkan, “Expecting the expected: 1 g peak motions in the automated damage detection,” *Presented in 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, 2012.

[27] A. Akıncı, “Strong ground Motion Characteristics from the 17 August 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake,” *Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, vol. 43, no.2, pp.37-52, 2002.

[28] E. Durukal, “Critical evaluation of strong motion in Kocaeli and Düzce (Turkey) earthquakes,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 22, pp. 589 – 609, 2002.

[29] F. Scherbaum, E. Delavaud and C. Riggelsen, “Model Selection in Seismic Hazard Analysis:

An Information-theoretic Perspective,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 99, pp. 3234-3247, 2009.

[30] Ö. Kale and S. Akkar, “A new procedure for selecting and ranking ground-motion prediction equations (GMPEs): the euclidean-distance based ranking (EDR) method,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol.103, pp. 1069-1084, 2013.


[31] B. Özmen, “17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi Eş-Şiddet Haritası, 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Deprem Raporu,” Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2000.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yüksek Hacimli Çimento İçerikli Kompozitlerde Polipropilen Lif ve Alçıtaşı Kullanımının Mühendislik Özellikleri Üzerindeki Etkisi

 Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR ^{a,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: obayraktar@kastamonu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.896642

ÖZ

Bu çalışmada, polipropilen lif ve alçıtaşı kullanımı ile üretilen harçların basınç ve eğilme dayanımına, görünür porozite ve su emme kapasitesine, kuruma büzülmesi davranışına etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda Türkiye’de üretilmeyen genişlen çimento için alternatif bir yöntem düşünülmüş ve alçıtaşı toplam hacime dahil edilmiştir. Tüm harç karışımlarında su/bağlayıcı değeri 0,25 olarak sabit tutulmuştur. Dayanım özellikleri ve kuruma büzülmesi davranışlarını geliştirmek amacı ile harç karışımlarına toplam hacmin %1,5 ve %3,0 oranlarında polipropilen lif eklenmiştir. Lif kullanımının harç karışımlarının işlenebilirliğini olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle lif içeren karışımlarda sabit yayılma değerlerini elde etmek için lif içermeyen karışıma kıyasla daha fazla su ilave edilmesi gerekmektedir. Ancak dayanım azalmasını engellemek amacıyla lif içeren ve içermeyen harç karışımlarında su miktarları sabit tutulmuştur. Kompozitlerin işlenebilirliği için kendiliğinden yerleşme özelliği esas alınmış ve bu kapsamda yüksek oranda su azaltıcı katkı oranı %2,5 olarak kullanılmıştır. Üretilen harç karışımlarının 1, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, 28 günlük görünür porozite ve su emme miktarları, 90 günlük kuruma büzülmesi değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre lif kullanımı ile istenilen yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alçıtaşı, Kuruma büzülmesi, Mekanik özellikler, Polipropilen lif

The Effect of The Use of Polypropylene Fiber and Gypsum in High Volume Cement Contained Composites on Engineering Properties

ABSTRACT

In this study, the effects of mortars produced with the use of polypropylene fiber and gypsum on the compressive and flexural strength, apparent porosity and water absorption capacity, and drying shrinkage behavior were investigated. In this context an alternative method was considered for expanding cements not produced in Turkey and gypsum was included in the total volume. The water / binder value was kept constant at 0.25 in all mortar mixes. In order to improve the strength properties and drying shrinkage behavior, 1.5% and 3.0% of the total volume of polypropylene fiber was added to the mortar mixes. It is known that the use of fiber negatively affects the workability of mortar mixes. For this reason, more water has to be added to the fiber-free mixture in order to achieve constant spreading values in fiber-containing mixtures. However, the amount of water was kept constant in mortar mixes with and without fiber in order to prevent loss of strength. For the workability of composites, self-compacting feature was taken as a basis and in this context, a high rate of water reducing admixture was used as 2.5%. 1, 7 and 28 days compressive and bending strength, 28 days apparent porosity and water absorption, 90 days drying shrinkage values of the produced mortar mixtures were determined. According to the results, the need for water reducing additives has increased with the use of fiber to achieve the desired spreading value.

Keywords: Gypsum, Drying shrinkage, Mechanical properties, Polypropylene fiber

I. GİRİŞ

Dünya nüfusu son yüzyılda tarih boyunca olmadığı kadar artmış ve 1750’li yıllarda sadece 717 milyon civarında iken, 2020 yılında 7,7 milyarı aşmıştır. Dünya nüfus artışının devam edeceği ve 2030 yılında 8,5 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir [1]. Nüfus artışı, insanların temel ihtiyaçlarından olan barınma ihtiyacının karşılanabilmesi amacıyla yeni binaların yapılmasını zorunlu kılmaktadır [2]. Günümüzde yapılan binaların büyük bölümünün temel yapıtaşını beton oluşturmaktadır. Çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı malzemelerinin bir araya getirilmesiyle oluşan beton, çağımızda çok çeşitli yapılarda kullanılmaktadır [3]. Dünyada Portland çimentosu ile üretilen betonlar en çok tercih edilenlerdir. Portland çimentosunun kullanımıyla beraber karşımıza çıkan ana davranışlarından biri de yaygın olarak kuruma büzülmesi davranışıdır. Kuruma büzülmesi sonucu beton elemanlarda çatlaklar meydana gelebilmektedir. Çimento içerisinde büzülme sebepleri, çimentonun hidratasyonu aşamasında açığa çıkan hidratasyon malzemelerinin hacminin giren malzeme hacminden az olması durumu ayrıca betonun bünyesinde bulunan suyun sıcaklık ile ilişkili olarak yok olması da büzülme için esas olarak etkileyen faktörlerden oluşmaktadır. Genleşen çimentolar bu aşamada devreye girerek rötre nedeniyle oluşan hacim azalmasını önlemiş, çekme gerilmelerinin donatı üzerinde yoğunlaşmasını sağlamıştır [4]. “Genleşen çimentolar” ACI Committee 223 tarafından şu şekilde tarif edilmiştir; “suyla karıştırıldığında priz esnasında ve sonrasında ve de sertleşme sırasında hacimde belirgin bir artış yaratan çimento türüdür.” [5]-[9].

Beton, günümüzde o kadar yoğun kullanılmaktadır ki, dünyada sudan sonra en çok tüketilen malzeme olduğu belirtilmektedir. Bunun nedenlerinin başında ise ekonomik olması gösterilmektedir. Örneğin; beton üretiminde kullanılan enerjinin çelik üretiminde kullanılan enerjiden 20 kat daha az olduğu ifade edilmektedir [10]. Bununla birlikte yine de betonun ana maddesi olan çimento maliyetleri oldukça yüksektir. Çimento sanayinde doğal puzolanik katkı maddesi olarak, büyük oranda doğal cürufur kullanılmaktadır. Ayrıca yapay olarak elde edilen yüksek fırın cürufu ve uçucu küller de katkı maddesi olarak kullanılabilir. Çimento maliyetlerinin düşürülmesi açısından katkı maddelerinin yüksek oranda kullanılabilir kalitede olması büyük önem taşımaktadır [11]. Bundan dolayı farklı katkı maddelerinin beton üretiminde kullanılabilirliğine ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır [12]-[13].

Günümüzde kentsel ve endüstriyel atıkların (uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.) beton üretiminde kullanılması ile çevresel problemler azaltılmaktadır [14]. Beton ikame malzemeleri aynı zamanda betonun temel özelliklerini ve dolayısıyla farklı kullanım alanlarındaki kalitesini belirlemektedir. Silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi pek çok atık ikame malzemesi kullanılmaktadır [15]-[17].

Bu çalışmada da yüksek hacimli çimento içerikli kompozitlerde polipropilen lif ve alçıtaşı kullanımının, beton kalitesini belirleyen önemli karakterlerden kuruma büzülmesi üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Prizini almış betonun içerisinde alçıtaşı meydana gelmesi genleşmeye yol açmaktadır. Fakat, alçıtaşı ve yarı kararlı durumdaki kalsiyum-alüminomonosülfhidrat arasındaki reaksiyonlar sonucunda asıl genleşme meydana gelmektedir. Prizini almış beton içerisinde etrenjit ($C_6AS_3H_{32}$) yapısının oluşması, çok büyük genleşmeler oluşturmakta, betonun çatlamasına ve parçalanmasına neden olmaktadır [18]. Kaplan ve Öztürk yaptıkları çalışmada C_3A ’nın çimento esaslı kompozitlerdeki boyutsal kararlılığa etkisini göstermiştir [19]. Çalışmaya konu polipropilen (PP) lifler, petrolün bir türevidir olup, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle, inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan organik bir malzemedir. Dünyada çimento ve alçı gibi organik kökenli inorganik bağlayıcılar ile bitüm gibi organik bağlayıcıları mikro donatılandırmak ve durabilite özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen liflerin beton içerisinde kullanılmasıyla gösterdiği en önemli özellik, beton dökümünün ilk saatleri içerisinde meydana gelen plastik büzülmeden dolayı oluşan çatlama kontrol etmektir [3].

Polipropilen filmlerin fibrilasyonu ile üretilen polipropilen lifler, Portland çimento betonunda 1960’ların sonlarından itibaren kullanılmaktadır. Polipropilen ve diğer sentetik lifler, plastik büzülmesini kontrol etmek için ikincil donatı olarak betona eklenir. En yaygın uygulama, beton nem kaybından dolayı büzülmesinde temelin veya yapının diğer kısımlarının kısıtlamasının çekme

gerilmeleri ürettiği eğimli döşeme inşaatıdır. Bu gerilmeler erken yaşta beton dayanımını aşarak büzülme çatlaklarına neden olabilir. Polipropilen lifler, gerilme betonunu artırarak ve oluşan çatlakları köprüleyerek plastiğin ve erken kuruma büzülmesini azaltır. Polipropilen liflerin sertleşmiş betonun özellikleri üzerindeki etkisi, lifin cinsine, uzunluğuna ve hacim oranına, karışım tasarımına ve kullanılan beton malzemelerin niteliğine bağlı olarak değişmektedir [20].

Bu çalışmada agrega olarak silis kumu (doğal agrega) ile lif içeren ve içermeyen olmak üzere 9 tip harç karışımları üretilmiştir. Dayanım özellikleri ve kuruma büzülmesi davranışlarını geliştirmek amacıyla harç karışımlarına toplam hacmin %1,5 ve %3,0 oranlarında polipropilen lif eklenmiştir. Üretilen harç karışımlarının 1, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, 28 günlük görünür porozite ve su emme miktarları, 90 günlük kuruma büzülmesi değerleri belirlenmiştir.

II. MALZEMELER ve YÖNTEM

A. MALZEMELER

Karışımların üretilmesinde CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. TS EN 196-1 standardına uygun çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Bileşim			
<i>(%)</i>			
SiO₂	20,31	Al₂O₃	5,64
Fe₂O₃	3,27	CaO	64,02
MgO	1,64	SO₃	2,86
Na₂O	0,87	K₂O	0,80
Kızdırma kaybı			2,17
<i>(%)</i>			
C₃S	C₂S	C₃A	C₄AF
55,55	16,50	9,41	1,48
Özgül yüzey alanı			3150
<i>(cm² gr⁻¹)</i>			
Özgül ağırlık			3,13
<i>(kg m⁻³)</i>			

Agrega olarak 0-1 mm elek açıklığına sahip silis kumu (doğal agrega) kullanılmıştır. Agregaya ait tane dağılımı Tablo 2’de verilmiştir. Agreganın özgül ağırlığı 2.64, su emme değeri ise %2,3 olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Agrega tane dağılımı tablosu.

Elek açıklığı	4	2	1	0,5	0,25	0,125	Pan
<i>(mm)</i>							
Elekten geçen	100	99,8	99,2	78,5	2,3	0,3	0
<i>(%)</i>							

Çimento esaslı kompozitlerin işlenebilirliğini arttırmak için yeni nesil polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Şeffaf renkli olan yüksek oranda su azaltıcı katkının özgül ağırlığı 1,05’dir. Karışımların üretiminde ve kür işleminde içilebilir nitelikte su kullanılmıştır. Çimento esaslı kompozitlerde genleştirici olarak kullanılan alçıtaşının SO₃ içeriği %38,13 olarak belirlenmiştir (XRF yöntemi ile). Alçıtaşı bilyalı değirmende 1 saat öğütüldükten sonra kullanılmıştır.

Genleşme ve büzülme etkisini kontrol etmek için kullanılan polipropilen lifin (PP) teknik özellikleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Polipropilen lifin (PP) teknik özellikleri.

Özgül ağırlığı	0,91	Erime noktası (°C)	175
Çekme dayanımı (MPa)	350	Boy (mm)	6
Kopma uzaması (%)	100	Çap (µm)	34

B. KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE TEST YÖNTEMLERİ

Karışımların hazırlanmasında yüksek erken ve nihai dayanım için çimento içeriği 1000 kg/m³ olarak seçilmiştir. s/ç oranı ise tüm karışımlarda sabit olarak 0.25'dir. Kompozitlerin işlenebilirliği için kendiliğinden yerleşme özelliği esas alınmış ve bu kapsamda yüksek oranda su azaltıcı katkı oranı %2,5 olarak kullanılmıştır. Alçıtaşı çimento ağırlığına göre %2,5 ve 5 oranlarında karışıma eklenmiştir. Alçıtaşı ilavesinde çimento miktarında herhangi bir azaltma yapılmamıştır. Alçıtaşı bağlayıcı olarak düşünülmüş toplam hacime dahil edilmiştir. Bu yüzden alçıtaşı ilavesi ile agrega miktarı azalmıştır. PP lif karışıma hacimce %1,5 ve 3 oranlarında eklenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında üretilen karışımların oranları ve malzeme miktarları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Çimento esaslı kompozitlere ait malzeme miktarları.

Karışım Oranları			Malzeme Miktarları (kg/m ³)					
Karışım	PP	Alçı	Çimento	Agrega	Su	Kimyasal	Alçı	Lif
P0A0	0	0	1000	1062,7	250	25	0	0
P0A2	0	2,5	1000	1034,4	250	25	25	0
P0A5	0	5	1000	1006,2	250	25	50	0
P1A0	1,5	0	1000	1062,7	250	25	0	1,37
P1A2	1,5	2,5	1000	1034,4	250	25	25	1,37
P1A5	1,5	5	1000	1006,2	250	25	50	1,37
P3A0	3	0	1000	1062,7	250	25	0	2,73
P3A2	3	2,5	1000	1034,4	250	25	25	2,73
P3A5	3	5	1000	1006,2	250	25	50	2,73

Karışımların hazırlanmasında izlenen yol 10 adımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- 1) Çimento + 2/3 su karıştırılır (30 sn-düşük hız)
- 2) 30 sn yüksek hızda karıştırma işlemine devam edilir
- 3) 1 dakika karışımın dinlendirilir
- 4) 1/3 su + kimyasal katkı yapılır (30 sn-düşük hız)
- 5) 1 dakika yüksek hızda karıştırma işlemine devam edilir
- 6) Agrega eklenir (60 saniye-düşük hız)
- 7) 2 dakika yüksek hızda karıştırma işlemine devam edilir
- 8) 1 dakika karışım dinlendirilir
- 9) Alçı ve PP lif ilavesi yapılır (60 saniye-düşük hız)
- 10) 1 dakika yüksek hızda karıştırma işlemine devam edilir.

Yukarıda verilen işlem basamaklarından sonra elde edilen çimento esaslı kompozitlerde yayılma çapı ölçülerek taze hal özellikleri belirlenmiştir. 9. Karışım hariç tüm kompozitlerde kendiliğinden

yerleşme özelliği elde edilmiştir. Şekil 1’de bazı çimento esaslı kompozitlerin taze hal görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1. Bazı çimento esaslı kompozitlerin taze hal görüntüleri.

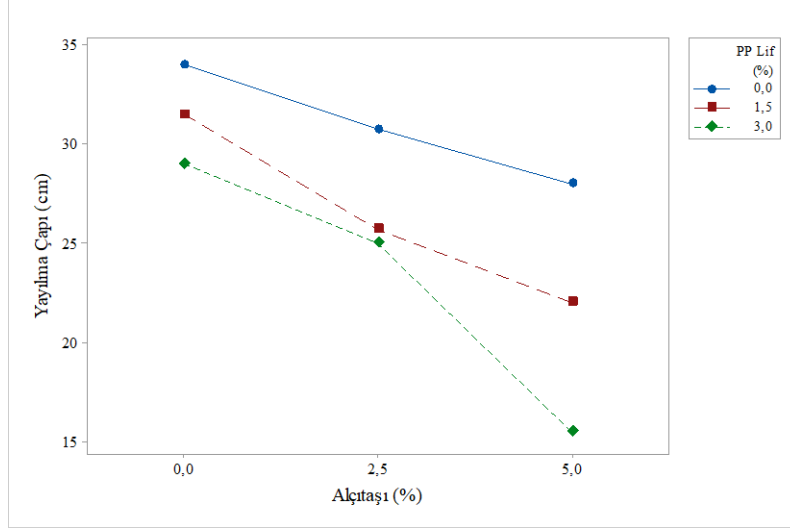
Yayıma çapları belirlenen karışımlar daha sonrasında kalıplarına yerleştirilmiştir. Ayrıca kompozitlerin 50*50*50 mm ayrıtlı küp numuneler ile taze birim hacim ağırlıklarında tespit edilmiştir. 24 saat oda koşullarında bekletilen kompozitler kalıplarından sökülerek kür işlemine (standart su kürü) tabi tutulmuştur. Çimento esaslı kompozitlerin basınç ve eğilme dayanımları 40*40*160 mm boyutlarına sahip prizma numuneler ile belirlenmiştir. İlk olarak 3 noktalı eğilme deneyi gerçekleştirilmiş daha sonrasında basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Mekanik özelliklerde 1, 7 ve 28. gündeki dayanımlar belirlenmiştir. 24 saat sonra kalıplarından sökülen karışımlar su kürüne tabi tutulmadan (1 gün) test edilmiştir.

Basınç ve eğilme dayanımı deneyinde ASTM C348 ve 349 standartları esas alınmıştır. Kompozitlerin kuruma büzülmesi 25*25*285 mm harç çubukları kullanılarak belirlenmiştir. Kuruma büzülmesi deneyi ASTM C 596 standardında belirtilen kurallara göre gerçekleştirilmiştir. Kuruma büzülmesi için ilk olarak 7 günlük su kürü yapılmıştır. Su kürü sonrasında kompozitlerin 90. güne kadar belirli periyotlarda kuruma büzülmesi davranışı dijital komparatör ile ölçülmüştür. Çimento esaslı kompozitlerin kapilerite özellikleri ASTM C 1585’e uygun olarak 50*50*50 mm ayrıtlı küp numunelerde belirlenmiştir. Küp numunelerin 24 saatteki su işleme derinlikleri belirlenmiştir. Kompozitler 28 günlük kür işlemi sonrasında 3 gün boyunca 50 °C’de etüvde kurutulmuştur. Küp numunelerin yan yüzeylerine yaklaşık 0,5 cm yüksekliğinde su geçirimsizlik malzemesi sürülmüş ve sonrasında 24 saate kadar kılcal yolla su emme özelliği belirlenmiştir. Çimento esaslı kompozitlerin porozite özellikleri arşimed terazisi yöntemiyle tespit edilmiştir. Arşimed terazisi yönteminde 50*50*50 mm ayrıtlı küp numuneler kullanılmıştır. Bütün deneysel veriler en az 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

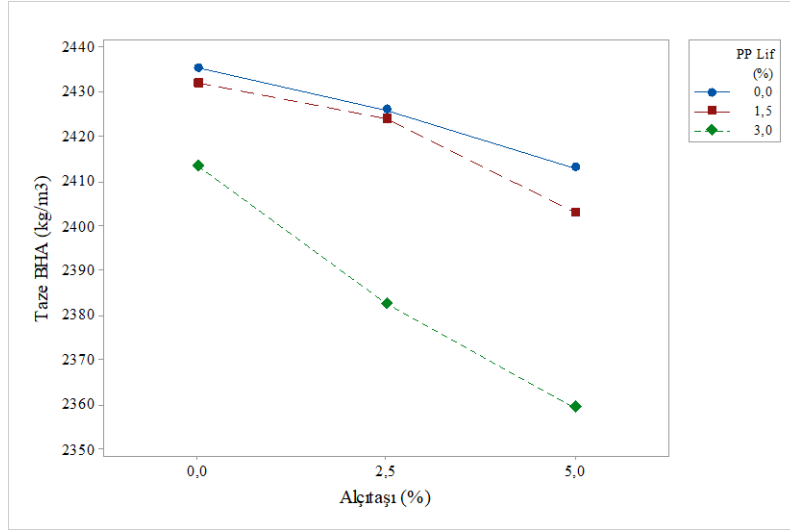
III. BULGULAR

A. TAZE HAL ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamında farklı oranlarda polipropilen lif ve alçıtaşı ilave edilen çimentolarda yayılma çapı ve taze birim hacim ağırlığı üzerine etkileri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 1. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin yayılma çapına etkisi.



Şekil 2. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin taze birim hacim ağırlığına etkisi.

Şekil 2 incelendiğinde en yüksek yayılma çapının PP lif ilavesi yapılmayan çimentolarda ölçüldüğü, PP lif ilavesi arttıkça yayılma çapının azaldığı görülmektedir. Aynı durum alçıtaşı ilavesi için de geçerlidir. Alçı taşı ilave oranı arttıkça yayılma çapı da belirgin şekilde azalmaktadır.

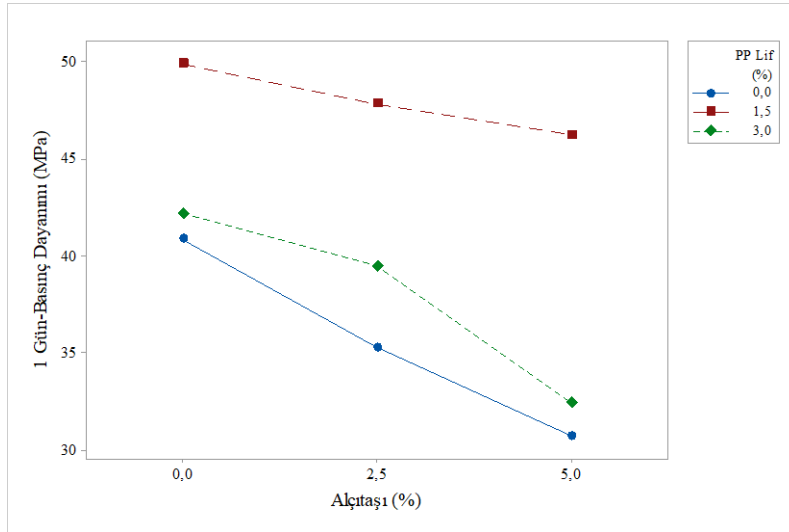
PP lif ve alçıtaşı ilavesi yapılmayan betonda yayılma çapı 35 cm civarında iken %3 PP lif ve %5 alçıtaşı ilavesi yapılan betonlarda yayılma çapı 15 cm civarına düşmüştür.

Benzer durum taze birim hacim ağırlığı için de geçerlidir. Hem PP lif hem de alçıtaşı ilavesi taze birim hacim ağırlığı oranını önemli ölçüde düşürmektedir. Ancak Şekil 2’de görüleceği üzere dikkat çeken önemli bir husus %1,5 PP lif ilavesinin taze birim hacim ağırlığı oranını önemli ölçüde etkilememesine rağmen %3 PP lif ilavesinin önemli düzeyde etkilemesidir. %5 alçıtaşı ilavesi yapılarak, PP lif ilavesi yapılmayan ve %1,5 PP lif ilavesi yapılan betonlarda taze birim hacim ağırlığı miktarı 2400 kg/m³’ün üzerinde iken, %3 PP lif ilavesi yapılan betonlarda bu miktar 2360 kg/m³ civarında hesaplanmıştır.

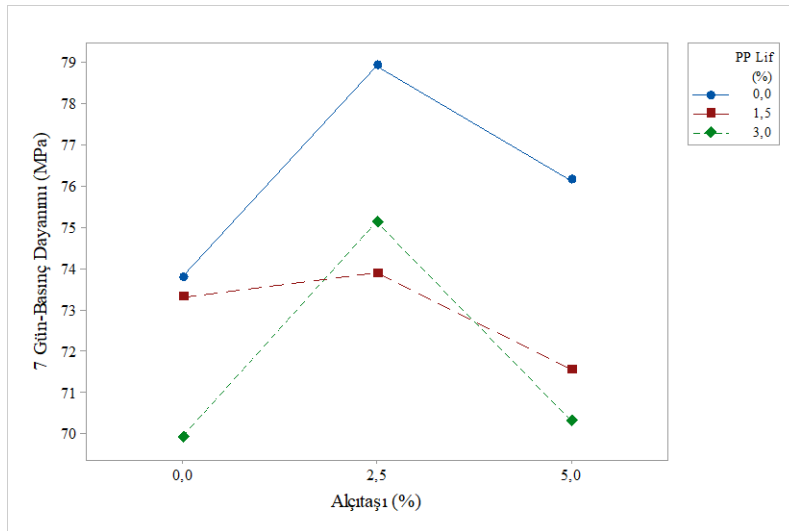
PP liflerin hidrofil özellikte olması işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Karışım suyunun bir kısmını PP lif emdiği için işlenebilirlik azalmıştır. Ayrıca karışımlarda alçıtaşı kullanıldığı için birincil etrenjit oluşumuna bağlı olarak karışımların işlenebilirliği azalmıştır.

B. BASINÇ DAYANIMI

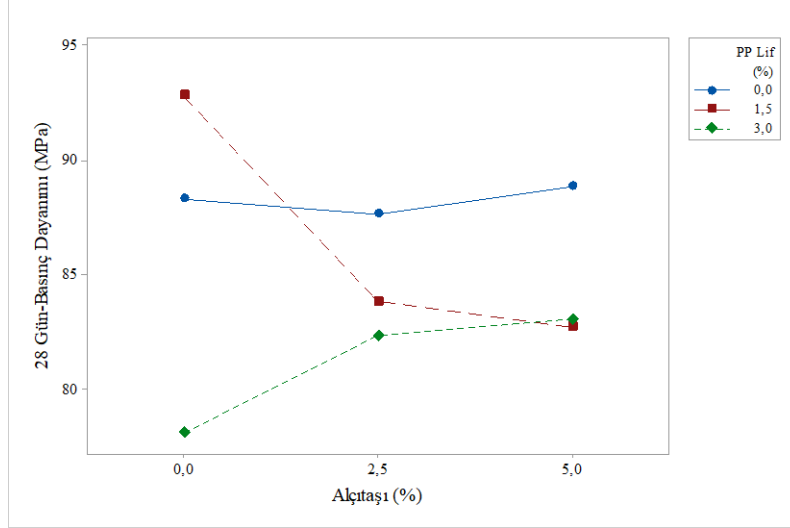
PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 1. 7. ve 28. günde basınç ve eğilme dayanımına etkisini gösterir grafikler Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 1 günlük dayanımına etkisi.



Şekil 4. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 7 günlük basınç dayanımına etkisi.



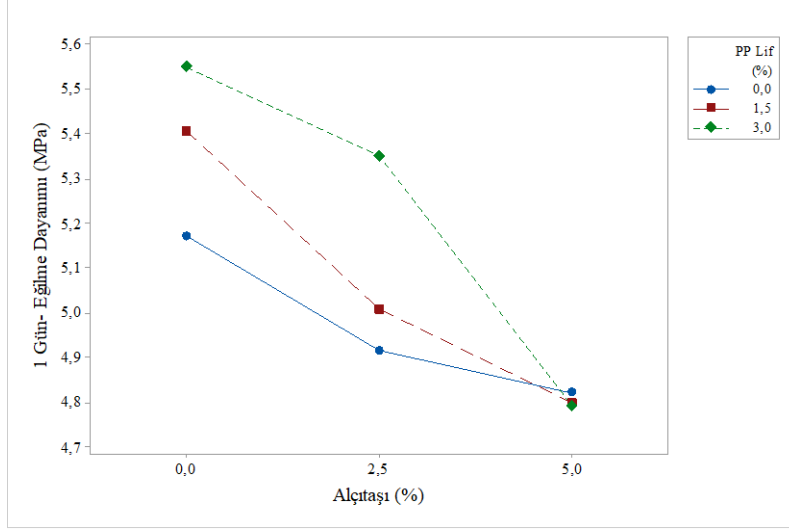
Şekil 5. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 28 günlük basınç dayanımına etkisi.

Şekil 3 incelendiğinde 1. günde dayanımının hem PP lif ilavesi hem de alçıtaşı ilavesi ile doğru orantılı olarak azaldığı görülmektedir. Ancak 7. günde farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Genel olarak PP lif ilavesi basınç dayanımını azaltmaktadır. Ancak alçıtaşı ilavesi basınç dayanımını önce azaltmakta, daha sonra ise artırmaktadır. 7. günde en yüksek basınç dayanımı %2,5 alçıtaşı ilavesinde elde edilmiştir. 28. günde ise alçıtaşı ilavesi yapılmayan harçlarda en yüksek basınç dayanımı %1,5 PP lif ilavesi yapılan harçlarda, en düşük basınç dayanımı ise %3 PP lif ilavesi yapılan harçlarda elde edilirken %2,5 alçıtaşı ilavesi yapılan harçlarda en yüksek basınç dayanımı PP lif ilavesi yapılmayan harçlarda, en düşük basınç dayanımı ise %3 PP lif ilavesi yapılan harçlarda elde edilmiştir. %5 alçıtaşı ilavesi yapılan harçlarda ise en yüksek basınç dayanımı yaklaşık 9 MPa ile PP lif ilavesi yapılmayan harçlarda elde edilirken hem %1,5 hem de %3 PP lif ilavesi yapılan harçlarda basınç dayanımının 8,5 MPa'nın altına düştüğü görülmektedir.

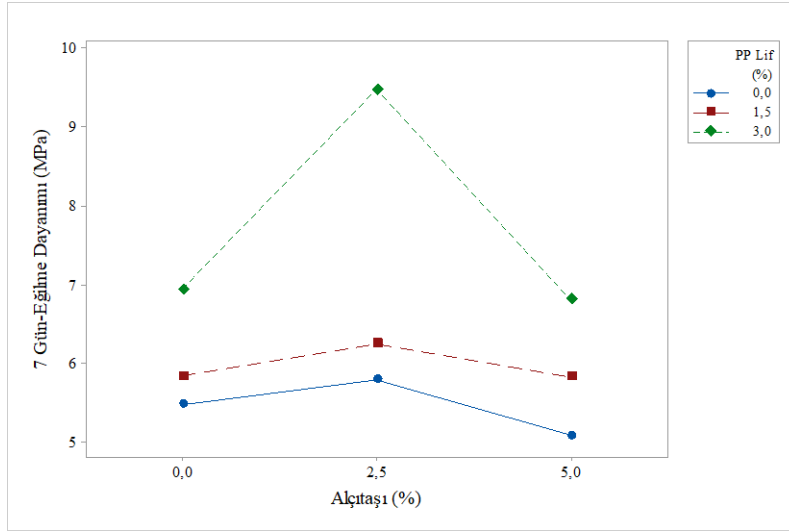
PP lif ilavesi 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını genellikle azaltmıştır. İşlenebilirliğin azalması sonucunda basınç dayanımları azalmaktadır. Türkiye'de genleşen çimento üretimi olmadığı için çimento esaslı kompozitlerde rötre hasarını azaltmak için genellikle mineral katkıları kullanılmaktadır. Öz [26], atık cam tozu ve yüksek fırın cürufu mineral katkı malzemelerinin, kendiliğinden yerleşen harçların basınç ve eğilme dayanımı gibi temel mekanik özelliklerini geliştirdiğini ve üretilen harçların basınç dayanımlarını artırdığını belirtmektedir. Binici vd. [27] pamuk atığı, uçucu kül ve yapıştırıcı reçine kullanılarak üretilen hafif yapı malzemelerinin ısı ve ses yalıtımı için kullanılabileceğini ayrıca, baritli hafif yapı malzemelerinin radyoaktif geçirgenliklerinin düşük düzeyde olduğunu belirtmektedirler. Lu vd., [28] atık cam tozunun, harçların priz süresini daha düşük bir hidrasyon ısıyla kısalttığını cam tozunun %20 oranında çimentoyla ikamesinin numunenin mukavemetini arttırdığını belirlemişlerdir. Ez-Zaki et al., [29] atık malzeme olarak cam tozu ve midye kabuğu tozu kullanılmıştır. Cam tozu ve midye kabuğu tozu malzemenin ısı geçirgenliğini düşürmüş ve yalıtım işlerinde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Younes et al., [30] çimento harcı kompozitlerinin üretiminde pirinç kabuğu külü, atık cam parçalarının kullanılmasını araştırmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde hem atık camın hem de pirinç kabuğu külünün bütün harç numunelerinde basınç dayanımı değerlerini ve hidrasyon süresini artırdığını, gözeneklilik ve su emme kapasitesi gibi fiziksel özelliklerde ise azalmalar göstermiştir. Lu ve Poon [31] Atık silis camı kırıntısı miktarının artmasıyla işlenebilirliğin arttığını, aynı doğrultuda, mekanik özelliklerin ve yüksek sıcaklığa karşı direncin arttığını da belirlemişlerdir. Sonuç olarak çimento ikamesi olarak farklı malzemelerin kullanılması beton özelliklerini önemli ölçüde değiştirebildiği çok sayıda çalışmada ortaya konulmuştur.

C. EĞİLME DAYANIMI

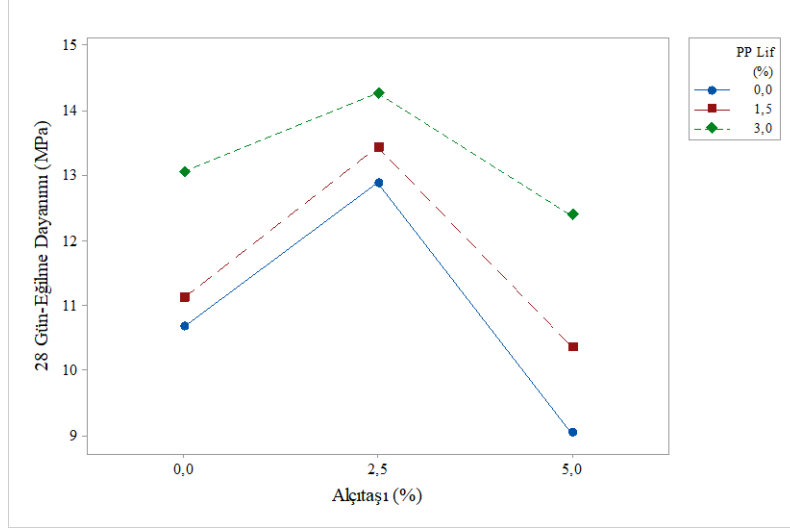
PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 1., 7. ve 28. günde eğilme dayanımına etkisini gösterir grafikler Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 6. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 1 günlük eğilme dayanımına etkisi.



Şekil 7. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 7 günlük eğilme dayanımına etkisi.



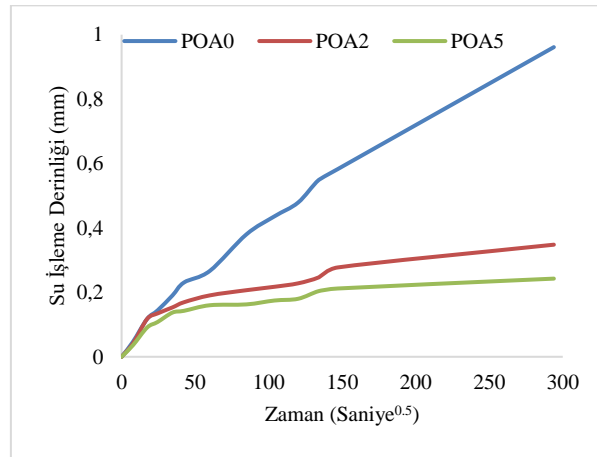
Şekil 8. PP lif ve alçıtaşı ilavesinin 28 günlük eğilme dayanımına etkisi.

Eğilme dayanımının değişimine ilişkin grafikler incelendiğinde 1. günde genel olarak eğilme dayanımının PP lif ilavesi ile doğru orantılı olarak arttığı, alçıtaşı ilavesi ile ise ters orantılı olarak arttığı yani alçıtaşı miktarı arttıkça eğilme dayanımının azaldığı görülmektedir. 7. günde ise PP lif ilavesi yapılmayan ve %1,5 oranında PP lif ilavesi yapılan harçlarda alçıtaşı ilavesi ile birlikte eğilme dayanımının önemli ölçüde değişmediği görülmektedir. 1. gün sonuçlarında olduğu gibi 7. Gün sonuçlarına göre de eğilme dayanımı PP lif ilavesi ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

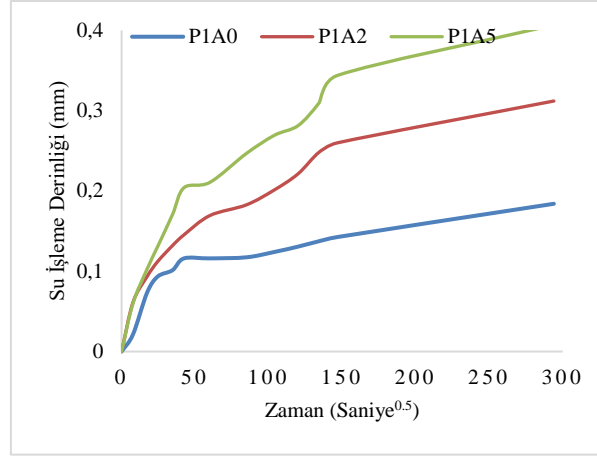
28. gün sonuçlarına göre de artan PP lif ilavesi eğilme dayanımını artırmaktadır. Ancak, en yüksek eğilme dayanımı değerleri %2,5 alçıtaşı ilavesi yapılan harçlarda elde edilmiştir. Genel olarak en düşük değerler ise %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilmiştir.

D. KAPİLARİTE VE GÖRÜNÜR POROZİTE

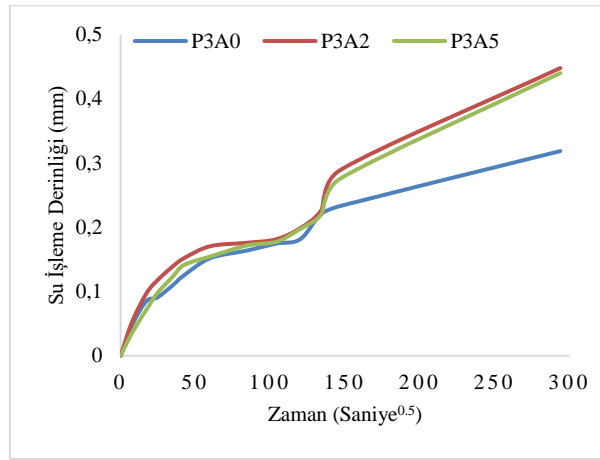
PP lif ve alçıtaşı ilavesinin kapilarite ve görünür porozite değerlerini gösterir grafikler Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



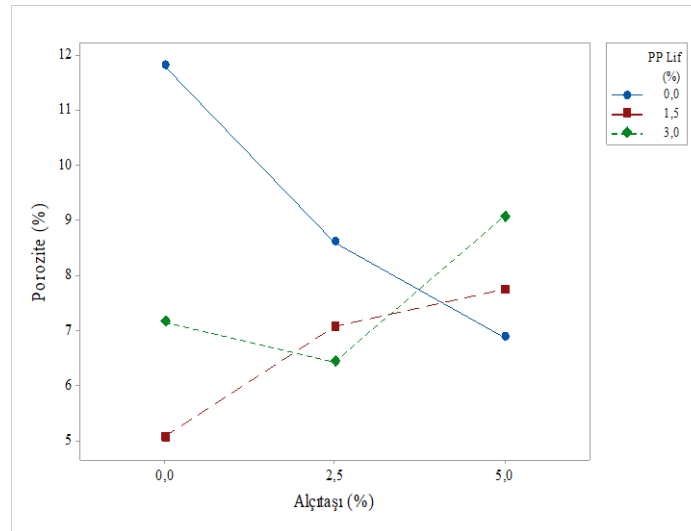
Şekil 9. Lif katkısız harçların zamana bağlı su işleme derinlikleri.



Şekil 10. %1,5 lif katkılı harçların zamana bağlı su işleme derinlikleri.



Şekil 11. %3 lif katkılı harçların zamana bağlı su işleme derinlikleri.



Şekil 12. Porozite değerleri.

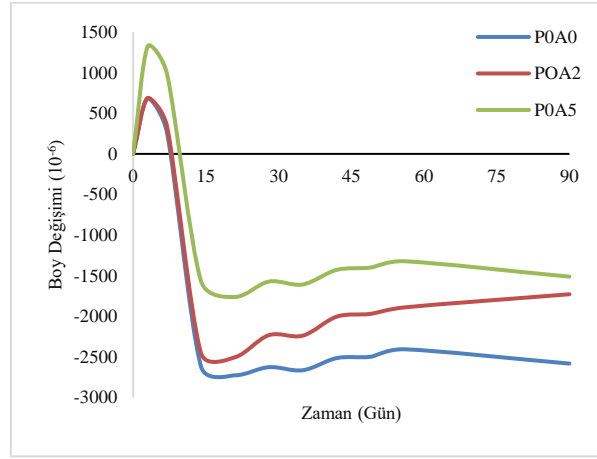
Kapilarite değerleri incelendiğinde PP lif ilavesi yapılmayan örneklerde alçıtaşı ilavesi arttıkça zamana bağlı olarak su işleme derinliğinin azaldığı belirlenmiştir. Ancak %1,5 PP lif ilavesi yapılan numunelerde bu durum tersine dönmüştür. %1,5 PP lif ilavesi yapılan örneklerde zamanla birlikte en yüksek su işleme derinliği değerleri %5 alçıtaşı ilavesi yapılan örneklerde, en düşük değerler ise

alçıtaşı ilavesi yapılmayan örneklerde elde edilmiştir. %3 PP lif ilavesi yapılan örneklerde ise %2,5 ve %5 alçıtaşı ilavesi yapılan örneklerde elde edilen değerler birbirine oldukça yakın ve bu değerler alçıtaşı ilavesi yapılmayan örneklerdekinden daha yüksektir.

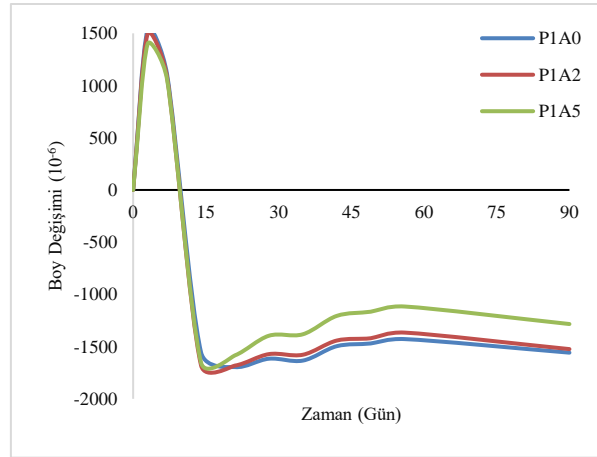
Görünür porozite değerleri incelendiğinde ise PP lif ilavesi yapılmayan örneklerde en yüksek değer alçıtaşı ilavesi yapılmayan numunelerde, en düşük değer ise %5 alçıtaşı ilavesi yapılan örneklerde elde edilmiştir. Dolayısıyla PP lif ilavesi yapılmayan numunelerde alçıtaşı ilavesi arttıkça görünür porozite değerleri düşmektedir. %1,5 PP lif ilavesi yapılan numunelerde ise tam tersi bir durum söz konusu olup alçıtaşı ilavesi arttıkça görünür porozite değerleri de artmaktadır. %3 PP lif ilavesi yapılan numunelerde ise en düşük görünür porozite değeri %2,5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde, en yüksek görünür porozite değeri ise %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilmiştir.

E. KURUMA BÜZÜLME DEĞİŞİMİ

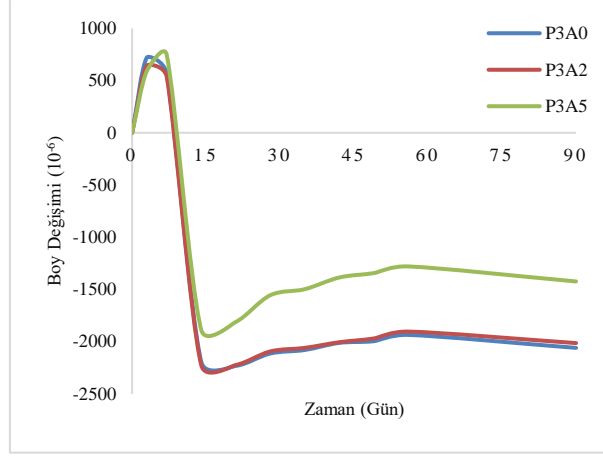
Çalışmaya konu numunelerde PP lif ve alçıtaşı ilavesinin zamana bağlı boy değişimi değerlerini gösterir grafikler Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 13. Lif katkısız harçların kuruma büzülmesi değişimi.



Şekil 14. %1,5 lif katkılı harçların kuruma büzülmesi değişimi.



Şekil 15. %3 lif katkılı harçların kuruma büzülmesi değişimi.

Çalışmaya konu numunelerin kuruma büzülme değişimleri incelendiğinde, bütün uygulamalarda zamana bağlı olarak boy değişiminde önce hafif bir artış olduğu daha sonra hızlı bir düşüş gösterdiği ve daha sonra çok hafif bir yükseliş yaparak yatay seyrettiği görülmektedir. PP lif ilavesi yapılmayan numunelerde en yüksek değerler genel olarak %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde, en düşük değerler ise alçıtaşı ilavesi yapılmayan numunelerde elde edilmiştir. %1,5 ve %3 PP lif ilavesi yapılan numunelerde ise alçıtaşı ilavesi yapılmayan ve %2,5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilen değerler birbirine oldukça yakınken %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilen değerler daha yüksek düzeydedir.

Literatürde çimento esaslı kompozitlerde kuruma rötresini azaltmaya yönelik birçok çalışma yer almaktadır. Bunlar içerisinde en sık kullanılan yöntemlerden birisi lif kullanımıdır. Kuruma büzülmesi özellikle bu çalışmadaki gibi yüksek dayanıma sahip karışımlarda daha büyük bir problem olmaktadır. Toutanji [21], silis dumanının lifli betonun işlenebilirliği üzerinde olumsuz bir etkisi olduğunu, %5 silis dumanının eklenmesinin genleşmede küçük bir azalmaya ve kuruma büzülmesinde benzer bir artışa neden olduğunu ve bu etkinin, %10 silis dumanı ilavesiyle daha belirginleştiğini belirtmiştir. Aynı çalışmada %5 silis dumanı ilavesinin, eğilme dayanımını artırdığı, silis dumanı içeriğinin %5'ten %10'a çıkarılmasıyla eğilme dayanımı azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca, polipropilen liflerin kullanılması, özellikle %10 silis dumanı içeren karışımlar için aderansta bir artışa neden olmuştur [21]. Rao [22] silis dumanının eklenmesinin, 28 günlük nihai kuruma büzülmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu, silis dumanı içeriğindeki artışla harcın nihai kuruma büzülmesinin arttığını belirtmektedir. Rao [22] harcın nihai kuruma büzülmesinde agreganın boyutunun çok önemli bir role sahip olduğunu, harçlardaki ince agrega boyutunun artmasıyla harcın nihai kuruma büzülmesinin azaldığını bildirmiştir. Altun [23] %0,1 oranında polipropilen lif katkısının hem normal betonların hem de geri dönüşüm agregalı betonların darbe dayanımlarını az miktarda artırdığını belirtmektedir.

IV. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Çalışma sonucunda, hem PP lif ilavesinin hem de alçıtaşı ilavesinin beton özelliklerini önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Bu etki bazı özellikleri olumlu bazı özellikleri ise olumsuz yönde etkilemiştir. Örneğin hem polipropilen elyaf betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır hemde PP lif hem de alçıtaşı ilavesi arttıkça yayılma çapı ve taze birim hacim ağırlığı değerlerinin düştüğü en düşük değer ise %3 PP lif ve %5 alçıtaşı ilavesi yapılan betonlarda elde edildiği belirlenmiştir. İşlenebilirliğin azalması sonucunda PP lif ilavesi ile 7 ve 28 günlük basınç dayanımları azalmaktadır.

Kuruma büzülme değerlerinin hem PP lif ilavesi hem de alçıtaşı ilavesine bağlı olarak değiştiği, betonda ayrı ayrı veya birlikte olması kuruma büzülmesini azaltmaktadır. Kuruma büzülmesi değerleri kendi aralarında karşılaştırıldığında %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilen değerlerin

daha yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Kapilarite ve görünür porozite değerlerinin ise PP lif ilavesi ve alçıtaşı ilavesine göre farklı düzeylerde değiştiği belirlenmiştir.%3 PP lif ilavesi yapılan örneklerde ise en yüksek kapilarite ve görünür porozite değeri %5 alçıtaşı ilavesi yapılan numunelerde elde edilmiştir.

Bu çalışmada üretilen numunelere benzer üretim yapılarak yüksek sıcaklık direnci, donma-çözülme direnci, termal iletkenlik katsayısı, sülfat dayanıklılığı gibi diğer mühendislik özellikleri araştırılabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. A. M. Elsunoussi, “Mısırata’da hava kalitesinin zamansal ve mekansal değişimi,” Yüksek Lisans tezi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye, 2020.
- [2] C. Kilicoglu, M. Cetin, B. Aricak, and H. Sevik, “Site selection by using the multi-criteria technique a case study of Bafra, Turkey,” *Environmental Monitoring and Assessment.*, vol. 192, no. 9, ss. 1-12, 2020.
- [3] M. Aktürk, “Polipropilen lif takviyeli kendiliğinden yerleşen betonların performans özelliklerinin araştırılması,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2007.
- [4] Ç. Yalçınkaya, “Mineral katkıli kendiliğinden yerleşen lifli betonun mekanik, durabilite ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2009.
- [5] K. Nakarai, N. H. May, Y. Kubori, T. Matsuyama, H. Kawakane, and S. Tani, “Air permeability coefficients of expansive concrete confined by rebars,” in *Innovation for Sustainable Infrastructure*, Singapore: Springer, 2020, pp. 561-566.
- [6] W. Saengsoy, R. Chatchawan, and S. Tangtermsirikul, “Compressive strength, free expansion and shrinkage of expansive concrete containing fly ash,” *Sixth International Conference on Durability of Concrete Structures*, 2019, pp. 120-126.
- [7] T. B. T. Nguyen, R. Chatchawan, W. Saengsoy, S. Tangtermsirikul, T. Sugiyama, “Influences of different types of fly ash and confinement on performances of expansive mortars and concretes,” *Construction and Building Materials*, vol. 209, pp. 176-186, 2019.
- [8] J. L. García Calvo, F. Pedrosa, P. Carballosa, and D. Revuelta, “Evaluation of the sealing effectiveness of expansive cement grouts through a novel water penetration test,” *Construction and Building Materials*, vol. 251, pp. 118974, 2020.
- [9] P. Carballosa, J. L. García Calvo, and D. Revuelta, “Influence of expansive calcium sulfoaluminate agent dosage on properties and microstructure of expansive self-compacting concretes,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 107, pp. 103464, 2020.
- [10] E. Karakulak, “Uçucu kül ve kablo atıklarının çimento harcı üretiminde kullanılması,” Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2019.
- [11] İ. Akan, “Çanakkale-Ayvacık bölgesinde bulunan volkanik tüfün katkıli çimento üretiminde kullanılabilirliğinin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2019.

- [12] O. Y. Bayraktar, G. Saglam Citoglu, C. M. Belgin, S. Cetin, and M. Cetin, "Investigation of effect of brick dust and silica fume on the properties of portland cement mortar," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 28, no.11, pp. 7823-7832, 2019.
- [13] O. Y. Bayraktar, G. Saglam Citoglu, C. M. Belgin, and M. Cetin, "Investigation of the mechanical properties of marble dust and silica fume substituted portland cement samples under high temperature effect," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 28, no. 5, pp. 3865-3875, 2019.
- [14] G. Kaplan, A. Öztürk, ve A. B. Uğur Kaplan, "Çimento ve uçucu kül bünyesindeki ağır metallerin etkilerinin hidrasyon ve çevre sağlığı açısından incelenmesi," *Mühendislik Bilim ve Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 305–313, 2020.
- [15] N. A. Farhan, M. N. Sheikh, and M. N. Hadi, "Investigation of engineering properties of normal and high strength fly ash based geopolymer and alkali-activated slag concrete compared to ordinary Portland cement concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 196, 26-42, 2019.
- [16] C. Suksiripattanapong, K. Krosoongnern, J. Thumrongvut, P. Sukontasukkul, S. Horpibulsuk, and P. Chindaprasirt, "Properties of cellular lightweight high calcium bottom ash-portland cement geopolymer mortar," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 12, pp. e00337, 2020.
- [17] C. Narattha, and A. Chaipanich, "Effect of curing time on the hydration and material properties of cold-bonded high-calcium fly ash–Portland cement lightweight aggregate," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, pp. 1-10, 2020.
- [18] B. Alişer, S. Yıldız, ve O. Keleştemur, "Cam lif takviyeli çimento harçlarının sülfat direncine mermer tozu ilavesinin etkisi," *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 28, s. 2, ss. 175-183, 2016.
- [19] G. Kaplan, and A. U. Öztürk, "Dimensional stability and microstructural properties of cements with different C3A contents," *INAE Letters*, vol. 4, no. 1, pp. 15–26, 2019.
- [20] O. Karahan, and C. D. Atış, "The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete," *Materials & Design*, vol. 32, no. 2, pp. 1044–1049, 2011.
- [21] H. A. Toutanji, "Properties of polypropylene fiber reinforced silica fume expansive-cement concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 13, no. 4, pp. 171-177, 1999.
- [22] G. A. Rao "Long-term drying shrinkage of mortar—influence of silica fume and size of fine aggregate," *Cement and Concrete Research*, vol. 31, no.2, pp. 171-175, 2001.
- [23] M. G. Altun, "Geri kazanılmış agrega (GKA) ile üretilen betonların mekanik özelliklerinin lif kullanılarak iyileştirilmesi," Yüksek Lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2014.
- [24] W. C. Tang, and T. Y. Lo, "Mechanical and fracture properties of normal-and high-strength concretes with fly ash after exposure to high temperatures," *Magazine of Concrete Research*, vol. 61, no. 5, pp. 323–330, 2009.
- [25] O. Y. Bayraktar, "The possibility of fly ash and blast furnace slag disposal by using these environmental wastes as substitutes in portland cement," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 9, pp. 1-12, 2019.
- [26] H. Ö. Öz, "Atık Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Taze, Mekanik ve Durabilite Özellikleri," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 20, s. 4, ss. 9-22, 2017.

[27] H. Binici, M. Eken, and O. Aksoğan, “Cüruf, uçucu kül, silis kumu ve pomza esaslı geopolimerlerin fiziksel, mekanik ve radyasyon geçirgenlik özellikleri,” *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 12-25, 2012.

[28] J. X. Lu, Z. Duan, C. S. Poon, and Z. H. Duan, “Fresh properties of cement pastes or mortars incorporating waste glass powder and cullet,” *Construction and Building Materials*, vol. 131, pp. 793-799, 2017.

[29] H. Ez Zaki, B. El Gharbi, and A. Diouri, “Development of eco-friendly mortars incorporating glass and shell powders,” *Construction and Building Materials*, vol. 159, pp. 198-204, 2018.

[30] M. M. Younes, H. A. Abdel Rahman, and M. M. Khattab, “Utilization of rice husk ash and waste glass in the production of ternary blended cement mortar composites,” *Journal of Building Engineering*, vol. 20, pp. 42-50, 2018.

[31] J. X. Lu, and C. S. Poon, “Use of waste glass in alkali activated cement mortar,” *Construction and Building Materials*, vol. 160, pp. 399-407, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Günlük Ortalama Akımların Yapay Sinir Ağları Metodu ile Taşkın Öteleme Hesabında Kullanılması

 Metin SARIGÖL^{a*}

^a Üzümlü Meslek Yüksekokulu, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Üzümlü, Erzincan, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: metinsarigol@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.877756

ÖZ

Bu çalışmada, Büyük Menderes Havzası'ndaki Menderes Nehri üzerinde yer alan E07A043 Ertuğrul ve D07A115 Yenice Regülatör Girişi Akım Gözlem İstasyonlarına (AGİ) ait günlük ortalama hidrograf verileri kullanılmıştır. Bu veriler Yapay Sinir Ağları Metodu kullanılarak eğitim ve test aşamalarından geçirilmiş, kurulan bu modele 2015 yılındaki taşkın verileri uygulanarak Taşkın Öteleme hesapları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, hem ölçülmüş değerlerle hem de Yapay Sinir Ağları Metodu sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma analizinde Belirlilik Katsayısı (R^2), Hataların Ortalama Karekökü (HOK) değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta, günlük akım verilerinin uygulandığı Yapay Sinir Ağları Metodu ile yapılan tahmin sonuçlarının oldukça iyi sonuçlar verdiği, bir sonraki yıla ait taşkın öteleme sonuçlarının ise iyi sayılabilecek bir düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taşkın ötelenmesi, Yapay sinir ağları, Taşkın, Büyük Menderes

Use of Daily Average Flows in Flood Routing Calculation with Artificial Neural Network Method

ABSTRACT

In this study, daily mean hydrograph data of E07A043 Ertuğrul and D07A115 Yenice Regulator Girişi Stream Gauging Stations (SGS) located on Menderes River in Buyuk Menderes Basin were used. These data were passed through the training and testing stages using the Artificial Neural Networks Method, Flood Routing calculations were made by applying the flood data of 2015 to this model. The results were compared with both Artificial Neural Networks Method and the measured values results. At the end of comparative analysis, Root Mean Square Errors (RMSE) and Coefficient of Determination (R^2) values were calculated. In conclusion, it has been determined that the results of the predictions performed by Artificial Neural Networks Method, where the daily mean hydrograph data is applied, yielded very good results, and the flood routing results for the next year are at a level that can be considered good.

Keywords: Flood routing, Artificial neural network, Flood, Büyük Menderes

I. GİRİŞ

Nedeni ne olursa olsun herhangi bir akarsudaki su seviyesi normalden yüksek olduğunda, doğal kıyıları aştığında ve çevredeki arazileri kapladığında taşkın olarak kabul edilir. Taşkınlar, dünyaya çok fazla zarar veren en önemli doğa olaylarından biridir ve ülkeler her yıl çok fazla maliyet öderler [1]. Yağış, toprak geçirgenliği ve arazi eğimi gibi faktörler, yağışların belirli bir dönemde taşkın oluşumuna neden olması nedeniyle anahtar rol oynarlar [2]. Fırtına taşkınları da sık sık meydana gelir ve kurak dağlık alanlarda karmaşık özelliklere sahiptir; bu da uzun süredir taşkın tahminlerinde zayıf bir halka oluşturmuştur [3]. Taşkınlar meydana geldikten sonra, doğrudan etkiler arasındaki zayıflar, tarımsal üretim kaybı, altyapının zarar görmesi [4], ticaret ve eğitimin bozulması, dolaylı olarak topluluklar üzerindeki sosyal etkiler [5] ve insan sağlığı yer alır [6],[7]. Özellikle yağış miktarının yüksek olduğu kurak dağlık alanlarda, çok kuru ve kabuklu toprak yapısı, yağışları hızla akışa dönüştürebilir ve bu da daha yüksek taşkın riskleri ve yıkıcılığa neden olabilir [8],[9]. Aynı zamanda, bu bölgelerdeki ani taşkınlar, heyelanlar ve enkaz akışları gibi bir dizi jeolojik felaketin eşlik etmesi muhtemeldir [10]. Doğru taşkın tahmini, taşkın kayıplarını azaltmak için yapılan taşkın uyarısının, taşkın kontrolünün ve diğer taşkın şiddetini hafifletme önlemlerinin erken benimsenmesini etkin bir şekilde destekleyebilir [11],[12].

Taşkın Ötelenmesi, bir taşkın dalgasının akarsu ya da hazne boyunca, belirlenen herhangi bir konumdaki debi, hız vb. gibi değerlerin zamanla değişiminin hesaplanmasıdır. Bu durum, taşkınların tahmini ve taşkınının meydana geldiği bölgede, gerekli olan tüm önlemlerin alınmasında büyük önem arz etmektedir. Akarsular üzerinde yapılacak farklı yapılar için akım seviyesi, hızı ve debisi gibi taşkına ait karakteristiklerin bilinmesi ve bunlara göre önlemlerin alınması gerekmektedir [13]. Taşkın öteleme, taşkın kontrolü için en önemli mühendislik tekniklerinden biridir [14], [15], [16].

Günümüzde araştırmacılar, karmaşık sorunları analiz etme becerilerinin yüksek olması nedeniyle çoğunlukla yapay zeka yöntemlerini tercih etmektedir. Yapay sinir ağı (YSA) gibi hesaplamalı zeka tekniklerinin, verilerden 'öğrenme' yeteneğine sahip oldukları için karmaşık ve doğrusal olmayan sistemleri simüle edebildikleri birçok alanda kanıtlanmıştır. Bu yöntemler, gözlemlenen verilerle girdi ve çıktı arasında mantıksal bir bağlantı oluşturabilir. YSA, su kaynakları da dahil olmak üzere birçok alanda başarıyla uygulanmıştır. YSA tabanlı yazılımsal hesaplama modelleri, tüm avantajlarına rağmen kara kutu modelleridir. Bu modeller, anlaşılması zor olan bazı önkoşullara sahip ağırlık matrisleridir [17]. YSA'nın eksik verilerle başa çıkma ve gerçek zamanlı olarak tahmin edilmekte olan olaydan "öğrenme" yeteneği, onu geleneksel toplu veya yarı dağıtılmış taşkın tahmin modellerine çekici bir alternatif haline getirir [18]. Gelecekteki araştırma çabaları, YSA modellerinin geliştirilmesine yardımcı olan kılavuzların geliştirilmesine ve YSA'ların alternatif yaklaşımlar yerine ne zaman kullanılması gerektiğinin seçimine, bağlantı ağırlıklarında yer alan bilgiyi çıkarma yöntemlerinin değerlendirilmesine yönelik olmalıdır [19]. YSA modelleri ortalama aylık nehir akımını tahmin etmede, Hint nehir havzasının yağış-akış modellemesi için geliştirilmiş farklı tipte yapay sinir ağı modellerinin performansının kapsamlı bir değerlendirmesinde kullanılmıştır [20], [21]. Kuzey-Batı Arkansas ve Kuzey-Doğu Oklahoma'da bulunan bir tarımsal havza olan Eucha Watershed'deki çoklu ölçüm istasyonlarında günlük akımları tahmin etmek için YSA modelleri, hidrolojik sonuçları tahmin etmek için faydalı araçlar olduğunu göstermektedir [22]. İran'ın Fars eyaletinin kuzeybatı kesiminde yer alan Hüsrev Şirin havzasından günlük akımları tahmin etmek için yapay sinir ağı modellerinin kullanımı tartışılmıştır [23]. Günlük kesintili akımları tahmin etmek için de YSA modellerinden faydalanılmıştır [24].

Yapay sinir ağı metodu kullanılarak, çoklu girişler göz önünde bulundurulup, mansaptaki taşkını belirlemiştir [25]. Yapay sinir ağı tabanlı yağış akışı modelinde ağ yapısını tasarlamak için yeni bir yaklaşım sunulmuş, sonuçların ise bir YSA modeli geliştirmek için gereken çabayı ve hesaplama süresini önemli ölçüde azaltabileceği gösterilmiştir [26]. Debi ve tortuyu tahmin etmek ayrıca debi ve su seviye tahmininde YSA modelinden faydalanılmıştır [27], [28]. YSA ve destek vektör makinesi (SVM) modelleri kullanılarak Zayandehroud baraj rezervuarına girişi tahmin etmek için farklı yeni

girdi modelleri önerilmiştir [29]. Bir Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında çok kriterli analiz ve YSA tekniklerini kullanarak ulusal ölçekte bir taşkın tehlikesi değerlendirme metodolojisi tanıtılmış, bu şekilde Yunanistan için genel taşkın tehlike haritası belirlenmiştir [30].

YSA'lar girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi tanımak için bir sistemin fiziksel olarak karmaşık süreçleri hakkında ayrıntılı bilgi gerektirmez [31]. YSA'da amaç, temsil ettiği olayın karakterini ayrıntılı olarak anlamaya çalışmadan, bir sistem reaksiyon tahminine ulaşmaktır. Karmaşık bir tasarım problemi çözülürken gereken bilgisayar süresi önemli ölçüde kısalmaktadır ve sonuçta zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlanır [32], [33].

Günlük ortalama akım verileri ile YSA'da oluşturulan modelin, ani akım verilerine uygulanarak taşkın ötelemesi hesabında kullanılmasıyla literatürde ilk olarak yapılan bu çalışma, karmaşık bir nehir ağındaki akış problemlerine YSA uygulamasını içermektedir. Amaç, bir nehir boyunca akım tahmini için bir YSA kanal ağ modeli oluşturmak ve ayrıca YSA yönteminin verimliliğini ve etkinliğini ifade etmektir. Model, YSA mimarisi olarak simüle edilen ve nehir sisteminin önemli performansını ve iç durumunu içeren gerçek nehir ağını kullanır. Modele fiziksel davranışın dahil edilmesi ve YSA oluşturulması için doğal nehir ağının kullanılması, YSA'nın modellenmesi için en uygun mimariye sahip olmayı mümkün kılar ve ayrıca su kaynakları mühendislerinin teknikleri anlamasını ve sonucu çıkarmasını kolaylaştırır. YSA modellemesi, bir hidrodinamik modele kıyasla topoğrafya bilgisi için gerekli olan daha az sayıda veriye sahip karmaşık bir nehir sistemindeki akımın gerçek zamanlı tahmini için önerilmiştir.

Bu çalışma ile varılmak istenen en önemli amaç, günlük ortalama hidrograf verilerinin YSA ile bir modelin kurulması ve kurulan modeller yardımıyla ileriye yönelik taşkın tahminlerinin yapılması olanağının araştırılmasıdır. Günlük ortalama akım verilerine ulaşmanın kolay olması ve akım gözlem istasyonların çoğunda bu verilerin bulunması sebebiyle, sonuçta yapılacak modellemelerin tüm bölgelere kolaylıkla uygulanabileceği umulmaktadır.

Araştırmada, ilk aşaması bir akarsuda mevcut günlük ortalama akım verileri kullanılarak YSA metodunda eğitim ve test aşamalarından geçirilip bir modelin kurulmasıdır. Sonraki aşamada ise, bir sonraki yıla ait taşkın verilerinin kurulan bu modele uygulanarak taşkın öteleme tahmininin yapılmasıdır. Bu şekilde, başka hiçbir veriye ihtiyaç duymadan YSA metoduyla kurulan bu modele, sadece giriş verileri eklenerek, ileride meydana gelebilecek bir taşkının önceden tahmin edilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca öteleme işlemleri hesaplanırken sürtünme katsayısı, eğim gibi parametrelerin de hesap edilmesine gerek kalmaması, modellerin kolay ve kısa zamanda oluşturulması, zaman tasarrufu açısından da önemli bir yer tutacağı aşıkardır.

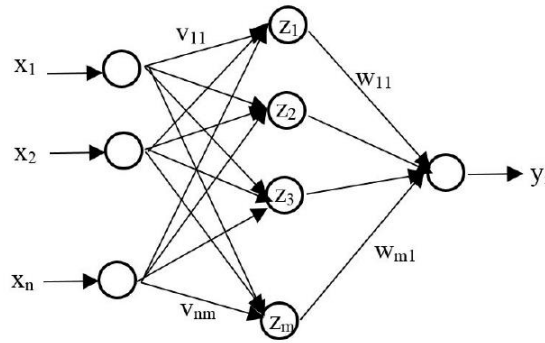
Sonuçta bu bölgenin kilometrelerce uzağındaki mansap bölgesinde, ileriki zamanlarda meydana gelebilecek taşkın hidrografının, saatlerce bazen de günlerce önceden tahmin edilmesi mümkün olmaktadır. Böylece can ve malın korunması, kurtarılması için de gerekli olan sürenin kazanılması, taşkının sebep olabileceği zararların da en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

II. YÖNTEM

Büyük Menderes Nehri'nde 01.10.2012-31.01.2015 tarihleri arasındaki 853 adet günlük ortalama debi verileri YSA Metodu ile modellenmiş, eğitim ve test aşamalarından geçirilmiştir. Oluşturulan bu modellere 02.02.2015 tarihli 93 adet taşkın verileri uygulanarak taşkın öteleme sonuçları tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ölçülen değerler ile karşılaştırılmış, hata analizleri yapılmıştır. YSA modellemeleri MATLAB programı ile gerçekleştirilmiş ve grafikleri çizilmiştir.

2. 1. Yapay Sinir Ağları

YSA'lar, nöronlardan oluşan bir işlemcidir. Eğitim süreci boyunca bilgi öğrenebilir ve depolayabilir. YSA'lar doğrusal olmama durumunun üstesinden gelebilir ve bu nedenle hidrolojide taşkın hidrograf tahmini de dahil olmak üzere birçok disiplinde geniş bir uygulamaya sahiptir. Genel olarak, Şekil 1'de gösterildiği gibi üç katmanlı ağ, taşkın hidrograf tahmin problemlerinde kavramsallaştırılır. Böyle bir ağda (Şekil 1); giriş değerleri (x_i) ilk olarak giriş katmanı nöronlarına girilir. Bağlantı ağırlıkları (v_{ij}) ile çarpılır ve ardından gizli katman nöronlarına aktarılır. Her nöron, alınan tüm ağırlıklı bilgileri ($x_i v_{ij}$) toplar ve ardından toplamı bir aktivasyon fonksiyonundan geçirerek bir çıktı (z_i) üretir ve bu da çıktı katmanı nöronu için giriş sinyali olur. Her bir iç katman nöronundan gelen çıktı, ilgili bağlantı ağırlığı (w_{ij}) ile çarpılır ve daha sonra, alınan tüm sinyali ($z_i w_{ij}$) toplayan ve ağ çıkışını (y_i) üretmek için bir aktivasyon fonksiyonundan geçiren çıkış nöronuna aktarılır.



Şekil 1. Üç katmanlı bir YSA ağı.

Bağlantı ağırlıklarının optimal değerleri, gradyan azaltma yöntemi kullanılarak hata fonksiyonunu en aza indiren geri yayılma algoritması ile bulunabilir. En aza indirgenmiş hata fonksiyonu E , aşağıdaki Denklem (1) ile ifade edilir:

$$E = \sum_1^p (t_i - y_i)^2 \quad (1)$$

y_i : ağ çıkışı, t_i kullanıcı tanımlı hedef çıktı ve p eğitim verilerinin sayısıdır. Bağlantı ağırlıkları (w_{ij}) aşağıdaki gibi Denklem (2) kullanılarak her iterasyonda güncellenir:

$$\Delta w_{ij}(n) = \alpha \Delta w_{ij}(n-1) - \delta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad (2)$$

burada $\Delta w_{ij}(n) = w_{ij}^{\text{old}} - w_{ij}^{\text{new}}$, şimdiki iterasyon (n), ve $\Delta w_{ij}(n-1) = w_{ij}^{\text{old}} - w_{ij}^{\text{new}}$, önceki iterasyondur ($n-1$). δ : öğrenme hızı ve α : momentum faktörüdür ve 0 ile 1 arasında değerler alınır. Aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik (tanh) kullanıldığında;

$$f(\text{toplama}) = \frac{2}{1 + e^{-2\text{toplama}}} - 1 \quad (3)$$

denklemindeki toplam, nöron tarafından alınan toplam bilgidir. Tanjant hiperbolik fonksiyon -1 ile +1 arasında sınırlandırılmıştır ve bu nedenle tüm değerler Denklem (4) tarafından -0.9 ve +0.9'a sıkıştırılmıştır.

$$z_i = \left[\frac{1.8(x_i - x_{\min})}{x_{\max} - x_{\min}} \right] - 0.9 \quad (4)$$

burada z_i standartlaştırılmış değerdir, x_{\min} kümedeki minimum değerdir; ve x_{\max} kümedeki maksimum değerdir [34].

2. 2. Öteleme Başarısının Sınanması

Modelin başarısını ölçmek için çok sık kullanılan metot Hataların Ortalama Karekökü (HOK) dır. HOK (Hataların Ortalama Karekökü) hesaplanan değer ile gerçek değer arasındaki farkın standart sapmasıdır. Bu fark, regresyon çizgisinden veri noktalarından ne kadar uzak olduğunun bir ölçütüdür [35].

$$HOK = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{i_{hesap}} - Q_{i_{gercek}})^2}{n}} \quad (5)$$

Burada; $Q_{i_{hesap}}$: Hesaplanan debi, $Q_{i_{gözlenn}}$: Ölçülen debi, n : Veri sayısı olarak tanımlanır.

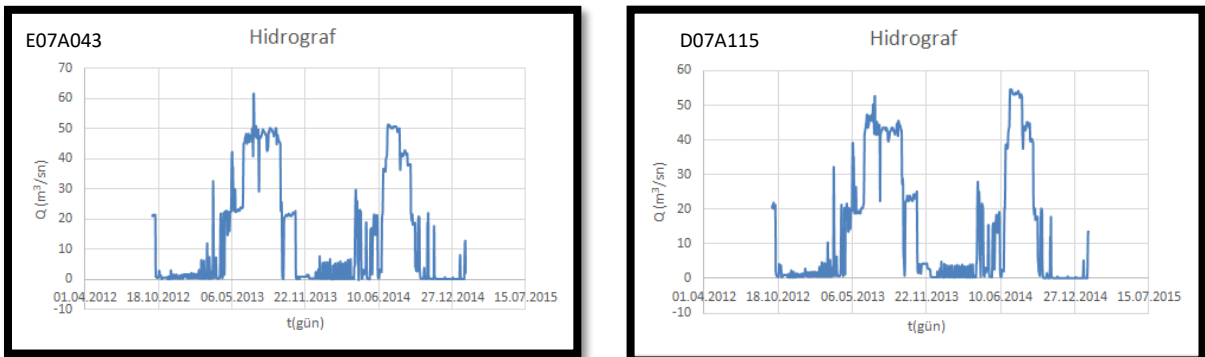
Yine modelin başarısını ölçmede kullanılan ikinci metot R^2 (Belirlilik) katsayısı, hesaplanan değer ile gerçek değer arasındaki lineer regresyonu diğer bir ifade ile uyumu temsil eder ve aşağıda yer alan formülle ifade edilir. Eğilim analizinde ağırlık kazanır ve 0 ile 1 arasında bir değer olarak temsil edilir. Sonuç değer 1'e kadar yaklaşırsa, iki faktör arasındaki uyum ya da ilişki o kadar iyi olur [36].

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{i_{gercek}} - Q_{ort_{gercek}}) (Q_{i_{hesap}} - Q_{ort_{hesap}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{i_{gercek}} - Q_{ort_{gercek}})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{i_{hesap}} - Q_{ort_{hesap}})^2}} \right)^2 \quad (6)$$

Burada; $Q_{i_{hesap}}$: Hesaplanan debi, $Q_{ort_{hesap}}$: Hesaplanan Debi Ortalaması, $Q_{i_{gercek}}$: Ölçülen Debi, $Q_{ort_{gercek}}$: Hesaplanan Debi Ortalaması, n : Veri sayısı

2. 3. Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışmada 38:4:44 Kuzey, 29:0:19 Doğu koordinatlarında, 176 m rakımdaki E07A043 nolu Ertuğrul AGİ giriş verileri olarak ve 38:3:7 Kuzey, 28:58:11 Doğu koordinatlarında, 160 m rakımda yer alan D07A115 nolu Yenice Regülatör Girişi AGİ çıkış verisi olarak istasyonlarının günlük ortalama akım verileri kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. E07A043 ve D07A115 AGİ'lere ait günlük hidrograf.

Çalışma verilerinin elde edildiği Akım Gözlem İstasyonlarının özellikleri ve parametreleri Tablo 1'de yer almaktadır.

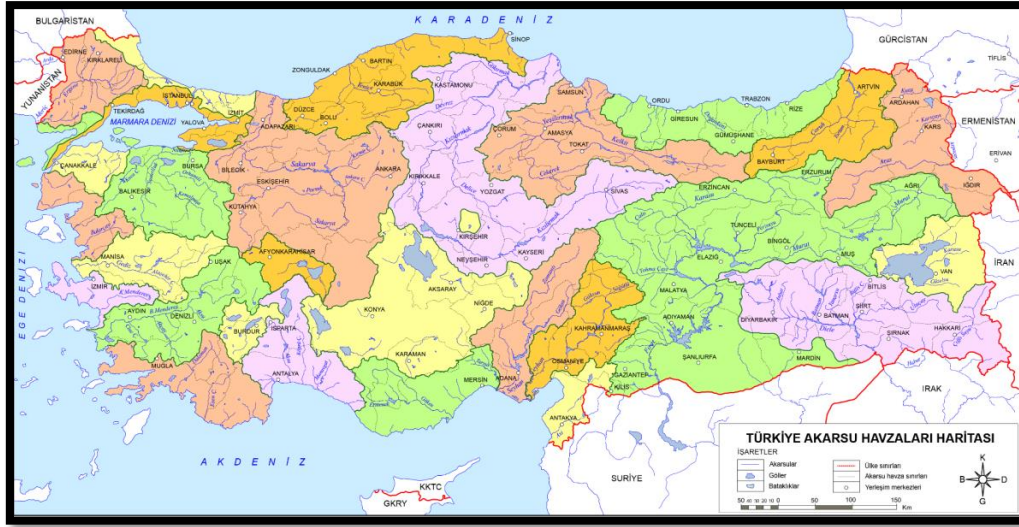
Tablo 1. AGİ'lerin özelliği.

İl/İlçe Adı	İstasyon No	İstasyonun Kodu	İstasyon Adı	Havza Adı	Akarsu Adı	İstasyon Kotu (m)	Alan (km ²)
Denizli (Buldan)	1	E07A043	Ertuğrul	Büyük Menderes	Büyük Menderes	176	9731
	2	D07A115	Yenice Regülatör Girişi	Büyük Menderes	Büyük Menderes	160	9452,53

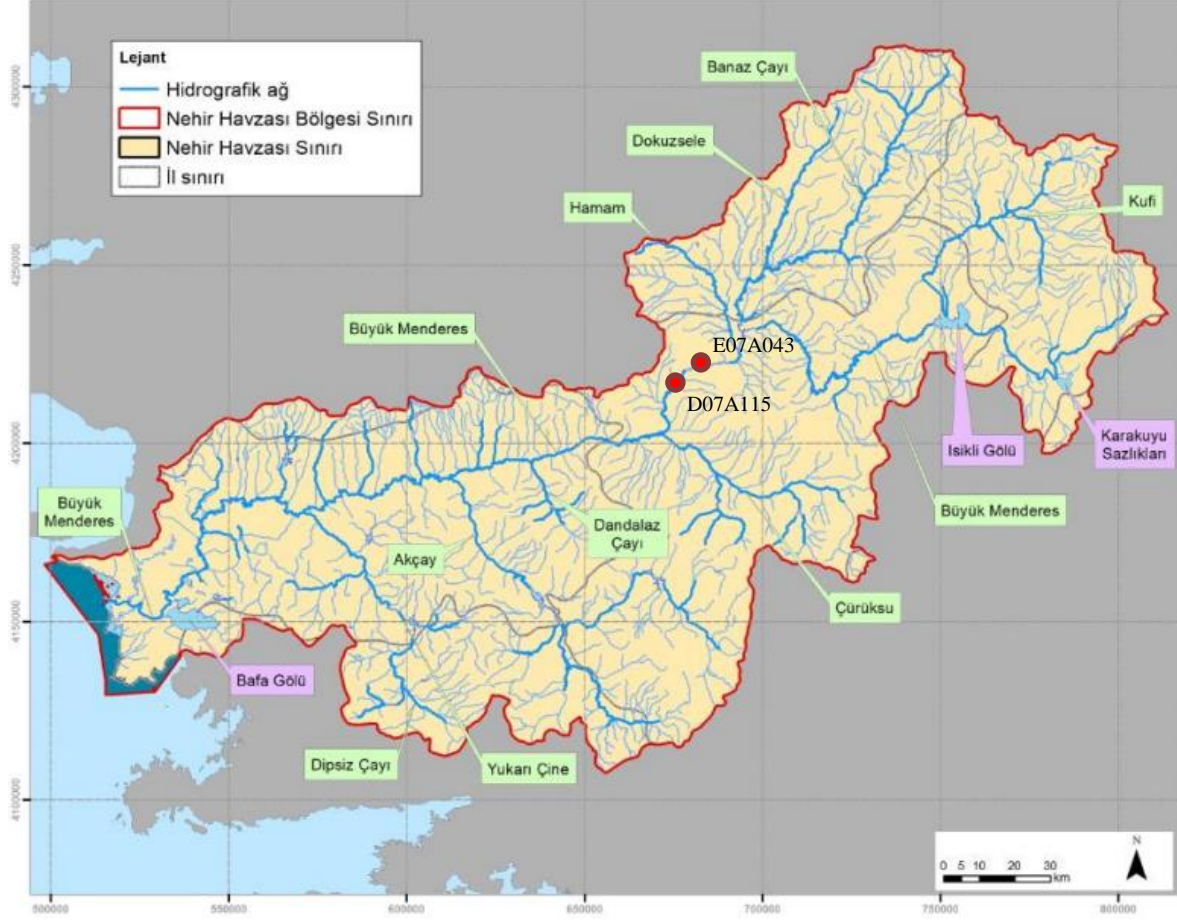
Çalışma verileri, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Rasatlar Şube Müdürlüğünden ve DSİ Bölge Müdürlüklerinden elde edilmiştir [37].

2. 4. Çalışma Bölgesi

Taşkın ötelemesi yapılacak olan Büyük Menderes Nehri üzerinde bulunan Akım Gözlem İstasyonları Denizli Buldan, Büyük Menderes Havzası'nda yer almaktadır. Akarsu Havzalarının konumu, çalışma alanı olan Büyük Menderes Havzası ve AGİ'lerin bulunduğu konumlar Şekil 3-4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Türkiye akarsu havzaları haritası [38].



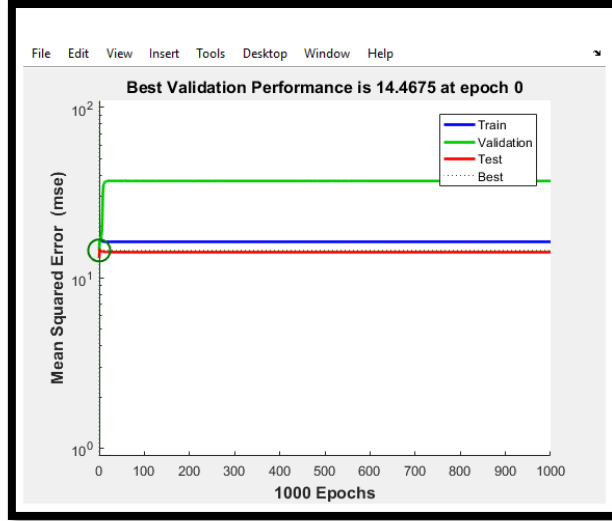
Şekil 4. Büyük Menderes havzası ve E07A043 ve D07A115 AGİ'lerin konumu [39].

III. BULGULAR ve DEĞERLENDİRME

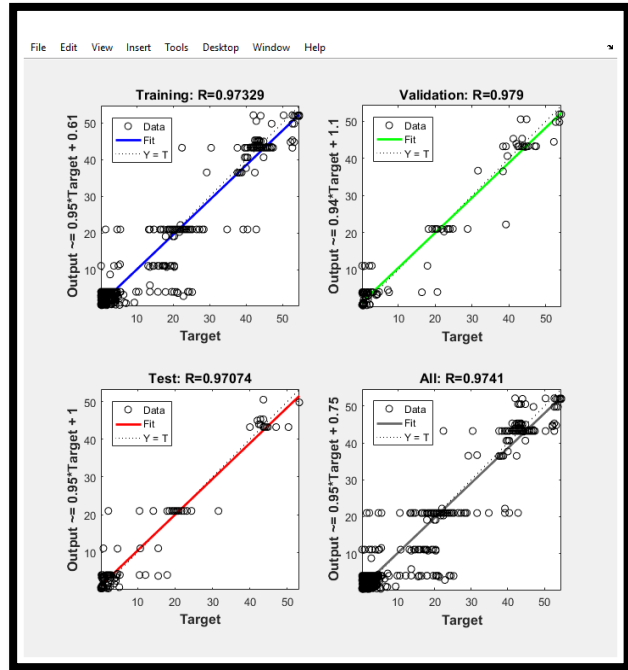
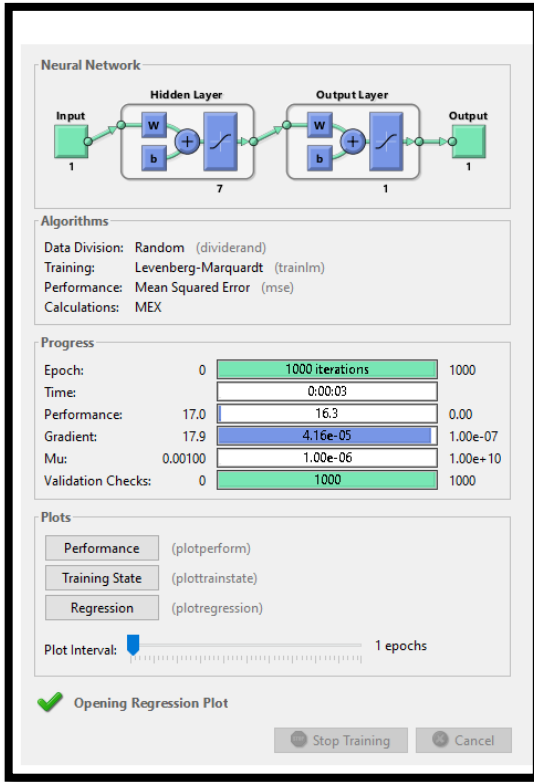
3.1. YSA Eğitim ve Test Taşkın Ötelenme Bulguları

YSA modellemesinde, 853 adet günlük ortalama debi verilerinin ilk %60' lık kısmı eğitim, %40 lık kalan kısmı ise test olarak gerçekleştirilmiştir. Modelin girdi verileri 01.10.2012-31.01.2015 tarihleri arasındaki günlük ortalama akıma ait E07A043 nolu Ertuğrul AGİ verileri, çıktı değerleri ise D07A115 nolu Yenice Regülatör Girişi AGİ verileri olarak seçilmiştir. Yapay sinir ağlarında öğrenme fonksiyonu olarak Levenberg-Marquardt kullanılmıştır. Gizli nöron sayısı, literatürde yaygın olarak kullanıldığından dolayı, 3 ile 8 arasında sayıları arasında değiştirilerek hesap yapılmıştır. Modellerin aktivasyon fonksiyonu, Tanjant Sigmoid ve Logaritmik Sigmoid alınarak farklı nöron sayıları için, ileri beslemeli geri yayılım YSA modeli kullanılmıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde aktivasyon fonksiyonu Tanjant Sigmoid olan 7 nöronlu model en başarılı model olmuştur. Bunlar ile ilgili Matlab program çıktı grafikleri Şekil 5-6-7-8' de gösterilmiştir.

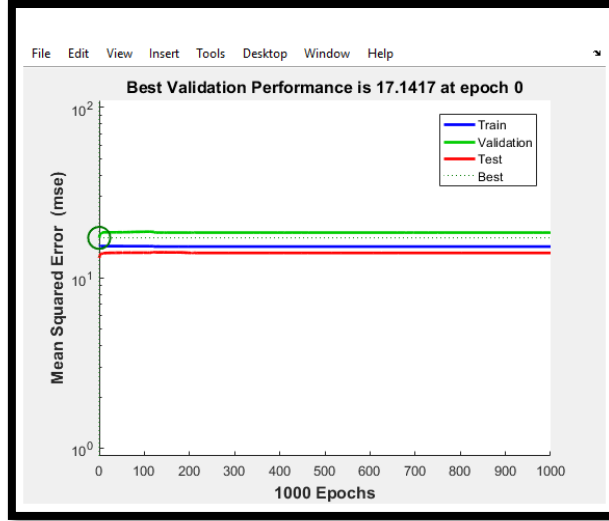


Şekil 5. Tanjant Sigmoid 7 nöronlu YSA performans grafiği.

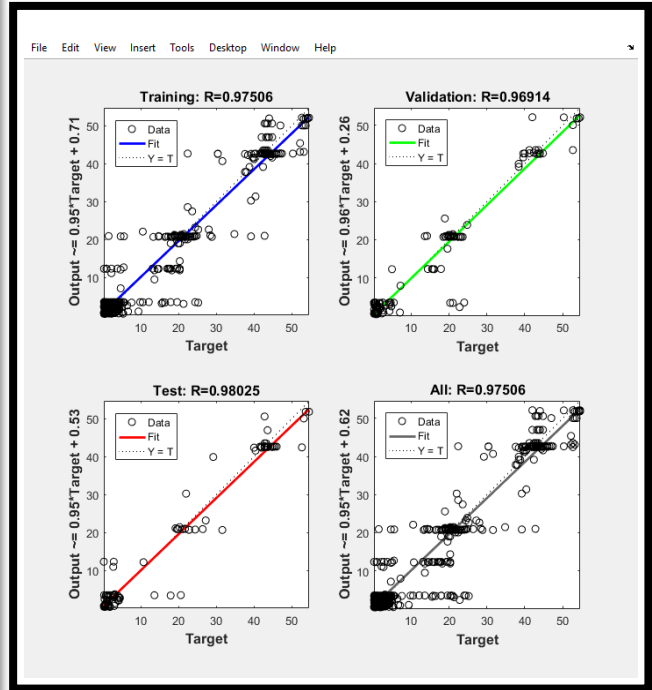
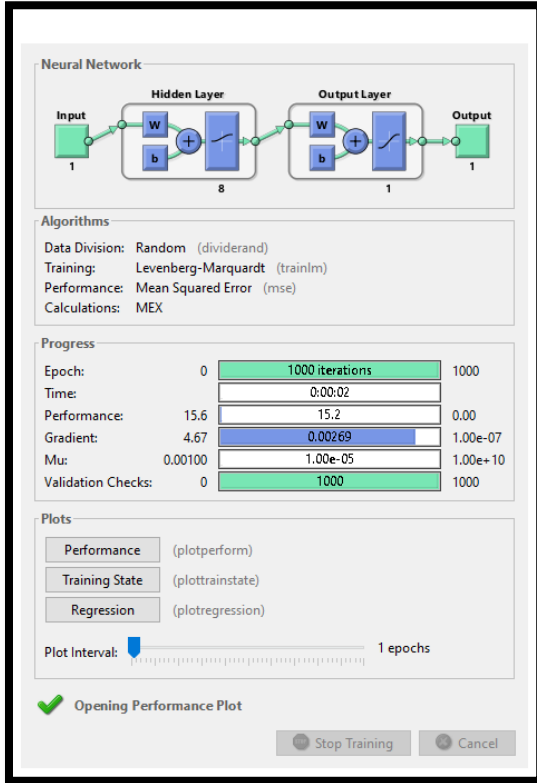


Şekil 6. Tanjant Sigmoid 7 nöronlu YSA mimarisi ve regresyon grafiği.

Şekil 5’de aktivasyon fonksiyonu Tanjant Sigmoid olan 7 nöronlu modelin, iterasyon sayısına bağlı hatanın en az olduğu performans grafiği görülmektedir. Şekil 6’da ise model eğitilirken kullanılan fonksiyonu ve iterasyon sayısına bağlı performans değerleri verilmektedir. Şekil 6’nın grafik kısmında ise YSA ile kurulan modelin eğitim ve test sonuçları görülmekte, eğitim ve test sonuçlarının yaklaşık olarak R=0,97 (Regresyon) olmak üzere yüksek bir oranda eğitim ve test sonuçlarının elde edildiği görülmektedir.

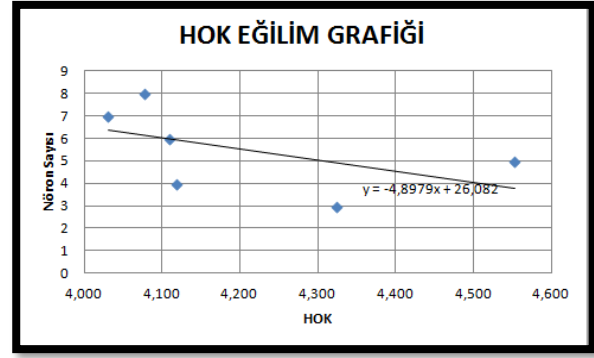
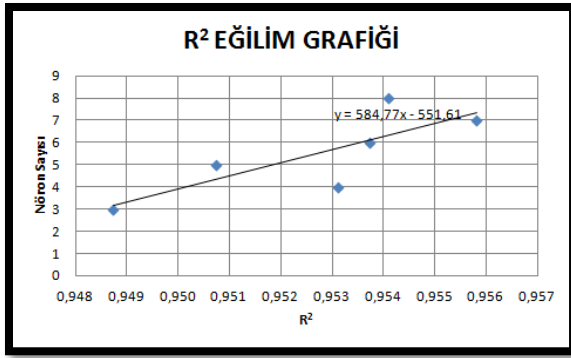


Şekil 7. Logaritmik Sigmoid 8 nöronlu YSA performans grafiği.



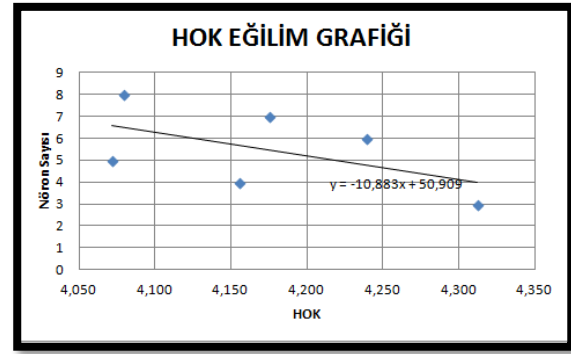
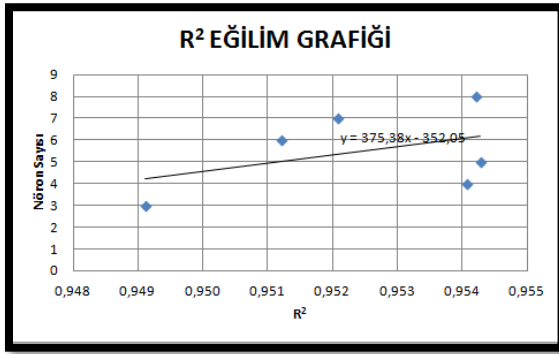
Şekil 8. Logaritmik Sigmoid 8 nöronlu YSA mimarisi ve regresyon grafiği.

Şekil 7’de ise aktivasyon fonksiyonu Logaritmik Sigmoid olan 8 nöronlu modelin, iterasyon sayısına bağlı hatanın en az olduğu performans grafiği görülmektedir. Şekil 8’de ise model eğitilirken kullanılan fonksiyon ve iterasyon sayısına bağlı performans değerleri verilmektedir. Şekil 6’nın grafik kısmında ise YSA ile kurulan modelin eğitim ve test sonuçları görülmekte, yaklaşık olarak $R=0,97$ eğitim, $R=0,98$ (Regresyon) test sonuçları olmak üzere yüksek bir oranda eğitim ve test sonuçlarının elde edildiği görülmektedir.



Şekil 9. Tanjant Sigmoid fonksiyonlu R² ve HOK eğilim.

Tablo 2 incelendiğinde nöron sayısına bağlı olarak Tanjant Sigmoid fonksiyonun test sonuçları olan HOK ve R² değerleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, her iki aktivasyon fonksiyonu için gizli nöron sayıları arttığında, HOK değerlerinin azalma eğiliminde, R² değerinin ise artma eğiliminde olduğu ve daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 10. Logaritmik Sigmoid fonksiyonlu R² ve HOK eğilim grafikleri.

Yine Tablo 2'ye göre nöron sayısına bağlı olarak Logaritmik Sigmoid fonksiyonun test sonuçları olan HOK ve R² değerleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, her iki aktivasyon fonksiyonu için gizli nöron sayıları arttığında, HOK değerlerinin azalma eğiliminde, R² değerinin ise artma eğiliminde olduğu ve daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 2. YSA 01.10.2012-31.01.2015 yılları sonuç hata analizi.

Modeller	Aktivasyon Fonksiyonu	Nöron Sayısı	Eğitim		Test	
			HOK	R ²	HOK	R ²
Model 1	Tanjant Sigmoid	3	4,174	0,939	4,324	0,949
Model 2		4	4,108	0,941	4,119	0,953
Model 3		5	4,202	0,942	4,553	0,951
Model 4		6	3,953	0,945	4,110	0,954
Model 5		7	3,985	0,945	4,031	0,956
Model 6		8	3,923	0,946	4,077	0,954
Model 7	Logaritmik Sigmoid	3	4,169	0,940	4,313	0,949
Model 8		4	4,171	0,940	4,156	0,954
Model 9		5	4,105	0,941	4,072	0,954
Model 10		6	4,002	0,944	4,240	0,951
Model 11		7	4,055	0,943	4,175	0,952
Model 12		8	3,828	0,949	4,080	0,954

Yapılan HOK ve R^2 hata analiz hesaplamalarında, Aktivasyon fonksiyonu Tanjant Sigmoid olan 7 nöronlu YSA ile yapılan model, aktivasyon fonksiyonu Logaritmik Sigmoid olan 8 nöronlu model kendi gruplarında başarılı olmuştur ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Modeller genel olarak değerlendirildiğinde aktivasyon fonksiyonu Tanjant Sigmoid olan 7 nöronlu model en başarılı model olmuştur.

YSA da kurulan bu Model1-Model10 modelleri, programdaki Simulate eklentisi sayesinde, 2015 yılı taşkın verilerine uygulanmıştır. Hesaplanan değerlerle gerçek değerler arasındaki HOK Hata ve R^2 değerleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. YSA 2015 yılı taşkın tahmin sonuç hata analizi.

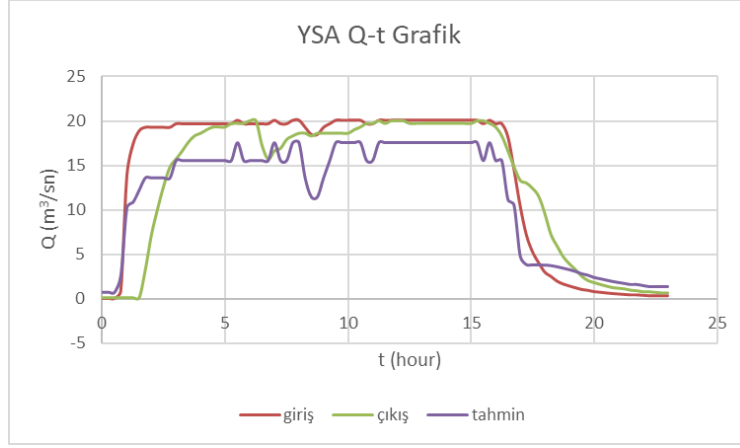
Modeller	Aktivasyon Fonksiyonu	Nöron Sayısı	2015 yılı Taşkın Tahmini	
			HOK	R^2
Tahmin 1	Tanjant Sigmoid	3	4,117	0,731
Tahmin 2		4	3,853	0,761
Tahmin 3		5	5,521	0,732
Tahmin 4		6	5,972	0,694
Tahmin 5		7	6,633	0,715
Tahmin 6		8	3,901	0,789
Tahmin 7	Logaritmik Sigmoid	3	4,091	0,733
Tahmin 8		4	3,808	0,770
Tahmin 9		5	3,821	0,766
Tahmin 10		6	4,040	0,748
Tahmin 11		7	7,765	0,631
Tahmin 12		8	5,927	0,705

Tablo 3 incelendiğinde YSA ile 01.10.2012-31.01.2015 yılları arasındaki veriler için oluşturulan modellere, 2015 yılı taşkın verileri uygulanmış, Yapılan HOK ve R^2 hata analiz hesaplamalarında, aktivasyon fonksiyonu Tanjant Sigmoid olan 8 nöronlu YSA ile yapılan model, aktivasyon fonksiyonu Logaritmik Sigmoid olan 4 nöronlu model kendi gruplarında başarılı olmuştur.

Tahmin modelleri genel olarak değerlendirildiğinde aktivasyon fonksiyonu Tanjant Sigmoid olan 8 nöronlu model R^2 baz alındığında en başarılı model olmuştur.

3.2. YSA 2015 Yılı Ani Taşkın Ötelenme Bulguları

YSA modeline 2015 yılı taşkın verileri uygulandığında, ölçülen ve öteleme sonuç grafikleri Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. YSA ve öteleme grafikleri.

Grafikteki giriş ve çıkış verileri belirlenirken, memba tarafında yer alan E07A043 nolu Ertuğrul AGİ için 02.02.2015 tarihli 93 adet ani taşkın debisi giriş verileri, yine aynı tarihli veriler D07A115 nolu Yenice Regülatör Girişi AGİ için ise çıkış verileri olarak ele alınmıştır. Model tahmin değerleri de bu çıkış değerleriyle karşılaştırılarak hata analizleri yapılmıştır.

Tahmin sonuçları için yapılan RMSE ve R^2 karşılaştırmalı analizlerde, YSA'nın $RMSE=3,901$, $R^2 = 0,789$ olarak hesaplanmıştır. Böylece YSA sonuçlarının, başka hiç bir veriye ihtiyaç duymadan iyi sayılabilecek bir tahmin yapabildiği görülmüştür.

IV. SONUC

Bu çalışmada 01.10.2012-31.01.2015 yılları arasındaki günlük ortalama akım verileri kullanılarak, ileriye dönük taşkın öteleme hesabı yapılmıştır. Son yıllarda, birçok bilimsel alanda oldukça fazla kullanılan YSA metodu, hidrolojik olaylardan taşkın verilerine uygulanabilirliği araştırılmıştır. Taşkın verilerinde içsel bağımlılığın çok kuvvetli olması sebebiyle anlık taşkın hidrograf verileri kullanılarak yapılan YSA modellerin tamamında $R^2=0,95$ 'ye yakın çok iyi test tahmin değerleri bulunmuştur.

02.02.2015 yılında meydana gelen taşkın için, o yıla ait başka hiç bir parametre kullanmadan, sadece menba verileri girilerek, mansab bölgesi için yapılan tahminlerde ise, $R^2=0,63-0,79$ arasında iyi sayılabilecek bir tahmin başarısı göstermiştir.

Stokastik modellerde, model oluşturulmadan önce kontrol edilmesi gereken normal dağılım, durağanlık, sabit varyans gibi koşullar, taşkın öteleme metodlarının bir kısmında ise sınır şartlarının belirlenmesi gibi yapılması gereken birçok işlem vardır. Bu işlemler araştırma yapanların fazlaca efor ve zaman kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan YSA'da herhangi sınır şartı vb. bir işlem yapmadan bir çok fiziksel olayın modellenmesine basitçe uygulanabilmektedir. Taşkın ile ilgili araştırma yapanlar için, bu tür yöntemlerin kullanılması ve farklı algoritmaların da eklenmesiyle çok az veri kullanılarak, ileriye yönelik tahmin olanaklarının geliştirilebileceği ve sıklıkla kullanılabilceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, başka hiçbir veriye ihtiyaç duymadan mevcut yıldaki günlük akım verileri ile YSA'da kurulan bu modele, sonraki yılın sadece taşkın giriş verileri eklenerek, mansap bölgesinde meydana gelebilecek bir taşkın önceden tahmin edilmesine kolaylıkla olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca farklı istasyonlar için de YSA ile kurulacak modellerin, farklı mansap bölgelerinde taşkın öteleme hesaplarında büyük kolaylık sağlayabileceği, buna bağlı olarak önceden tedbir almanın hayati önem arz edeceği umulmaktadır.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. R. Hassanvand, H. Karami, and S. F. Mousavi, "Investigation of neural network and fuzzy inference neural network and their optimization using meta-algorithms in river flood routing," *Natural Hazards*, vol. 94, pp. 1057–1080, 2018.
- [2] P. K. T. Nguyen and L. H. C. Chua, "The data-driven approach as an operational real-time flood forecasting model," *Hydrol Process*, vol. 26, pp. 2878–2893, 2012.
- [3] X. Yuan, X. Zhang and F. Tian, "Research and application of an intelligent networking model for flood forecasting in the arid mountainous basins," *J Flood Risk Management*, vol. 13, pp. e12638, 2020.
- [4] R. Pant, S. Thacker, J. W. Hall, D. Alderson and S. Barr, "Critical infrastructure impact assessment due to flood exposure," *Journal of Flood Risk Management*, vol.11, no. 1, pp. 22–33, 2018.
- [5] M. K. Lindell and C. S. Prater, "Assessing community impacts of natural disasters," *Natural Hazards Review*, vol. 4, no. 4, pp. 176–185, 2003.
- [6] W. Du, G. J. FitzGerald, M. Clark and X. Hou, "Health impacts of floods," *Prehospital and Disaster Medicine*, vol. 25, no. 3, pp. 265–272, 2010.
- [7] S. N. Jonkman and J. K. Vrijling, "Loss of life due to floods," *Journal of Flood Risk Management*, vol.1, no. 1, pp. 43–56, 2008.
- [8] Z. W. Kundzewicz, S. Kanae, S. I. Seneviratne, J. Handmer, N. Nicholls, P. Peduzzi and B. Sherstyukov, "Flood risk and climate change: Global and regional perspectives," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 59, no. 1, pp. 1–28, 2014.
- [9] Z. Sen, H. A. Khiyami, S. G. Al-Harthy, F. A. Al-Ammawi, A. B. Al-Balkhi, M. I. Al-Zahrani, and H. M. Al-Hawsawy, "Flash flood inundation map preparation for wadis in arid regions," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 6, no. 9, pp. 3563–3572, 2013.
- [10] Tu. T Van, D. M Duc, N. M. Tung and V. D. Cong, "Preliminary assessments of debris flow hazard in relation to geological environment changes in mountainous regions, North Vietnam," *Vietnam Journal of Earth Sciences*, vol. 38, no. 3, pp. 277–286, 2016.
- [11] A. Guven, "Linear genetic programming for time-series modelling of daily flow rate," *Journal of Earth System Science*, vol. 118, no. 2, pp. 137–146, 2009.
- [12] Z. M. Yaseen, A. El-shafie, O. Jaafar, H. A. Afan and K. N. Sayl, "Artificial intelligence based models for stream-flow forecasting: 2000–2015," *Journal of Hydrology*, vol. 530, pp. 829–844, 2015.
- [13] M. Sarıgöl, "Adana İli Karaisalı İlçesi Seyhan Havzası'nda Taşkın Ötelenmesi Yöntemlerinin Karşılaştırılması ve Analizi, Muskingum Yönteminin Sürtünme Katsayısına (n) Bağlı Performans Analizi," *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 129-137, 2019.
- [14] T. A. Birkland, R. J. Burby, D. Conrad, H. Cortner and W. K. Michener, "River ecology and flood hazard mitigation," *Nat Hazards Rev*, vol. 4, no. 1, pp. 46–54, 2003.

- [15] S. D. Brody, S. Zahran, P. Maghelal, H. Grover, and W. E. Highfield, "The rising costs of floods: examining the impact of planning and development decisions on property damage in Florida," *J Am Plan As*, vol. 73, no. 3, pp. 330–345, 2007.
- [16] N. W. Chan, "Impacts of disasters and disasters risk management in Malaysia: the case of floods," In: Sawada Y, Oum S (eds) *Economic and welfare impacts of disasters in East Asia and Policy responses*, ERIA Research Project Report 2011-8, ERIA, Jakarta, pp. 503–551, 2012.
- [17] A. Pashazadeh and M. Javan, "Comparison of the gene expression programming, artificial neural network (ANN), and equivalent Muskingum inflow models in the flood routing of multiple branched rivers," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 139, pp. 1349–1362, 2020.
- [18] C. W. Dawson, and R. Wilby, "An artificial neural network approach to rainfall-runoff modeling," *Hydrol Sci J*, vol. 43, no.1, pp. 47–66, 1998.
- [19] H. R. Maier and G. C. Dandy, "Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modeling issues and applications," *Environ Model Softw*, vol. 15, pp. 101–123, 2000.
- [20] O. Kisi, "River flow modeling using artificial neural network," *ASCE J Hydrol Eng*, vol. 9, no. 1, pp. 60–63, 2004.
- [21] A. P. S. Kumar, K. P. Sudheer, S. K. Jain and P. K. Agarwal, "Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks: comparison of network types," *Hydrol Process*, vol. 19, pp. 1277–1291, 2005.
- [22] E. Mutlu, , I. Chaubey, H. Hexmoor and S. G. Bajwa, "Comparison of artificial neural network models for hydrologic predictions at multiple gauging stations in an agricultural watershed," *Hydrol Process*, vol. 22, no.26, pp. 5097–5106. 2008.
- [23] M. R. Zadeh, S. Amin, D. Khalili and V. P .Singh, "Daily outflow prediction by multilayer perceptron with logistic sigmoid and tangent sigmoid activation functions," *Water Resour Manag*, vol. 24, no. 11, pp. 2673–2688, 2010.
- [24] O. Kisi, A. M. Nia, M. G. Gosheh, M. R. J Tajabadi and A. Ahmadi, "Intermittent streamflow forecasting by using several data driven techniques," *Water Resour Manage*, vol. 26, no. 2, pp.457–474, 2012.
- [25] B. S. Sil and B. Das, "Determination of downstream flood flow considering inputs from different upstream rivers using ANN," *J Urban Environ. Eng. (JUEE)*, vol. 12, no. 1, 2018.
- [26] K. P. Sudheer, A. K. Gosain and K. S. Ramasastri, "A data-driven algorithm for constructing artificial neural network rainfall–runoff models," *Hydrologic Processes* , vol.16, pp. 1325–1330, 2002.
- [27] B. Bharti, A. Pandey, S. K. Tripathi and D. Kumar, "Modelling of runoff and sediment yield using ANN, LS-SVR, REPTree and M5 models," *Hydrology Research*, vol. 48, no. 6, pp. 1489–1507, 2017.
- [28] F. D. Mwale, A. J. Adeloye and R. Rustum, "Application of selforganising maps and multi-layer perceptron-artificial neural networks for streamflow and water level forecasting in datapoor catchments: the case of the Lower Shire floodplain, Malawi," *Hydrology Research*, vol. 45, no. 6, pp. 838–854, 2014.

- [29] M. Babaei, R. Moeini, and E. Ehsanzadeh, "Artificial neural network and support vector machine models for inflow prediction of dam reservoir case study: Zayandehroud Dam Reservoir," *Water Resources Management*, vol. 33, pp. 2203, 2019.
- [30] N. N. Kourgialas and G. P. Karatzas, "A national scale flood hazard mapping methodology: the case of Greece—Protection and adaptation policy approaches," *Science of the Total Environment*, vol. 601, pp. 441–452, 2017.
- [31] N. Dehghanian, S. S. M. Nadoushani, B. Saghafian and M. R. Damavandi, "Evaluation of coupled ANN-GA model to prioritize flood source areas in ungauged watersheds," *Hydrology Research*, vol. 51, no.3, 2020.
- [32] K. Hornik, "Multilayer feed forward networks are universal approximations," *Neur. Networks*, vol. 2, no.4, pp. 359–366, 1989.
- [33] J. L. Rogers and W. J. Lamarsh, "Application of a neural network to simulate analysis in an optimization process Proceedings, " *Artificial Intelligence in Design 92*, Kluwer Academic, Boston, pp. 739–754, 1992.
- [34] G. Tayfur, V. P. Singh, T. Moramarco and B. Barbeta, "Flood Hydrograph Prediction Using Machine Learning Methods," *Water*, vol. 10, pp. 968, 2018.
- [35] H. K. Demissie and P. Bacopoulos, "Parameter Estimation of Anisotropic Manning's n Coefficient for Advanced Circulation (ADCIRC) Modeling of Estuarine River Currents (lower St. Johns River) , " *Journal of Marine Systems* vol.169, pp. 1–10, 2017.
- [36] M. Zare and M. Koch, "An Analysis of MLR and NLP for Use in River Flood Routing and Comparison with the Muskingum Method," *IAHR World Congress*, 2013.
- [37] Devlet Su İşleri. (2017, 4 Ekim). [Online]. Erişim: <http://rasatlar.dsi.gov.tr/>.
- [38] Cogrfyahaarita.com (2017, 4 Ekim). [Online]. Erişim: <http://cogrfyahaarita.com/haritalarim/2eturkiye-akarsu-havzalari-haritasi.png>
- [39] tarimorman.gov.tr, Büyük Menderes Nehir Havzası Yönetim Planı (2021, 12 Haziran). [Online].Erişim:<https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/NHYP%20DEN%C4%B0Z/B%C3%9CY%C3%9CK%20MENDERES%20NEH%C4%B0R%20HAVZASI%20Y%C3%96NET%C4%B0M%20PLANI.pdf>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Endüstride Pet Şişe Üretiminde Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri

 Mustafa TİMUR^a,  Halil KILIÇ^{b,*}

^aMakine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, TÜRKİYE

^bMakine Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: halil.kilic@klu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.927525

ÖZ

Plastik ürünlerin imalat sürecinde kullanılan yaygın yöntemlerden biri de enjeksiyonla kalıplama yöntemidir. Enjeksiyonla kalıplama sürecinde aralarında karmaşık ilişkiler bulunan parametrelerle birçok performans göstergesinin olması, süreci daha karmaşık hale getirmekte ve son ürünlerin kalitesini büyük oranda etkilemektedir. Endüstride ortaya çıkan sorunların çözümü için görünür nedenlerinden çok kök nedenlerine ulaşılması, doğrudan üretim kalitesini ve rekabet gücünü etkilemektedir. Genel hataların belirlenmesi ile hataların zamanında önlenerek sonraki üretim süreçlerine yansımaları engellenebilir. Bu nedenle üretim süreçlerinde makinelerde planlı bakım sürecinin oluşturulmasının yanında, proses kontrolü ve optimizasyon tekniklerine de gereksinim vardır. Bu çalışmada, pet şişe üretim endüstrisinde meydana gelen hatalı ürünlerin sayısının azaltılması amacıyla çözüm teknikleri geliştirilmiş ve üretim hattına uygulanmıştır. Üretim hattında yapılan düzenlemeler sonrasında, hatalı ürün oluşumunda ve iade miktarında iyileşme sağlanmıştır. Bu yaklaşım ile karmaşık endüstriyel üretim ortamının esnek olarak yönetilebilmesi için hataların süreç içinde belirlenerek üretimden kaynaklı sorunların azaltılabileceği öngörülmektedir. Ayrıca işletmelerin üretim maliyetlerinde elde edilecek önemli azalmalarla rekabet gücünün de artacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pet şişe, Hatalı ürün, Çözüm

Problems Encountered in Pet Bottle Production in the Industry and Solution Suggestions

ABSTRACT

One of the common methods used in the manufacturing process of plastic products is injection molding. The fact that there are many performance indicators with parameters with complex relationships in the injection molding process makes the process more complex and greatly affects the quality of the final products. Reaching the root causes rather than the apparent reasons for the solution of the problems arising in the industry directly affects the production quality and competitiveness. By determining general errors, errors can be prevented in a timely manner and their reflection on subsequent production processes can be prevented. For this reason, besides the creation of a well planned maintenance process in the production processes in the industry, there is also a need for process control and optimization techniques. In this study, solution techniques have been developed and applied to the production line in order to reduce the number of defective products in the plastic bottle production industry. After the adjustments made in the production line, improvements were achieved in the formation of defective products and the amount of returns. After the revises made in the production line, improvements were achieved in the formation of defective products and the amount of returns. With this approach, it is predicted that the problems arising from production can be reduced by identifying the errors in the process in order to manage the complex industrial production environment flexibly. It is thought that the competitiveness of the enterprises will increase with the significant reductions in production costs.

I. GİRİŞ

Son yıllarda birçok üretim endüstrisinde polimer ürünlerin kullanımındaki artış, bu endüstrilerde kaliteli ürünlerin hızlı üretim gereksinimini de beraberinde getirmiştir [1]. Enjeksiyonla kalıplama, karmaşık geometrilere sahip parçaların yanı sıra çeşitli şekil ve boyutlarda parçalar üretmek için kullanılır. Plastik enjeksiyon kalıplama (PIM), plastik parçaların üretimi için uygulanan en yaygın işlemlerden biridir [2]. PIM, yüksek basınç altında ve yüksek hızlarda kalıbın sıcak eriyik ile doldurulduğu döngüsel bir süreçtir. Bunu, ortaya çıkan formun kalıp içinde soğutulması ve son aşamada ürünün kalıptan çıkarılması izler. Bu döngü tipik olarak yaklaşık 20 sn sürer [3].

Plastik ürünlerin imalat sürecinde, hammadde, makine, kalıp, konstrüksiyon, işlem parametresi ve insan kaynaklı birçok problem ile karşı karşıya kalılabilmektedir. Bu süreçlerde sıcak şekillendirme uygulandığından yüzey, renk ve boyut kusurlarının görülmesi kaçınılmaz olmaktadır. Plastik hammadde ısıtılarak şekillendirildiğinden oluşabilecek yüzey problemleri sıcaklık, soğuma hızı, hattın çalışma hızı, titreşim, hava akımı ve tezgâhların fiziksel durumunda kaynaklanabilmektedir. Renklenme hataları ise boyar madde miktarları, aşırı sıcaklıklar veya ultraviyole ışın kaynakları gibi nedenlerden oluşabilmektedirler. Boyut problemleri ise genişleyen plastiğin soğuması esnasında büzülme miktarının formüldeki değişimlerden etkilenmesi veya sıcak plastiğin titreşim ve hattın hızı gibi faktörlerin etkisi ile meydana gelmektedir.

Günümüz imalat sektörü, gelişen teknolojiye ayak uydurarak kitlesel özelleştirmeyi başarmayı hedeflemektedir. Bunun sağlanabilmesi, kullanılan teçhizat veya tezgâhların işleme esnekliğine ve verinin doğru yönetilebilmesine bağlıdır. Esnek çalışma durumlarına uyum sağlayabilen üretim sistemlerinde, verinin doğru ve etkili yönetimi başarılı sonuçlar elde etmek için hayati öneme sahiptir. Bununla birlikte, üretim sürecinde ve sonrasında olmak üzere birçok aşamada hata ya da kusur olarak nitelendirilebilecek birçok sorun oluşmaktadır [4],[5]. Shingo'ya göre, üretim sürecinde çeşitli nedenlerle oluşan hata ve kusurlar birbirinden farklıdır. Hatalar kaçınılmaz fakat kusurlar önlenilebilir sorunlardır. Tüm bunlarla birlikte hatalar için önemli olanın kök nedenleri bulmak ve ortadan kaldırmak için uyarıcı ve önleyici sistemlerin kurulması gerektiği belirtilmektedir [6].

Sun ve ark., [7] yapmış oldukları çalışmada, kalıp soğutma süresini kısaltmak için farklı soğutma kanalları oluşturmuştur. Soğutma süresinin, enjeksiyon kalıbı üzerindeki enjeksiyon konumunun uygun yere konumlandırılmasıyla azaltılabileceği belirtilmiştir [8]. Mercado ve ark., [9] plastik parçanın geometrisine dayalı olarak enjeksiyon kalıplarında soğutma sisteminin otomatik tasarımı için yeni bir algoritma geliştirmiştir. Tang ve ark., [10] plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma kanallarının en uygun yerleşimine yönelik bir çalışma yapmışlar ve soğutma sistemi için bilgi tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir. Lin, [11] yaptığı çalışmada, serbest şekilli bir plastik ürün için en uygun soğutma sistemi tasarımını sinir ağları yöntemi ile oluşturmuştur. Zhou ve ark., [12] plastik enjeksiyon kalıplarında soğutma sisteminin otomatik yerleşimine yönelik bir çalışma yapmıştır. Avunduk, ve ark., [13] pet şişirme makinelerinde farklı yöntemlerle iyileştirme süreci, Brandau, [14] enjeksiyon şişirme makinelerinin donanımı, Bayram ve ark., [15] şişirme makinelerinde fırın optimizasyonu üzerine çalışmalar yapmıştır. Plastik enjeksiyon alanında yapılan birçok çalışma, üretim verimliliğini arttırmak adına soğutmayı iyileştirerek döngü süresinin (cycle time) en aza indirilmesine odaklanmıştır. Plastik şişirme kalıplama ile üretimi yapılan ürünlerin üretim süreçleri, son ürün ve karşılaşılan problemlerin daha fazla araştırılması gereken unsurlar olduğu görülmektedir.

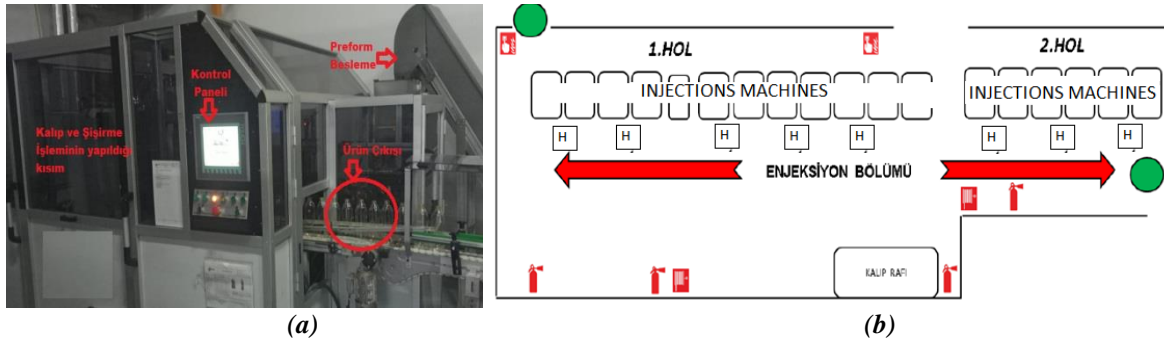
Plastik enjeksiyonla şişirme sürecinde, birçok parametre ve performans göstergesi çıkan son ürünün kalitesini etkilemektedir. Oluşan herhangi bir hata sonucunda sisteme müdahale sürecinin uzunluğu, makine, malzeme ve iş gücü kayıplarından dolayı toplam üretim maliyetlerini etkilemektedir. Üretim esnasında meydana gelen hatalar son kullanıcıya ulaştıktan sonra telafisi oldukça zor ve maliyeti yüksek olabilmektedir [5]. Üretim kayıplarının sistemli bir şekilde tanımlanarak ortadan kaldırılması

verimliliği etkileyen etkenlerin başındadır. Kaliteli üretim ve rekabet gücünü sürdürebilmek için proses ve teçhizatlar sürekli olarak optimize edilmek durumundadır. Bu çalışmada; plastik endüstrisinde pet şişe üretimi esnasında ortaya çıkan problemler incelenmiş olup, işletmedeki üretim verimliliğinin devamı bakımından, üretim hataları ve kusurlarının azaltılmasını amaçlayan bir yaklaşım ile uygulama örnekleri ve çözüm önerileri ele alınmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

A. PET ŞİŞE ÜRETİM HATTI

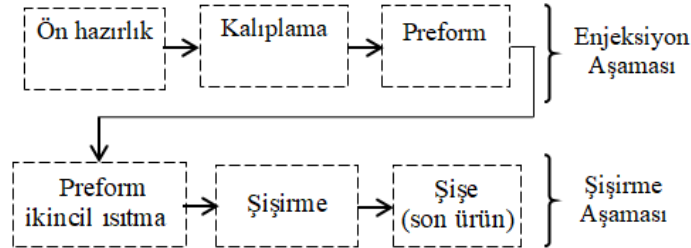
Çalışma kapsamında, işletmede kullanılan ve incelemesi yapılan pet şişirme makinesine ait kısımlar ve makinelerin enjeksiyon bölümündeki yerleşim planı Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1.(a) Pet şişe üretim makinesi ve (b) Enjeksiyon hattı yerleşim planı

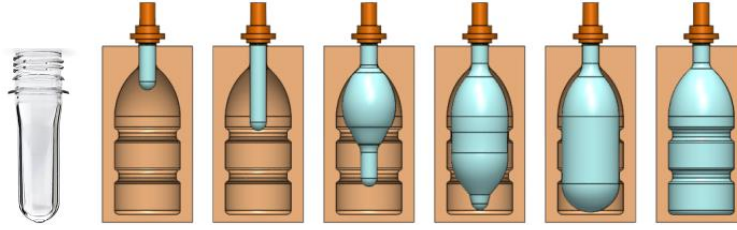
B. ÜRETİM PROSESİ

Pet şişe üretimi iki adımlı bir proses ile gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar plastik enjeksiyon ve arkasından şişirme ile devam eden süreçtir. Şekil 2’de üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 2. Pet şişe üretim aşamaları

Granül halde bulunan ve neme duyarlı olan pet malzeme, hava kurutucu sistemler ile içindeki nemi ayrılan sıcak hava sisteme aktarılarak enjeksiyon öncesi kurutma işlemi uygulanır. Kurutulan ham malzeme atmosfere maruz kalmadan enjeksiyon kalıplama için enjeksiyon makinesine aktarılır. Enjeksiyon aşaması, ısıtılıp eritilen hammaddenin yüksek basınç altında ve yüksek hızlarda kalıba doldurularak preform olarak isimlendirilen şişenin ilk halinin üretildiği döngüsel süreç olarak gerçekleşir. Bunu, oluşan preformun aktif su soğutmalı kalıp içinde soğutulması ve son aşamada ürünün kalıptan çıkarılması takip eder. Enjeksiyon işleminden sonra infrared ısıtıcı fırın içerisinde ortalama 110°C sıcaklıkta ikincil bir ısıtma işlemi uygulanan preforma, şişirme makinesinde basınçlı hava yardımıyla su soğutmalı kalıplarda son şeklinin verilmesi esasına dayanır. Şekil 3’te şişe oluşumundaki preform şişirme aşamaları, Tablo 1’de ise şişirme parametreleri görülmektedir.



Şekil 3. Preform şişirme aşamaları

Tablo 1. Şişirme parametreleri

Parametre	Değer
Enjeksiyon basıncı (bar)	100-120
Enjeksiyon tutma basıncı (bar)	35-75
Silindir-meme sıcaklığı (°C)	140-230
Preform sıcaklığı (°C)	110
Enjeksiyon hızı (mm/dk)	20-100
Ön şişirme / şişirme basıncı (bar)	4-8 / 10-20
Kalıp kilitleme basıncı (bar)	30-50

III. DENEYSEL ÇALIŞMA

A. PET ŞİŞE ÜRETİMDE TESPİT EDİLEN HATALAR

Bu bölümde, işletmede pet şişe üretiminde oluşan hatalı ürünler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda belirlenen hata türleri ve çözüm teknikleri uygulama örnekleriyle ele alınmıştır.

A.1. Yabancı Madde

Preform kalitesi doğrudan üretilen şişenin kalitesini belirlemektedir. Preform üretiminde preform içerisinde oluşabilecek yabancı maddeler şişe üretiminde istenmeyen durumlara neden olmaktadır. Şekil 4'te görülen hatalı ürünler üzerinde yapılan incelemelerde, hammadde kaynaklı bulaşlar (hammadde yanığı, erimemiş çapak), makine kaynaklı fiziksel veya kimyasal bulaşlar (yağ, mekanik aksam veya parça düşmesi), personel kaynaklı bulaşlar (saç, kulaklık parçası, düğme, yiyecek artığı) gibi yabancı madde kaynaklı kusurların üretimi olumsuz etkilediği belirlenmiştir.



Şekil 4. Yabancı madde kaynaklı hatalar

Bu tip hataların azaltılması için; preform üretimi sırasında oluşan yanık ve siyah lekeye neden olan faktörler ortadan kaldırılmalıdır. Üretim esnasında hidrolik üniteye meydana gelen basınç belirli aralıklarla piston içerisindeki sızdırmazlık elemanlarını aşındırmaktadır. Bu nedenle parçalanmış elemanlar sistem içerisine girmekte ve hammaddeye karışarak son ürünlerde siyah lekeler

oluşturmaktadır. Bu aşamada özellikle makine ve kalıp bakımları düzenli yapılarak risk oluşturabilecek parçalar belirli periyodlarla kontrol edilmeli ve üretimin her aşamasında GMP(GoodManufacturingPractices) iyi üretim kurallarına dikkat edilmelidir.

A.2. Dağılım (Form) Bozukluğu

Dağılım bozukluğu oldukça önemli olan bir faktördür. Doğrudan ürün yapısını etkileyecek olup hem dolum esnasında hem de üretim sonrası işletmelerde büyük zararlara neden olacaktır. Pet şişe üretim esnasında ürün makine çevrim süresinin iyi ayarlanamaması, taban kayması sonucu bölgesel zayıflık, proses ayar hatası sonucu gövde et kalınlığının zayıf kalması, preform yapısı nedeniyle proses ayarının düzgün yapılamaması nedeniyle dağılım problemleri meydana gelmektedir. Şişe üretiminde en çok görülen problemlerden biri olan dağılım sonucu üzerinde çökme meydana gelmiş hatalı ürün Şekil 5'te görülmektedir.

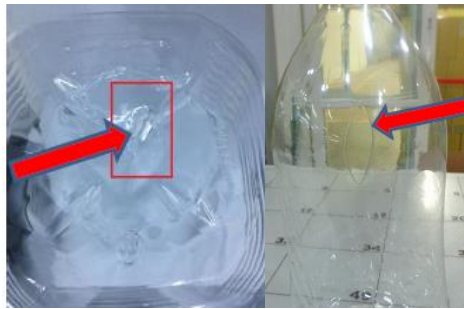


Şekil 5. Dağılım sonucu çökme

Bu durumun en aza indirilmesi için aşağıdaki uygulamalara dikkat edilmeli ve sıralanan başlıklara göre düzeltmelerin yapılması önerilmektedir. Dağılım problemlerinin çözümünde, şişe yapısına uygun preform kullanılmalı, makine Strechroot veya basınç ayarları kontrol edilerek yeniden yapılandırılmalı ve personelin teknik eğitim gereksinimleri belirli periyotlarla kontrol edilmelidir.

A.3. Delik

Preform şişirme esnasında meydana gelen ve hiç olmaması gereken temel kusurlardan bir tanesi kılcal boşlukların neden olduğu delik oluşumudur. Şekil 6'da şişirme esnasında üzerinde delik oluşmuş hatalı ürünler görülmektedir.



Şekil 6. Şişirme sonucu delik oluşumu

Bu olumsuz durumun nedenleri, makine topacının stretch çubuğuna temas eden yüzeyinin hasarlı olması, stretch çubuğunun eğri basması, taban ısılarının çok düşük olması, stretch çubuğunun ayar mesafesinin düşük olması (topaca vurma) ve preformenjeksiyon noktasının bozuk olması şeklinde sıralanabilir. Bu problemlerin çözümünde şu öneriler sırayla uygulanmalıdır. Stretch çubuğu ve tabanlar kontrol edilmeli, preform ısıları el ile kontrol edilmeli, stretch çubuğu ayarı ve kontrolü hassas yapılmalı, özellikle kış aylarında oktabin değişiklikleri yapılırken haznede bulunan bir önceki oktabine ait preformlar tamamen bittikten sonra bir sonraki oktabinden yükleme yapılmalıdır. Makine

kontrollerinde ise ısıtıcı lambalara kesinlikle temas edilmemeli, ısıtıcı fırının titreşimli çalışması engellenmeli ve sistem basıncı mümkünse sabitlenerek sık sık kontrol edilmelidir.

A.4. Dolum Seviyesi

Pet şişeler imalat resimlerinde belirtilen dolum seviyelerine uygun olarak üretilmek zorundadır. Aksi takdirde şişe dolum seviyesinin değişmesine neden olur. Şekil 7’de hatalı dolum seviyesine sahip ürün görülmektedir.



Şekil 7. Hatalı dolum seviye çizgisi

Bu hatanın oluşum nedenleri arasında, proses/kalıp soğutma suyunda problem olması sonucu şişelerin yeteri kadar soğutulamaması, sıcak havalarda ürünlerin uzun süre depoda bekletilmesi, preform ısısının gerekenden ideal seviyede olmaması, hava kompresörlerinde basınç dalgalanmaları sonucu hava basıncının düşüklüğü ve ürünlerin güneş ışığına direk ve uzun süre maruz kalması gösterilebilir.

Bu problemin çözüm önerileri şu şekilde sıralanabilir. Üretim esnasında chiller soğutma sistemi yakından takip edilerek optimum seviyede çalışması sağlanmalı, özellikle yaz aylarında yüksek miktarda stok yapılmamalı, hacim düşük ise tüm ısılar artırılmalı, yüksek ise düşürülmeli, basınç dalgalanmalarından dolayı kompresör hava basıncı belirli aralıklarla kontrol edilmeli, elektrik dalgalanması veya kesilmesi durumlarında ürünler blokeye alınarak kontrol edilmeli, ürünlerin kapalı ve serin ortamda depolanması sağlanmalıdır.

A.5. Ağızda Açma

Üretim esnasında çeşitli sebepler sonucunda ağız kısmında bozulma meydana gelen ürün Şekil 8’de görülmektedir. Bu problemin oluşum sebepleri, şişirme esnasında pinoleninpreforma aşırı baskı yapması sonucu ağızda genişleme oluşması ve preform boğazının sıcak kalması sonucu iç basıncın şişe ağzını açması olarak sıralanabilir. Bu hata oluşumunun en aza indirilebilmesi için, üretim başlangıcında pinole kontrol edilerek yukarıya kaldırılmalı ve fırın lamba ayarı yapılırken, preform boğazı aşırı ısınmayacak şekilde malzemeye uygun olarak ayarlanmalıdır.



Şekil 8. Şişe ağzında açma

A.6. Kılcal Çatlak

Hatalı üretim sonucunda yüzeyinde kılcal çatlak oluşmuş son ürün Şekil 9’da görülmektedir. Bu problem, preform tabanının soğuk kalması, stretch milinin tabana aşırı baskı yapması, stretch milinin uç kısmında yaranma olması ve preformenjeksiyon noktasının bozuk olması sonucu meydana gelebilmektedir. Bu problemin çözümünde ise preformun taban ısı artırılmalı ve stretch mili kontrol edilerek mil ayarı uygun seviyeye getirilmelidir.



Şekil 9. Kılcal çatlak oluşumu

A.7. Ağız Deformasyonu

Ağız kısmında deformasyon meydana gelen hatalı son ürün Şekil 10’da görülmektedir. Bu problemin oluşumunda, şişe taşıyıcı kollarının ayarsız olması, kalıpta veya topaçta istenmeyen çapak ve yaraların bulunması, çıkış kollarının şişeyi konveyöre sağlıklı bırakamaması, preform üretimi sırasında boğaz kısmının deforme olması ve kalıp boğaz parçalarının deforme olması veya yanlış takılması gibi nedenler sıralanabilir. Bu problemin çözümünde, taşıyıcı kolların hareket ayarı kontrol edilerek tekrar yapılandırılmalı, kalıp ve topaç yüzeyleri kontrol edilmeli, çıkış ayarı tekrar gözden geçirilmeli ve preformlar kontrol edilerek hata oranı yüksek oktabinlerin bloke edilmesi etkili öneriler arasındadır.



Şekil 10. Şişe ağzında deformasyon

A.8. Beyazlama (Yanma)

Üretim esnasında preform ısılarının tümüyle veya bölgesel olarak uygun olmaması sonucu şişe yüzeyinde beyazlanma oluşmuş son ürün Şekil 11’de görülmektedir. Preform ısılarının düşük olması durumunda, genellikle köşe ve tabanlarda kristalleşme, yüksek olması durumunda ise bölgesel olarak veya tümüyle flulaşma-sedefleşme meydana gelir. Böyle bir problemin çözümünde, ısı ayarı (şişe üzerindeki görüntüye göre) bölgesel veya tümüyle artırılmalı, kış aylarında preformoktabinlerinin art arda beslenmesinde sorun yaşamamak için ortam ısısında stoklanma sağlanmalı ve beyazlamanın içten veya dıştan olduğu durumlar tespit edilerek, dıştansa proses ayarlarına, içten ise ortam nem dengesizliği olduğu düşünülerek gerekli nem azaltıcı (nem alma cihazı, klima vb) müdahaleler yapılmalıdır.



Şekil 11. Şişe yüzeyinde beyazlama

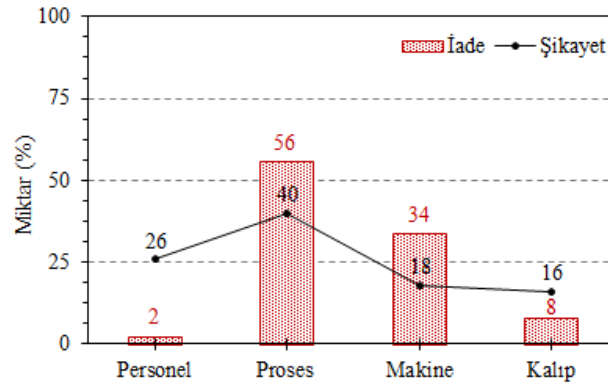
IV. ARAŞTIRMA BULGULARI

İşletmenin pet şişe üretiminde karşılaştığı, Bölüm 3’te belirtilen problemler adet sayılarıyla birlikte Tablo 2’de özetlenmiştir. Ortaya çıkan problemler üretimde iade nedenlerini oluşturmaktadır. Bu durum üretim verimliliğini, maliyetleri dolayısıyla müşteri davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir.

Tablo 2. Üretimde oluşan hataların 2020 yılı içerisindeki dağılımı

No	Hata tanımı	Şikâyet sayısı	İade adedi
1	Yabancı madde	28	6.368
2	Dağılım bozukluğu	22	132.221
3	Delik	17	54.924
4	Dolum seviyesi	16	55.971
5	Ağızda açma	11	24.605
6	Kılcal çatlak	3	57.380
7	Ağız deformasyonu	6	3.289
8	Beyazlama	5	193

Tablo 2’de tanımlanan başlıklar incelendiğinde, üretimde oluşan hataların 2020 yılında oluşturduğu müşteri şikayet ve ürün iade oranları Şekil 12’de görülmektedir. Bu hatalara sebep olan etmenlerin başında ise proses ve makine kaynaklı hataların geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 12. Üretim hatalarına sebep olan etmenlerin dağılımı

Tablo 3’te, işletmenin 2019 yılındaki ve iyileştirme çalışmalarının yapıldığı 2020 yılındaki üretim ve ürün iade miktarları görülmektedir. Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda, işletmenin son ürünleri içindeki hatalı ürün miktarında bir önceki yıla kıyasla azalma görülmüştür. Ancak hata oranı

sıfırlanamamıştır. Bunun nedeni olarak yıl içerisinde aynı makinede farklı tür ürünlerin üretiliyor olması ve her birinin kalıp, proses ve makine üretim parametrelerinin değişiyor olması gösterilebilir. Her ürünün sabit bir makinede üretilmemesi makine ve proses bazlı yapılan iyileştirmeleri bir sonraki üretimde etkilemektedir. Bunun nedeni olarak işletmelerin yıl içerisinde mali açıdan kendilerini destekleyecek farklı firmalarla çalışmak istemeleridir. Bu durum üretim hattında yapılan iyileştirmelerin etki oranını değiştirmektedir. Üretimde meydana gelen hataların makine ve teçhizat kaynaklı olmasının yanında personel kaynaklı da olması, üretim için teknik eğitim sürecini tamamlamış insan gücüne ihtiyaç olduğu sonucunu da ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 3. 2019 ve 2020 yıllarındaki üretim ve iade adedi

	2019	2020
Üretim adedi	648.521.451	645.843.472
Hatalı ürün iade adedi	1.293.440	334.951
İade oranı (%)	0.20	0.05

V. SONUÇ

Bu çalışmada, pet şişe imalatı yapan bir işletmenin son ürünlerinde meydana gelen hatalı ürünlerin sayısının azaltılarak, ürün kalitesini arttırmak amacıyla çözüm önerileri geliştirilmiştir. Bu öneriler doğrultusunda üretim prosesi ve teçhizatlarında bir dizi düzenlemeler yapılarak üretim hattı optimize edilmiştir. Çözüm odaklı yapılan düzenlemeler doğrultusunda, üretimden kaynaklanan problemlerin önemli derecede azalmasıyla son ürünler içindeki hatalı ürün sayısı da azalmıştır. Dolayısıyla hatalı ürün iade miktarında bir önceki yıla kıyasla % 0.15 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bu yaklaşım ile karmaşık endüstriyel üretim ortamının esnek olarak yönetilebilmesi için hataların süreç içinde belirlenerek üretimden kaynaklı sorunların azaltılabileceği öngörülmektedir. Ayrıca işletmelerin üretim maliyetlerinde elde edilecek önemli azalmalarla rekabet gücünün de artacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Uygulama çalışmalarının gerçekleştirilmesinde vermiş oldukları katkılardan dolayı Plaş Plastik Ambalaj Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] Z. Chen and L. S. Turng, "A review of current developments in process and quality control for injection molding," *Advances in Polymer Technology*, vol. 24, no. 3, pp. 165–182, 2005.
- [2] D. Kozjek, R. Vrabič, D. Kralj, P. Butala and N. Lavrač, "Data mining for fault diagnostics: A case for plastic injection molding," *In Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 809–814, 2019.
- [3] D. V. Rosato and M. G. Rosato, Injection molding machines, *In Injection Molding Handbook*, 2nd ed., Boston, MA: Springer, 2000, pp. 28–150.
- [4] M. Zerenler ve K. Karaboğa, "Müşteri memnuniyetinin sağlanmasında hataların önlenmesine yönelik üretim odaklı bir bakış açısı: Poka-Yoke sistemleri," *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, s. 31.1, ss. 263–275, 2014.
- [5] H. Kılıç ve M. Timur "Plastik enjeksiyon tezgâhlarında vida kırılmasının akustik emisyon yöntemi ile tespit edilmesi," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, s. 28, ss. 126-129, 2021.



- [6] T. A. Saurin, J. L. D. Ribeiro and G. Vidor, "A framework for assessing poka-yoke devices," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 31, no. 3, pp. 358–366, 2012.
- [7] Y. F. Sun, K. S. Lee and A. Y. C. Nee, "Design and FEM analysis of the milled groove insert method for cooling of plastic injection moulds," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 24, no. 9–10, pp. 715–726, 2004.
- [8] H. S. Park and X. P. Dang, "Development of a smart plastic injection mold with conformal cooling channels," *Procedia Manufacturing*, vol.10, pp. 48–59, 2017.
- [9] J. M. Mercado-Colmenero, M. A. Rubio-Paramio, J. de J. Marquez-Sevillano and C. Martin-Doñate, "A new method for the automated design of cooling systems in injection molds," *CAD Computer Aided Design*, vol. 104, pp. 60–86, 2018.
- [10] L. Q. Tang, C. Chassapis and S. Manoochchri, "Optimal cooling system design for multi-cavity injection molding," *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 26, no. 3, pp. 229–251, 1997.
- [11] J. C. Lin, "Optimum cooling system design of a free-form injection mold using an abductive network," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 120, no. 1–3, pp. 226–236, 2002.
- [12] H. Zhou and D. Li, "Mold cooling simulation of the pressing process in TV panel production," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 13, no. 3, pp. 273-285, 2005.
- [13] H. Avunduk, "Yalın altı sigma, bir pet şişirme makinasında süreç iyileştirme uygulaması," *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 18, s. 70, ss. 633–653, 2019.
- [14] O. Brandau, *Stretch Blow Molding*, 3rd ed., Cambridge, United States: Elsevier, 2016, pp.300-374.
- [15] B. Bayram ve Z. Oralhan, "Pet şişe şişirme makinelerinde fırın optimizasyonu," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel sayı, ss. 494–504, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

e-Stüdyo için Aydınlatma Modeli ve Optimizasyonu

 Hamit ARMAĞAN^{a,*},  Tuncay YİĞİT^b

^a*Enformatik Bölümü, Rektörlük, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE*

^b*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel, Isparta, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hamitarmagan@sdu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.914998

ÖZ

Günümüzde uzaktan eğitim alanında akıllı sınıf, e-sınıf ve e-stüdyo gibi uzaktan eğitim ortamları online eğitim veren üniversitelerde ve kurumlarda ders alan öğrencilerin derse aktif katılımlarını ve öğretim elemanlarının interaktif dersler oluşturmalarını sağlamak amacıyla etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bunlardan “e-stüdyo” modeli eğitim teknolojilerinin bilişim ergonomisine uygun olarak kullanıldığı ses, görüntü, aydınlatma gibi temel parametreleri optimize edilmiş uzaktan eğitimin kolay ve interaktif bir şekilde yapılmasını sağlamak amacıyla tasarlanmış ve geliştirilmiş bir modeldir. Bu çalışmanın amacı online eğitimlerde e-stüdyo da çalışan donanımlar ve öğretim elemanı için en uygun aydınlatma seviyelerinin oluşturulmasıdır. Bunun için e-stüdyo da aydınlatma yönünden dikkat edilmesi gereken aydınlatma alanları ve seviyeleri belirlenmiştir. Bu alanlar kamera alanı, öğretim elemanı çalışma alanı ve interaktif tahtanın bulunduğu alandır. Bundan dolayı e-stüdyo da üç farklı aydınlatma seviyesi oluşturulmuştur. Aydınlatma seviyeleri belirlenirken e-stüdyo da yapılan ölçümler ve bu ölçümlerin modellenmesi ile elde edilen veri setleri kullanılmıştır. Veri setinin matematiksel modelinin oluşturulmasıyla e-stüdyo içerisinde aydınlatma şiddeti dağılımının detaylı olarak analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Uzaktan eğitim, Optimizasyon, Matematiksel modelleme*

Lighting Model and Optimization for e-Studio

ABSTRACT

Today, in the field of distance education, distance education environments such as smart classrooms, e-classrooms and e-studios are used effectively in universities and institutions that provide online education to ensure the active participation of students who take courses in the course and instructors to create interactive courses. Among these, “e-studio” is a model designed and developed in order to provide easy and interactive distance education with optimized basic parameters such as sound, image and lighting, where educational technologies are used in accordance with informatics ergonomics. The aim of this study is to create the most suitable lighting levels for the equipment working in the e-studio and the instructor in online trainings. For this, the lighting areas and levels that should be considered in terms of lighting have been determined in the e-studio. These areas are the camera area, the teaching staff's work area and the interactive board. Therefore, three different lighting levels have been created in the e-studio. While determining the lighting levels, the measurements made in the e-studio and the data sets obtained by modeling these measurements have been used. By creating the mathematical model of the data set, the distribution of lighting intensity in the e-studio has been analyzed in detail.

Keywords: *Distance education, Optimization, Mathematical modeling*

I. GİRİŞ

Günümüzde eğitim ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte bu teknolojiler eğitim alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yükseköğretimde bu teknolojiler sayesinde uzaktan eğitim, karma eğitim gibi modeller hızla çoğalmaktadır. Uzaktan eğitim modeli yüz yüze eğitim modeline göre avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Uzaktan eğitimin yapıldığı ortamın yeterli düzeyde teknolojik donanıma sahip olması, ses akustiği, aydınlatma şiddeti gibi temel bileşenlerin uygun aralıkta olması öğrencilerin uzaktan eğitime bakış açısını olumlu etkilemektedir. Ayrıca web konferans yazılımlarının ve iletişim teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte uzaktan eğitim daha kolay ulaşılabilir bir eğitim modeli olmuştur.

Akıllı sınıf, e-sınıf gibi uzaktan eğitim ortamları, video konferans yada web konferans sistemlerine entegre edilebilen uzaktan eğitim yada yüz yüze eğitim derslerinin yapıldığı eğitim teknolojilerinin yoğun olarak kullanıldığı interaktif sınıflardır. e-Stüdyolar ise bireysel olarak uzaktan eğitim derslerinin sunulabileceği ortamlar olarak tasarlanmıştır. Genel olarak bu ortamlarda yapılan dersler ile uzaktan eğitimde aşağıda karşılaşılan problemler ortadan kaldırılmış ve uzaktan eğitimin başarısına katkı sağladığı görülmüştür.

- Online derslerde/ arşiv kayıtlarında ses kalitesinin düşük olması,
- Online derslerde/ arşiv kayıtlarında görüntü kalitesinin düşük olması,
- Uzaktan eğitim ortamlarında gerekli eğitim donanımlarının olmaması,
- Online derslerde yaşanan teknik aksaklıklar,
- Öğretim elemanının derse hazır bulunmuşluğu,
- Veri iletişiminin düşük olması,
- Arşiv kayıtlarında yaşanan aksaklıklar.

Akıllı sınıf, e-sınıf, e-stüdyo gibi uzaktan eğitim ortamları ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda eğitim teknolojisi, bilişim ergonomisi, bu eğitim ortamlarında öğrencilerin tutum ve davranışları hakkında araştırmalar yapılmıştır. Chen [1], kişinin biometrik özelliklerini kullanan akıllı sınıf modelinde eğitmenin tanınabildiği ve bu sayede sistemin daha kolay ve etkili olduğunu belirtmiştir. Winer [2], öğrenciler için akıllı sınıftaki çoklu sunum teknikleri ve ders kayıtlarına sonradan erişim sağlamalarını eğitim açısından bir fırsat olduğunu ifade etmiştir. Shi [3], uzaktan eğitim sisteminde kullanılan akıllı sınıfları, öğretmenler için insan-bilgisayar etkileşimini üst seviyeye çıkaracak sistem olarak tanımlamaktadır. Ren ve Xu [4], akıllı sınıfların, elektronik ortamlarla kullanıcıları bütünleştiren yeni bir eğitim ortamı olduğunu ifade etmiştir. Wang [5], akıllı sınıf ortamlarını yalnızca eğitim ortamlarında değil, her türlü toplantı ve uygulamaları için de kullanılabileceğini belirtmiştir. Carter ve Linder [6], akıllı sınıflar ve işbirlikçi öğrenme arasında ilişki olduğunu vurgulamışlardır. Tiburcio ve Finch [7], akıllı sınıfların öğrencilerin etkileşimli davranışlarını olumlu yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Yau [8], akıllı sınıfın üniversite öğrencileri arasında işbirliğine dayalı öğrenmeyi kolaylaştırdığını ifade etmiştir. Bautista ve Borges [9], akıllı bir sınıfın kullanıcıların ihtiyaçlarına göre uyarlanmış, rahat, kişiselleştirilmiş, güvenli ve teknolojik olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ren ve Xu [10], akıllı sınıfta öğretmenin hareketlerini algılayan hareket tanıma sisteminin etkileşim üzerine olumlu katkıları belirtmişlerdir. Yıldız [11], televizyon stüdyolarında iç mekan düzeni, akustik, aydınlatma, estetik gereksinimler, teknik gereksinimler, iklimlendirme, vb. faktörler olarak bir araya gelen disiplinlerin bütünlük ve uyum içinde olması gerektiğini belirtmiştir. Şahin [12], iç mekanda kullanılan duvar rengine göre kullanılan aydınlatma türünün aydınlık düzeyi dağılımında etkili olduğu ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, öğrencilere verilen senkron ve asenkron eğitim esnasında; sesli ve görüntülü iletişimin daha kaliteli ve etkin bir şekilde öğrencilere aktarılması için “e-stüdyo” modeli önerilmiştir. Önerilen e-stüdyo modelinde aydınlatma yönünden dikkat edilmesi gereken aydınlatma seviyeleri belirlenmiştir. Bu seviyeler; kamera için gerekli olan ışık seviyesi, öğretim elemanı çalışma alanı için gerekli olan ışık seviyesi ve interaktif tahta için gerekli olan ışık seviyesidir. Bu yüzden e-stüdyo modelinde 3 farklı ışık seviyesi oluşturulmuştur. Bu ışık seviyeleri belirlenirken e-stüdyo içinde ders

esnasında elde edilen ışık seviyeleri verileri kullanılmıştır. Yapılan aydınlatma modeli optimizasyonu için simülasyon verileri üzerinden matematiksel model elde edilmiştir. Elde edilen matematiksel model kullanılarak e-stüdyo içerisindeki aydınlatma düzeyinin en uygun seviyesinin çözümü için sayısal analizi gerçekleştirilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

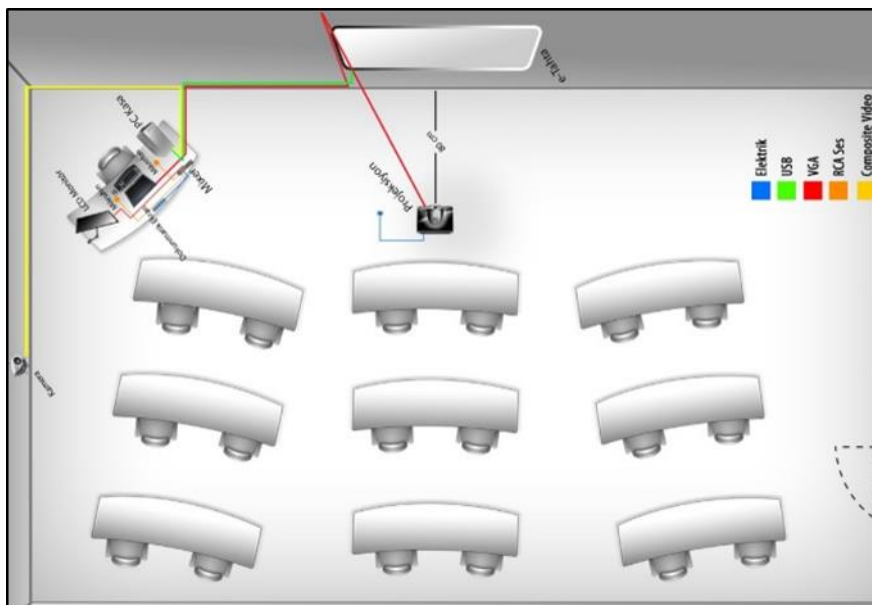
A. MATERYAL

A. 1. Akıllı Sınıf ve e-Sınıf Modeli

Akıllı sınıf ve e-Sınıf, video konferans ve web konferans sistemleri için tasarlanmış ve geliştirilmiş ortamlardır. Web konferans ya da video konferans gibi çeşitli iletişim ortamları üzerinden iki veya çok yönlü ve gerçek zamanlı görüntü, ses ve veri iletiminin yüksek bir performansla yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Akıllı sınıf ve e-sınıf, hem web konferans hem de video konferans sistemleri üzerinden çalışmak üzere tasarlanmışlardır. Video konferans sistemlerinin donanımına bağlı olarak çalışması, web üzerinden yayınlanması ve kayıt işlemleri için ayrıca sunuculara ihtiyaç duyması, bağlantı nokta sayısının sınırlı olması gibi nedenlerden dolayı bu sistemler yerini web konferans sistemlerine bırakmışlardır. Web konferans uygulamaları sanal sınıf uygulamaları üzerinden gerçekleştirildiği için kayıt işlemleri, web üzerinden yayın işlemleri vb. işlemler aynı sunucu üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu sayede esneklik, kullanılabilirlik ve maliyet açısından avantajlara sahiptir. Buda, uzaktan eğitimin etkin bir şekilde verilebilmesi için akıllı sınıf ve e-sınıf modellerinin gelişimi açısından oldukça etkili olduğu görülmüştür.

Şekil 1'de akıllı sınıf ve e-sınıf modeli için mimari görsel sunulmuştur. Akıllı sınıf ve e-sınıf ortamlarında video konferans sistemi, interaktif ekran, interaktif akıllı tahta, ses ve görüntü sistemi donanımları yer almaktadır. Genel olarak akıllı sınıf ve e-sınıf modelinin örgün eğitim ve uzaktan eğitimde kullanım alanları aşağıda verilmiştir.

- Örgün derslerin kayıt altına almak ve asenkron olarak sunmak,
- Kullanıcıların mekandan bağımsız toplantılar yapabilmesini sağlamak,
- Öğrenci sayısının fazla olduğu sınıf ortamlarında web üzerinden derslere katılımı sağlamak,
- Ders, seminer, toplantı vb. etkinlikleri düzenlemek,

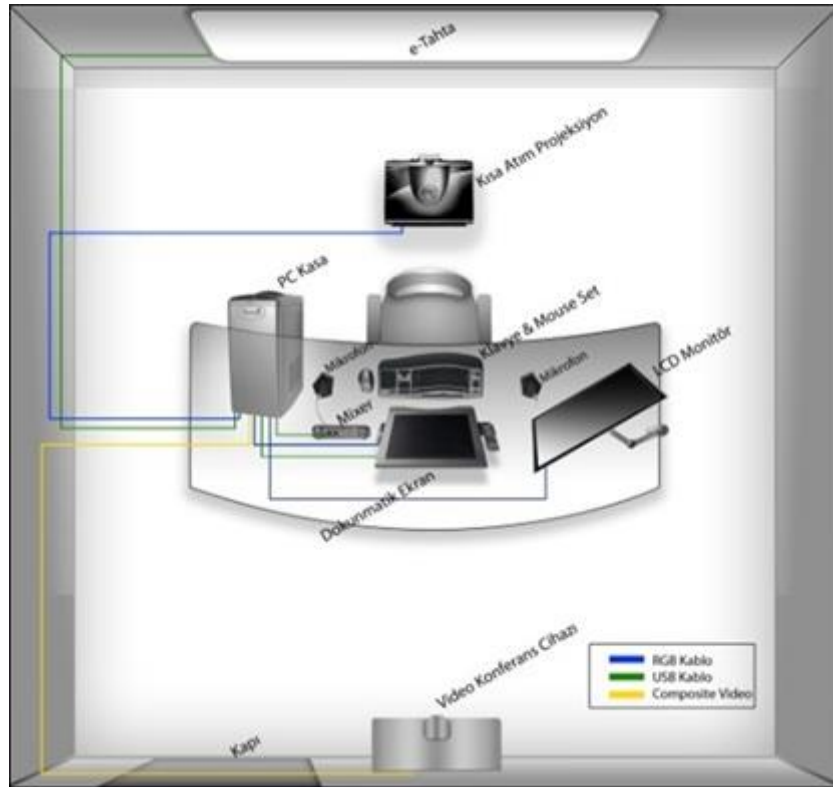


Şekil 1. Akıllı sınıf ve e-Sınıf modeli için mimari görünüm

A. 2. e-Stüdyo Modeli

“e-Stüdyo” uzaktan eğitim alanında online (senkron) eğitim veren üniversitelerde/kurumlarda ders alan öğrencilerin derse aktif katılımlarını ve öğretim elemanlarının ilgi çeken dersler oluşturmalarını sağlayan ortamlardır. Önerilen e-stüdyo modeli, öğretim elemanlarına kolay ve kullanıcı dostu eğitim ortamları sunmak için bilişim ergonomisine uygun olarak geliştirilmiştir(Türk Patent Enstitüsü, Tasarım Tescil Numarası: 201100256).

Şekil2’de e-Stüdyo mimari modeli görselleri verilmiştir. Önerilen e-stüdyo modelinde kullanılan donanımlar interaktif ekran, interaktif akıllı tahta, kısa atım projeksiyon, ses mikseri, mikrofon ve ptz kamera şeklindedir. e-stüdyoda ders veren öğretim elemanı ister oturarak isterse ayakta dersi işleyebilmektedir. E-stüdyoda iki ekran kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi interaktif ekran olup ders içeriği paylaşımı yapılmaktadır. Diğer ekranda ise öğretim elemanı ve öğrencilerin canlı paylaşımlarının yapıldığı ekrandır. e-stüdyo içerisinde kullanılan boundary mikrofonların 360 derece ses alabilme özelliği sayesinde öğretim elemanı e-stüdyo içerisinde herhangi bir noktadan ses kaybı olmadan dersini sunabilmektedir. e-stüdyo tasarımında kullanılan endirekt aydınlatma sayesinde öğretim elemanını rahatsız etmeyecek şekilde ortam aydınlatılması yapılmıştır. İnteraktif ekran ve interaktif akıllı tahtanın senkron bağlantısı sayesinde öğretim elemanı bu donanımları aynı anda kullanabilmektedir. Bu donanımlar sayesinde bilgisayar ortamındaki her türlü belge ve görüntü üzerinde yazma ve çizme işlemleri kolayca yapılabilmektedir. Bu sayede dersler interaktif şekilde işlenebilmektedir. Kullanılan senkron eğitim platformu yazılımları ile öğrencilerin bu dersleri sesli ve görüntülü olarak izlemeleri sağlanabilmektedir. Bu özelliklere ek olarak senkron eğitim platformu yazılımları sayesinde dersler video formatında kayıt edilmekte ve arşivlenmektedir.



Şekil 2. e-Stüdyo mimari modeli

Önerilen e-stüdyo modelinde etkin uzaktan eğitim faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için ses, görüntü ve veri paylaşımlarının başarılı bir şekilde sağlanması gerekir. Tablo 1’de parametrelere bağlı olarak senkron eğitim platformunda (Adobe Connect Pro) kullanılan bant genişliği(kbps) bilgileri verilmiştir

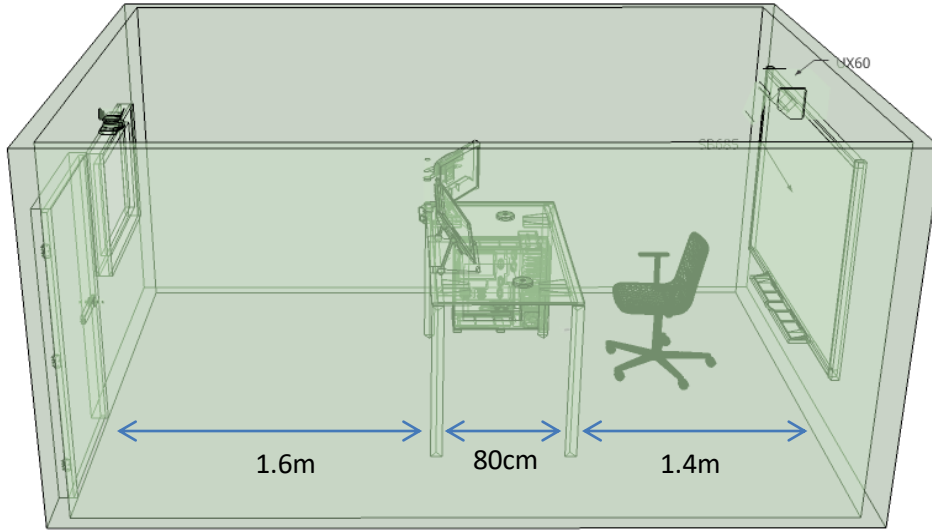
[13]. Video kalitesi seçeneğine bağlı olarak senkron eğitim platformunun web-cam için kullandığı bant genişlikleri 200-600 kbps arasında değişmektedir.

Tablo 1. Web-Cam video kalitesi seçenekleri (Adobe Connect Pro)

Web-Cam Video	Kare Hızı	Çözünürlük (Standart 4:3)	Çözünürlük (Geniş Ekran 16:9)	Kalite	Bant Genişliği (kbps)
Düşük	4	160×120	214×120	70	200
Orta	4	320×240	427×240	70	300
Standart	8	320×240	427×240	70	300
Yüksek	20	640×480	854×480	90	600

A. 3. Veri Seti

e-stüdyo ortamında online ders esnasında aydınlatma şiddeti veri seti elde edilirken dikkat edilmesi gereken parametreler, kamera için gerekli olan ışık şiddeti, öğretim elemanı çalışma alanındaki ışık şiddeti ve interaktif tahta üzerindeki ışık şiddeti olarak tanımlanmıştır[14-17].Şekil 3’de e-stüdyo aydınlatma alanları gösterilmiştir. e-stüdyo ortamında online ders esnasında aydınlatma şiddeti verilerinin belirlenmesi için kamera alanı, öğretim elemanı çalışma alanı ve interaktif tahta alanı mesafeleri deneme yanılma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir ve bu noktadaki aydınlatma şiddeti değerleri Tablo2’de gösterilmiştir.



Şekil 3. E-stüdyo aydınlatma alanları

Tablo 2. e-Stüdyo aydınlatma alanları ve aydınlatma düzeyleri

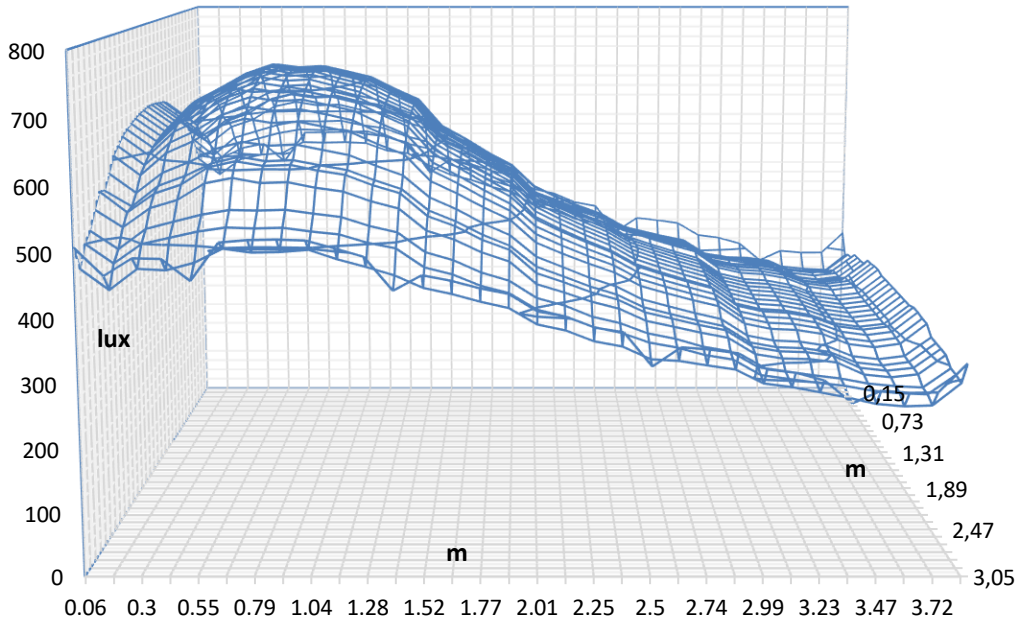
Aydınlatma alanı	Mesafe (cm)	Referans Değer (lux)
Kamera için gerekli olan ışık	160	600lux
Öğretim elemanı masasının yeterli aydınlatılması	80	460lux
E-tahta üzerindeki projeksiyon ışığının kesilmemesi	140	320lux

Önerilen e-stüdyo aydınlatma modeli ile öğretim elemanının görüntüsünün daha kaliteli olarak öğrencilerimize gönderilmesi ve öğretim elemanı için de gerekli aydınlık düzeyi sağlanmıştır. Bu aydınlatma seviyeleri belirlenirken de e-stüdyoda online olarak yapılan derslerden elde edilen veriler, deneysel ve simülasyon verileri kullanılmıştır. Simülasyon verilerini elde etmek için Dialux programı

kullanılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçların modellenmesi içinde MATLAB programı kullanılmıştır. e-stüdyo modeli aydınlatma alanı için DiaLux programında Tablo3'deki parametreler kullanılarak etkin aydınlatma alanı veri seti elde edilmiştir. e-stüdyo h=85cm için (x,y) koordinatlarındaki aydınlatma seviyesi verileri(lux) kullanılarak elde edilen veri seti Şekil4'de grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 3. e-Stüdyo aydınlatma alanı DiaLux parametreleri

Oda geometrisi	Uzunluk	390cm
	Genişlik	310cm
	Yükseklik	250cm
Yansım Derecesi	Tavan	%88
	Duvarlar	%78
	Zemin	%64
Işık Akısı	670lm	
Bakım katsayısı	0.80	
Ölçüm Düzlemi Yüksekliği	85cm	



Şekil 4. e-Stüdyo h=85cm için (x,y) koordinatlarındaki aydınlatma seviyesi verileri(lux)

B. METOT

B. 1. Matematiksel Model

Günlük hayatta birçok sistemin matematiksel modeli birden çok bağımsız değişken içerir. Örneğin bir otomobilin yakıt tüketimi motor hacmi, ortam sıcaklığı, motor sıcaklığı, taşınan yük miktarı, oluşan sürtünme miktarı gibi değişkenlere bağlıdır. Sonuç olarak bağımlı değişken, bağımsız değişkenlerin lineer birleşimi olarak ifade edilebilir ve katsayıları da regresyon analizi ile belirlenebilir. Burada verilerin bir bütün olarak değil parçalara ayrılarak regresyon işlemine tabi tutulacaktır. Bu sayede doğruluk oranının daha yüksek olması hedeflenmektedir. Bu tip lineer denklem sistem çözümleri için farklı yöntemler bulunmaktadır. Regresyon fonksiyonunu oluşturmak için Denklem 1'de verilen form kullanılmıştır. Bu form iki değişkenli polinomların en genel ve geniş formudur.

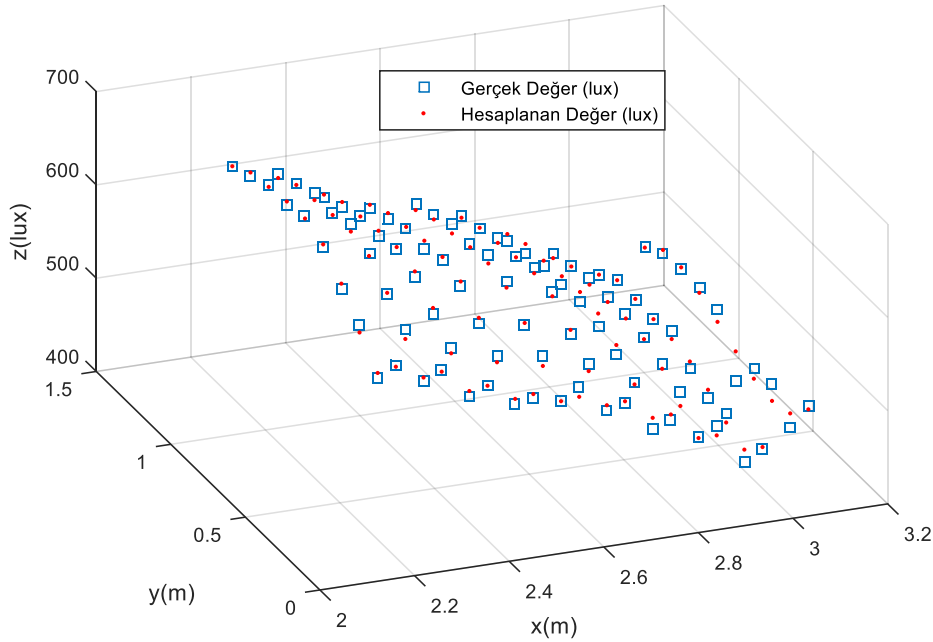
$$f(x,y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij} x^i y^j \quad (1)$$

İstenen x ve y kuvvetleri için, Denklem 1’de verilen f(x,y) polinom fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu polinom fonksiyonunda, x ve y değişkenleri e-stüdyoda oda geometrisindeki (x,y) koordinatlarını, n ve m değerleri sırasıyla x’in ve y’nin alabileceği maksimum kuvvetleri, a_{ij} değeri terimlerin katsayılarını ifade etmektedir.

Bu fonksiyonda Dialux uygulamasında elde edilen x,y ve z değerleri bu fonksiyonda yerine konular ve lineer denklem sistemi elde edilir. Bu denklem sistemi çözülerek polinom fonksiyonunun katsayıları elde edilmiş olur. Böylece yaklaşım modeli yani polinom fonksiyonu elde edilmiş olur. Denklem 2’de n=5 ve m=5 değerleri için elde edilen f(x,y) fonksiyonu verilmiştir.

$$\begin{aligned} f(x,y) = & 51603x^5y^5 - 175824x^5y^4 + 215596x^5y^3 - 108097x^5y^2 + 15940x^5y \\ & + 7417x^5 - 624874x^4y^5 + 2144123x^4y^4 - 2651107x^4y^3 \\ & + 1340499x^4y^2 - 198019x^4y - 95254x^4 + 3008818x^3y^5 \\ & - 10407953x^3y^4 + 12989526x^3y^3 - 6628939x^3y^2 \\ & + 981190x^3y + 487610x^3 - 7200883x^2y^5 + 25139986x^2y^4 \\ & - 31702833x^2y^3 + 16341969x^2y^2 - 2424318x^2y - 1243672x^2 \\ & + 8566376xy^5 - 30222192xy^4 + 38551202xy^3 - 20088342xy^2 \\ & + 2987594xy + 1580329x - 4055047y^5 + 14476324y^4 \\ & - 18700149y^3 + 9858553y^2 - 1470657y - 799601 \end{aligned} \quad (2)$$

Grafikte x ve y eksenleri e-stüdyo ortamını geometrik olarak ifade etmektedir. Ayrıca başlangıçta verilen aydınlatma değerleri ve regresyon fonksiyonundan elde edilen aydınlatma değerleri e-stüdyo ortamında yaklaşık 85cm yükseklik seviyesindeki aydınlatma değerleridir. Denklem 2’de verilen modele göre n=5 ve m=5 değerleri için, x=[2.18,3.05] aralığı ve y=[0.06,1.16] aralığı için üretilen polinom fonksiyonuna ait çizimler yapılmıştır. Verilen aralık için hesaplan değerler ve gerçek değerlerin karşılaştırma grafiği Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. e-stüdyo h=85cm için (x,y) koordinatlarındaki gerçek değer ve hesaplanan değerler için aydınlatma seviyesi verileri(lux)

III. ARASTIRMA BULGULARI

MATLAB ortamında yaptığımız hesaplamalarda Denklem2’de verilen polinom fonksiyonunda x’in ve y’nin farklı kuvvetleri için yapılan hesaplamalarda regresyon fonksiyonu hata ve yaklaşım değerleri[18] Tablo 4’de verilmiştir.

Geliştirilen model üzerinde yapılan hesaplamalarda en yaklaşık sonucun x’ in 20. kuvveti ve y’nin 20. kuvveti için üretilen polinom fonksiyonunda elde edilmiştir. Yapılan hata hesaplamalarında gerçek değer ile üretilen polinom fonksiyonunda elde edilen değerler arasındaki farkın maksimumu alındığında 5.25lux olarak bulunmuştur. Bu noktada verilen gerçek değer 559.5573lux iken regresyon fonksiyonundan elde edilen değer ise 564.8053lux olarak hesaplanmıştır. Hata payı 5.25lux olarak bulunmuştur. MAE(Mean Absolute Error) ortalama mutlak hata değeri 0.7674 olarak bulunmuştur. RMSE(Root Mean Square Error) değeri 1.1394 olarak bulunmuştur. R² değeri de 0.9996 olarak bulunmuştur, bu değer modelin verilere uygunluğunu göstermektedir. Çünkü R² değeri 0 ile 1 arasında değer alır sonuç 1’e ne kadar yakınsa modelin verilere o kadar uyduğunu gösterir. Ayrıca Tablo4’de R² , MAE, MAPE, RMSE değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 4’de verilen değerler incelendiğinde matematik modelde yer alan bağımsız değişkenler x ve y nin kuvveti artırıldığında modelin verilere uygunluğu da (R²) artmaktadır fakat x ve y nin kuvveti belirli noktadan sonra modelin verilere uygunluğunu (R²) azaltmaktadır. Tablo 4’de x ve y nin 30. kuvvetleri alındığında R² değeri 0.9259 noktasına gerilemiştir. Geliştirilen modelde x’in ve y’nin 5. kuvveti alınarak polinom fonksiyonu üretildiğinde terim sayısı 36 olmaktadır. Modelde x’in ve y’nin 20. kuvveti alınarak polinom fonksiyonu üretildiğinde terim sayısı 441 olmaktadır.

Tablo 4.Regresyon fonksiyonu hata ve yaklaşım değerleri

İnterpolasyon Fonksiyonu	x kuvveti (n)	y kuvveti (m)	R²	MAE	MAPE	RMSE
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	2	2	0.9236	12.9911	2.4050	16.6378
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	3	3	0.9450	11.5593	2.1237	14.1224
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	4	4	0.9734	7.8913	1.4423	9.8225
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	5	5	0.9850	5.7165	1.0579	7.3673
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	6	6	0.9887	4.9548	0.9263	6.3855
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	7	7	0.9939	3.7719	0.6822	4.6965
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	8	8	0.9980	1.2902	0.2445	2.6958

Tablo 4 (devam). Regresyon fonksiyonu hata ve yaklaşım değerleri

$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	9	9	0.9979	1.0825	0.1992	2.7792
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	20	20	0.9996	0.7674	0.1337	1.1394
$f(x,y)=\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m a_{ij}x^i y^j$	30	30	0.9259	12.7077	2.1512	16.3845

IV. SONUÇ

Önerdiğimiz e-stüdyo modeli için aydınlatma alanı analizi ile hem öğrenciler hem de öğretim elemanları için bilişim ergonomisine uygun eğitim ortamları oluşturulmuştur. e-stüdyo içerisinde yaptığımız bu iyileştirmeler görüntü kalitesinin en uygun aralıkta olmasını sağlamıştır. Aydınlatma seviyesinin uygun aralıklara getirilmesi ile ortamda çalışan donanımların da performansının artması sağlanmıştır. Kameranın renk derinliğinin artması yani görüntüdeki renklerin gerçeğe yaklaşması, interaktif tahta üzerindeki projeksiyon ışığının ortam aydınlatma seviyesi ile azaltılmaması sonucunda interaktif tahta üzerindeki renk kontrastının korunması, ortamda yansıma, parlama, titreşim seviyeleri kontrol edilerek öğretim elemanının göz sağlığının korunması, konsantrasyon ve verimliliğin artırılması sağlanmıştır. Bununla da yaptığımız online derslerin yada oluşturduğumuz arşiv kayıtlarının kalitesinin artırılması sağlanmıştır. Aydınlatma şiddetinin(lux)değişimi senkron eğitim platformlarında web-cam video yayını için kullanılan internet bant genişliklerinde (kbps) anlık olarak değişime neden olsa da, kısa sürede ortalama referans değerlere döndüğü gözlemlenmiştir. Böylece öğretim elemanlarının ders için e-stüdyoları kullanması ders anında ve yayınında karşılaşılabilecekleri problemleri en aza indirgemiş aynı zamanda yayının kalitesini de artırmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] E. Chen, Y. Shi, G. Xu, W. Xie, Z. Shen, Y. Che and Y. Mao, "The challenges and solutions in turning HCI from desktop to smart spaces." *Proceedings of the APCHI*, 2002.
- [2] L. R. Winer and J. Cooperstock, "The 'Intelligent Classroom': Changing teaching and learning with an evolving technological environment," *Computers & Education*, vol. 38, no. 1-3, pp. 253-266, 2002.
- [3] Y. Shi, W. Xie and G. Xu, "Smart Remote Classroom: Creating a Revolutionary Real-Time Interactive Distance Learning System" in *Advances in Web-Based Learning. ICWL 2002. Lecture Notes in Computer Science*, J. Fong, C.T. Cheung, H.V. Leong, Q. Li Q, Eds. Berlin : Springer, 2002, pp. 130-141.
- [4] H. Ren and G. Xu, "Human action recognition in smart classroom," *Proceedings of Fifth IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition*, 2002, pp. 417-422.
- [5] Z. Wang, "Smart spaces: creating new instructional space with smart classroom technology," *New Library World*, vol. 109, no. 3/4, pp. 150-165, 2008.



- [6] B. Carter and T. Linder, "Collaborative Learning Environments: Developing SMART Classrooms in Theory and in Practice," *Advances in Educational Administration*, vol. 8, pp. 201-211, 2006.
- [7] T. Tibúrcio and E. Finch, "The impact of an intelligent classroom on pupils' interactive behaviour," *Facilities*, vol. 23, no. 5/6, pp. 262-278, 2005.
- [8] S. Y. Stephen, S. K. S. F Karim, S. I. Ahmed, Y. Wang and B. Wang, "Smart classroom: Enhancing collaborative learning using pervasive computing technology", In ASEE Annual Conference Proceedings, 2003, pp. 13633-13642
- [9] G. Bautista and F. Borges, "Smart Classrooms: Innovation in formal learning spaces to transform learning experiences," *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*, vol. 15, no. 3, pp. 18-21, 2013.
- [10] H. Ren and G. Xu, "Human action recognition in smart classroom," Proceedings of Fifth IEEE International Conference on Automatic Face Gesture Recognition, 2002, pp. 399 – 404.
- [11] P. Yıldız, "Televizyon stüdyolarında aydınlatma," *Engineering Sciences*, c. 2, s. 2, ss.112-126, 2007.
- [12] M. Şahin, F. Büyüktümtürk ve Y. Oğuz, "Karma ve yarı endirekt aydınlatma türlerinin teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması," *Bahkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.16, s. 2, ss. 26-38, 2014.
- [13] F. DeRienzo. (2021, April 07). *Estimating bandwidth consumption in connect meetings* [Online]. Available: <https://blogs.connectusers.com/connectsupport/estimating-bandwidth-consumption/>
- [14] İ. S. Üncü, "Aydınlatma eğitiminde ışık şiddet eğrilerini üç boyutlu hacimler haline getirmenin önemi," *VII. International Educational Technology Conference*, Lefkoşe, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, 2007, ss. 352-356.
- [15] İ. S. Üncü, "Mühendislik ve mimarlıkta aydınlatma uygulamaları," *Süleyman Demirel Üniversitesi, 15. Yıl Mühendislik Mimarlık Sempozyumu*, Isparta, Türkiye, 2007, ss. 106-113.
- [16] İ. S. Üncü ve C. Yılmaz, "Aydınlatma eğitiminde armatürleri matematiksel modellemenin önemi," 6. Ulusal Aydınlatma Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ss. 77-83, 2006.
- [17] İ.S. Üncü, A. Arisoy ve B. Büyükarikan, "Stable light level detection in the light pools using neural network algorithms," *Acta Physica Polonica A*, vol. 128, no. 2B, pp. 471-473, 2015.
- [18] MathWorks Inc. (2021, April 10). *Evaluating goodness of fit*. [Online]. Available: https://www.mathworks.com/help/curvefit/evaluating-goodness-of-fit.html#bq_5kwr-3



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Skolyoz İçin Kapsül Ağları Tabanlı Otomatik Ölçüm Sistemi

 Sena GORAL ^a,  Utku KÖSE ^{b,*}

^a *Bilgisayar Teknolojisi ve Programlama Bölümü, Ağlasun Meslek Yüksekokulu, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, TÜRKİYE*

^b *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: utkukose@sdu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.919890

ÖZ

Skolyoz, omurganın eğrilmesi ile birlikte omurga genel yapısını deforme eden bir hastalıktır. Skolyoz tanı ve tedavi aşamasında çeşitli yöntemler olmakla birlikte, temel amaç Cobb açısı adı verilen eğrilik açısını azaltarak Skolyoz seviyesini düşürme çerçevesinde şekillenmektedir. Cobb açısı ölçümü esasında uzman tarafından, omurga röntgen filmleri üzerinde manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak bu sürecin derin öğrenme gibi bir Yapay Zeka yaklaşımıyla otomatikleştirilmesi hem hasta hem de uzman açısından büyük kolaylık ve kesinlik sağlayacaktır. Açıklamalardan hareketle bu çalışmada, öncelikli olarak Skolyoz ve derin öğrenme odaklı çalışmalar açısından literatürün güncel durumu ele alınmış, ardından Kapsül Ağları (CapsNet) tabanlı bir çözüm ile Cobb açısı ölçümlerinin otomatik bir hale getirilmesi sağlanmıştır. CapsNet çözümünün, ConvNet, BoostNet, RFR ve ResNet-50 modelleri ile karşılaştırılması neticesinde en iyi bulguları CapsNet modelinin verdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Skolyoz, Omurga eğriliği, Cobb açısı, Kapsül ağları, CapsNet, Derin öğrenme

Capsule Networks Based Automatic Measurement System for Scoliosis

ABSTRACT

Scoliosis is a disease that deforms the general spine structure as a result of curvature of the spine. Although there are various methods in the diagnosis and treatment of the Scoliosis, the main purpose is to reduce the curvature angle, which is called as Cobb angle, within the framework of reducing the level of Scoliosis. Cobb angle measurement is essentially performed manually on the spine x-rays by the expert. However, automating this process with an Artificial Intelligence approach such as deep learning will provide great convenience and precision for both patient and the expert. Based on the explanations, the current status of the literature in terms of Scoliosis and deep learning-focused studies was firstly discussed in this study, and then the Cobb angle measurements were automated with a Capsule Network (CapsNet)-based solution. As a result of the comparison of the CapsNet solution with the ConvNet, BoostNet, RFR and ResNet-50 models, it was determined that the CapsNet model gave the best findings.

Keywords: Scoliosis, Spinal curvature, Cobb angle, Capsule networks, CapsNet, Deep learning

*Bu çalışma 'Scroth Yöntemiyle Skolyoz Tedavisi İçin Derin Öğrenme Tabanlı Bir Sistem Geliştirilmesi' isimli doktora tezinden türetilmiştir.

I. GİRİŞ

Skolyoz hastalığı, günümüzde pek çok insanda görülmesine rağmen, hakkında yeterli düzeyde bilincin sağlanamadığı; omurgadaki 'S' ya da 'C' şeklinde eğrilmeler neticesinde omurga yapısının deforme olması olarak bilinmektedir [1-4]. Omurgada meydana gelen söz konusu eğrilikler birçok olumsuz sonucu beraberinde getirmektedir. Skolyoz tanısı alan kişilerde genellikle sırtta eğrilik, kamburluk, dik duruşta zorluk, omuz düşüklükleri gibi şikayetlerin söz konusu olması ve yine vücut görünüşünde asimetrik bozukluklar / deformasyon gibi görsel durumlar da yaygın durumdadır [5, 6]. Uzmanlar Skolyoz teşhisi aşamasında, hiçbir testi gerçekleştirmeden açık bir şekilde tanıyı koyabilmekte ya da manuel olarak değerlendirmeler neticesinde sırt bölgesindeki eğriliğin, öne ya da arkaya doğru yönelmesinden fark edebilmektedir. Ancak bazı bireylerde Skolyoz durumu bu denli açık bir şekilde görülememektedir. Bu bağlamda uzmanlar Skolyoz hastalığının olup olmadığını çeşitli kontroller ve röntgen filmlerinin incelenmesi sonucunda kesin olarak anlayabilmektedir. Ancak uzman odaklı teşhis aşamalarında da sonuçların uzmandan uzmana farklılıklar göstermesi yaygın bilinen bir dezavantajdır.

Skolyoz'un tedavisi hakkında yorum yapabilmek ve hastalığın seviyesini anlayabilmek için omurga eğriliğini belirleyen derecenin Cobb yöntemi ya da Ferguson yöntemi kullanılarak tespit edilmesi oldukça önemlidir [7]. Bu noktada, günümüzde genellikle Cobb açısı yönteminin kullanıldığını söylemek mümkündür. Skolyoz'un teşhis ve tedavi aşamasında farklı yöntemler olsa da öncelikli amaç bu açıya bağlı olarak gerekli cerrahi ya da cerrahi olmayan müdahaleyi yapabilmektir. Literatürde Skolyoz'un teşhis ve tedavi aşamalarında çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları Schroth, Dobomed, Lyonnaise, Side Shift gibi isimler almıştır [8]. Geliştirilen tekniklere bakıldığında birçoğu bu alanda özel eğitim ve sertifikasyonlara gerek duymaktadır. Skolyoz'un teşhisi aşamasında uzmanın manuel kontrolü, skolyometre ile derece ölçümleri üzerinden yapılmaktadır. Ancak kesin tanı röntgen görüntülerinden anlaşılmaktadır. Bu görüntülerden eğriliğin bölgesi ve derecesi değerlendirilmektedir. Dolayısıyla özellikle teşhis süreci genel olarak manuel müdahaleleri gerekli kılmaktadır. Ancak bütün bu teşhis süreçlerin bilgisayar destekli gerçekleştirilmesi, sayısal algoritmaların ve sağlık alanının uzun yıllardan söz konusu olan etkin birlikteliğinin bir gerekliliği olarak gün yüzüne çıkmaktadır. Hali hazırda Yapay Zeka ve görüntü işleme taraflı çözümlerin zaman ve kaynaktan sağladığı kazançlar, Skolyoz hastalığı için de teşhisin otomatikleştirilmesi yaklaşımını zamanında bir çözüm olarak desteklemektedir. Bu bağlamda, açı ölçümünün derin öğrenme gibi bir Yapay Zeka yaklaşımıyla otomatikleştirilmesi hem hasta hem de uzman açısından büyük kolaylık ve kesinlik sağlayacaktır. Yapay Zeka'nın tarihsel süreci incelendiğinde, özellikle 2000'li yıllarda etkinliği giderek artan derin öğrenme tekniklerinin en kritik sağlık teşhis uygulamalarında bile başarılı sonuçlar ortaya koyduğu görülebilmektedir [9-12]. Özellikle görüntü verilerinin hassas analizi noktasında geleneksel makine öğrenmesi çözümlerine göre daha başarılı bulgular ortaya koyan derin öğrenme tabanlı çözümler, tümör tespiti, beyin kanaması teşhisi, göz hastalıklarının erken tahmini ve daha birçok farklı sorunun otomatik bir biçimde ele alınması aşamalarında etkin yaklaşımlar tasarlanmasına olanak sağlamaktadır [13-18].

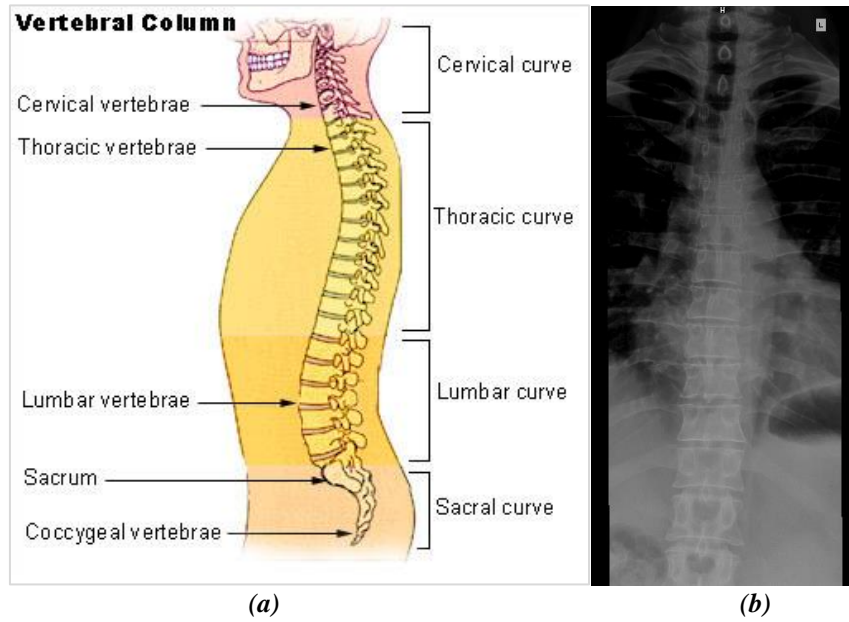
Açıklamalardan hareketle bu çalışmada öncelikli olarak Skolyoz ve derin öğrenme odaklı çalışmalar açısından literatürün güncel durumu ele alınmış, ardından Kapsül Ağları (CapsNet: Capsule Network) tabanlı bir çözüm ile Cobb açısı ölçümlerinin otomatik bir hale getirilmesi amaçlanmıştır. Yapay Zeka ve günümüzde etkinliği nedeniyle en çok tercih edilir makine öğrenmesi alt-alanı olan derin öğrenme, özellikle görüntü tabanlı sağlık verilerinde oldukça başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır [19-22]. Verileri entegre özellik çıkartım mekanizmalarıyla ve detaylı analiz süreçleriyle ele aldıkları için oldukça yaygınlaşmış durumdaki derin öğrenme teknikleri arasında özellikle görüntü tabanlı sınıflandırma, nesne tespiti ve segmentasyon (görüntü bölütleme) problemlerinde başarılı sonuçlarıyla tanınan Evrişimsel Sinir Ağları (CNN: Convolutional Neural Networks) modellerine alternatif olarak tanıtılan CapsNet, CNN modellerinde ortaklama (pooling) taraflı ortaya çıkan ve görüntüdeki yer değiştiren unsurlardan dolayı çıktılarda uzun vadede tanınma problemlerine yol açan sıkıntıları kapsül adı verilen yapılar üzerinden çözmesi nedeniyle CNN tekniğine göre daha etkin bir çözüm olarak kabul görmüştür [23, 24]. Bu durumdan hareketle CapsNet'in literatürde Skolyoz için henüz kullanılmamış olması nedeniyle omurga röntgen filmleri üzerinden otomatik Cobb açısı ölçümü için

etkin bir çözüm olacağı düşünülmüştür. Böylelikle etkili bir alternatif çözüm ile açı ölçüm çözümlerine yönelik güncel bir katkı sağlanması çalışma açısından önemli bir motivasyon kaynağı olmuştur.

II. SKOLYOZ (OMURGA EĞRİLİĞİ)

A. İNSANLARDA OMURGA YAPISI

İnsan vücudu bir sistem olarak çok çeşitli bileşenlerin birbiriyle eşgüdümlü çalışmasına ihtiyaç duymaktadır. Sistem içerisindeki farklı organlar hayati süreçlerin sürmesinden sorumlu iken, iskelet yapılanması da vücudun fiziksel eylemleri yerine getirmesini, iç organların korunmasını ve vücudun belli bir formda kalmasını sağlama konusunda görevlere odaklanmaktadır. Dolayısıyla iskelet sisteminin sağlıklı olması insan vücudu için hayati olmakla beraber, özellikle vücudun dik durmasını ve hassas eylemlerin yerine getirilmesini sağlayan omurga da iskelet yapılanması özelinde ayrı bir kritik öneme sahiptir. İnsan vücudu incelendiği zaman omur sayısının 33 adet olduğu görülmektedir. Bu omurlar insanın kafatasının altından başlayarak, kuyruk sokumuna kadar devam etmektedir. İnsanın dik bir gövdeye sahip olmasını sağlayan bu omurlar birbiriyle bağlantılı olarak devamlı ve bütün bir yapıyı da oluşturmaktadır.

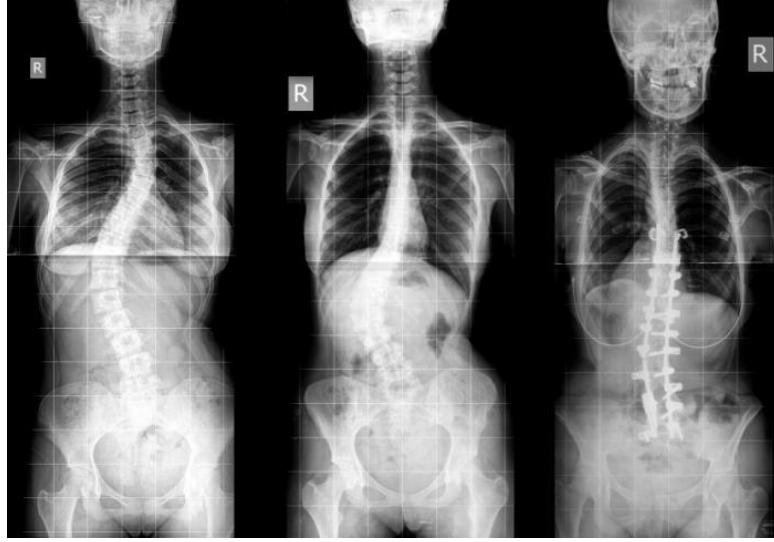


Şekil 1. İnsanda omurga yapısı: (a) genel anatomik görünüm [25] ve (b) 57 yaşında bir erkeğe ait omurga röntgeni [26].

Söz konusu omurga yapısı daha detaylı olarak incelendiğinde 7 adet boyun omurunun olduğu, 12 adet sırt omurunun olduğu ve 5 adette bel omurunun olduğu görülmektedir. Bel omurlarının devamında da yine omurlar birleşerek omurganın en alt kısımları olarak kabul edilen kuyruk sokumu ve büyük üçgen şekilli kemik olan sakrum kemiklerini oluşturmaktadır. Tüm bu birleşimler sonucunda omurga sağa ya da sola frontal ve sagittal düzlemde 'S' şekline gelmektedir. Normal koşullar altında omurganın ideal konumlanması söz konusu doğrultuda olması gerekirken, bu aşamada varsayılan eşikleri geçen çeşitli eğrilikler de görülebilmektedir. Omurgada aşırıya kaçan bu eğriliklerin oluşması halk arasında omurga eğriliği olarak da bilinen Skolyoz hastalığının göstergesi olmaktadır. Skolyoz omurga ve iskelet sisteminin sağlığını doğrudan tehdit eden bir hastalık olarak bilinmektedir. Kendi içerisinde çeşitli türlere ve dolayısıyla farklı teşhis ve tedavi süreçlerine tekabül eden Skolyoz hastalığının detaylıca irdelenmesi bu nedenle oldukça önemlidir.

B. SKOLYOZ HASTALIĞI

Günümüzde ciddi fiziksel rahatsızlıklardan biri olan Skolyoz, farklı nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte Skolyoz'a sahip bireylere bakıldığında yaklaşık yüzde sekseninin nedeni bulunamamakta ve bu durumdaki Skolyoz haline de İdiyopatik Skolyoz denilmektedir [5, 8, 27]. Geri kalan kısmında problem ise genel olarak duruş bozukluklar, nörolojik ve ortopedik problemlerden kaynaklı oluşmaktadır. Risk faktörleri de genetik yatkınlık, uzun süreli hareketsizlik ve tek taraflı aktiviteler sayılabilmektedir [5, 6, 28]. Skolyoz tanısı alan kişilerin doktora başvuru nedeni genelde sırtta eğrilik, dik durmakta zorlanma, kamburluk, kaburga kemiklerinin bir tarafta çıkıntılı olması, dik durulduğunda kolların gövdenin iki yanında eşit sarkmaması, bir omuzun düşük olması, bir taraf kürek kemiğinin çıkıntılı olması gibi dış görünüşteki asimetridir. İlk saptama için omuz ve pelvis eşitsizliği bir ölçüt olarak kabul edilir. Daha sonra test için kol eşitsizliğine bakılır, bununla birlikte scapulanın omurgaya olan uzaklığı ölçülmektedir[29]. Buradaki Skolyoz'un tespitinde yön gösterici olmaktadır. Buna Kipler Testi de denilmektedir. Ancak yapılan testler tam olarak kesin sonucu verememektedir. Kesin tanı ve omurga eğrilik açısı röntgen görüntülerinin detaylı incelenmesi sonucunda belirlenebilmektedir.



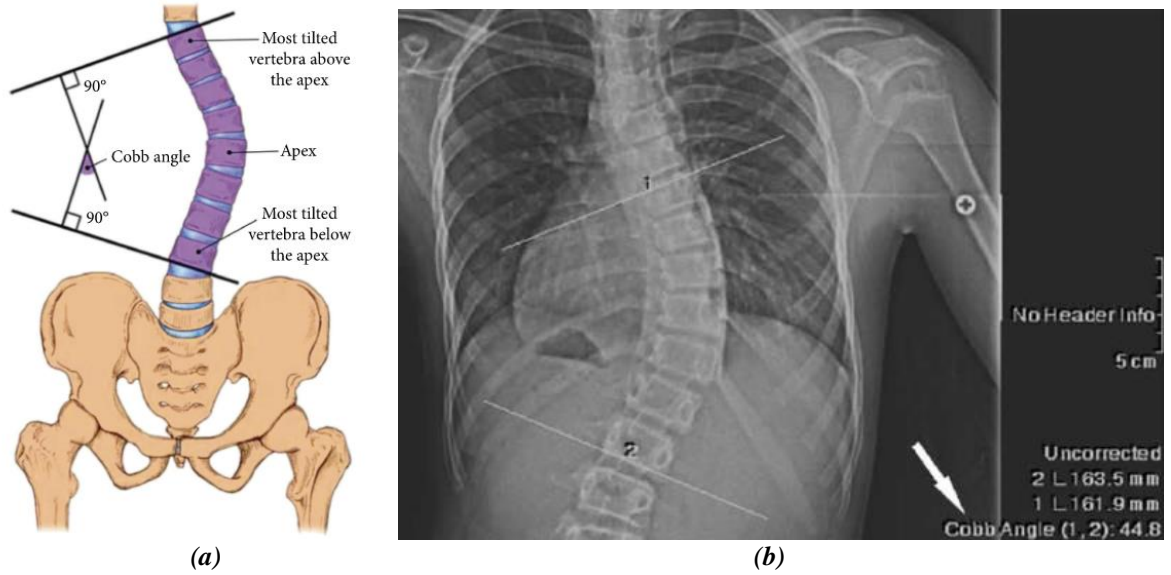
Şekil 2. Skolyoz hastalığı olan bir omurgaya dair röntgen görüntüleri [30].

Skolyoz tedavi aşamalarını bireyi belirli aralıklarla gözlemlemek, korse kullanımı, fizik tedavi ve rehabilitasyon uygulamaları ve ameliyat olarak gruplandırmak mümkündür. Skolyoz tedavisinde asıl amaç eğrilik ilerlemesini engellemektir. Erken dönemde korse kullanılması ya da fizik tedavi ve egzersiz yöntemleri uygulanabilmektedir. Skolyoz'u ilerleyen hastalarda, omurganın hareketiyle akciğer daralabilmekte ve nefes alımı zorlaşabilmektedir. Bu tür hastalarda ameliyat gerekmektedir [31,32]. Cerrahi müdahale haricinde uzman eşliğinde gerçekleştirilen çeşitli egzersizlerle Skolyoz'un ilerlemesi durdurulabilmekte ya da derecesi azaltılabilmektedir. Her birey için uygulanan egzersizler ayrı ve özel olması gerekmektedir. Bunun sebebi her bireydeki deformasyonun farklılık göstermesidir.

Skolyoz söz konusu olduğunda gerçekleşmesi gereken en önemli aksiyonlardan biri de eğriliğin tanımlanmasıdır. Bunun için açı ölçümü yapılmaktadır. Bu uygulama için de bazı bilgilerin tespiti gerekmektedir. Eğriliğin olduğu bölge, yönü, tek ya da çift olma durumu, tepe noktası, başlangıç ve bitiş seviyeleri belirtilmelidir. Bu kapsamda Skolyoz derecesini ölçmek için röntgen filmi en etkin bulgu aracı olarak bilinmektedir. Normal bir bireyde omurga, kuyruk kemiğinden kafatasına kadar düz bir hat izlemelidir. Düz bir çizgi şeklinde olması gereken omurga sağa ya da sola doğru bir yönelme gösteriyorsa bu anormal bir durumdur. Söz konusu omurganın röntgen filminde görülen en küçük bir eğrilik Skolyoz anlamına gelmemektedir. Bu nedenle teşhis süreci oldukça kritik bir aşama olarak bilinmektedir.

B. 1. Cobb Açısı Ölçümü

Skolyoz derecesi olarak ifade edilen terim genellikle Cobb açısı olarak adlandırılmıştır. Bu ölçüm yöntemi alternatif süreçlerle de desteklenmiş olsa da genel olarak şöyle açıklanabilmektedir [33-35]: Öncelikli olarak, omurgada eğriliğin üst ve alt ucunu oluşturan kemikler tespit edilmektedir. Bunlar yatay düzleme göre en fazla eğim yapmış kemiklerdir. Tespit sonrasında, üst uçtaki omurun üst kenarından ve alt uçtaki omurun alt kenarından bu kenarlara paralel çizgiler çizilmektedir. Daha sonra bu çizgilere dik açı yapan çizgiler çizilerek iki dik arasındaki açı ölçülmektedir. Cobb açısı denilen bu açı Skolyoz derecesini göstermektedir. Kişide birden fazla eğrilik varsa her eğrilik için ayrı ayrı Cobb açısı ölçülmesi gerekebilmektedir. Bu bağlamda, derecesi büyük olana major eğrilik, küçük olana ise minör eğrilik adı verilmektedir. Orta hattan en fazla uzaklaşmış omur kemiği apeks (tepe) olarak tanımlanmaktadır. Skolyoz eğriliği tanımlanırken net olmak için alt ve üst uç omurlar, tepe omur seviyesi, eğriliğin yönü ve derecesi belirtilmelidir. Cobb açısı ölçümü yaygın düzeyde uzmanların incelemeleri sonucu belirlendiği için ölçüm yapan uzmanlar arasında farklılıkların olması muhtemeldir. Bu nedenle uzman ölçümü mükemmel hassasiyete sahip bir yöntem değildir. Dolayısıyla ölçümün sayısal sistemler ve algoritmalarla desteklenmesi ideal bir alternatif olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 3. Skolyoz teşhisinde Cobb açısı ölçümü: (a) Genel ölçüm prensibi [36] ve (b) Röntgen üzerinde yapılmış bir ölçüm [37].

Anlaşılacağı üzere bilgisayar destekli ölçüm süreçleri birtakım özel yazılımlar ortamında yapılabilmektedir. Ancak bu tür yazılımlar yine uzman tarafından kullanılmakta ve hali hazırda görüntü işleme taraflı çözümlerle karşılaştırıldığında manuel müdahaleler gerektiren araçlar olarak kabul edilmektedir. Bu durum zamanın etkin kullanımı açısından düşünüldüğünde uzmanlar açısından dezavantaj oluşturabilmekte, yine hastalar açısından da hızlı ve objektif teşhise olan ihtiyaca tam anlamıyla cevap verememektedir. Bu sebeplerden ötürü literatürde çeşitli otomatik çözümler geliştirilmesi yönünde çalışmalar gerçekleştirilmiş ve görüntü işleme süreçlerinde etkin çözüm üreten derin öğrenme teknikleri, Yapay Zeka literatüründen gelen bir çözüm olarak yaygın kabul görmüştür.

III. SKOLYOZ HASTALIĞINA KARŞI DERİN ÖĞRENME

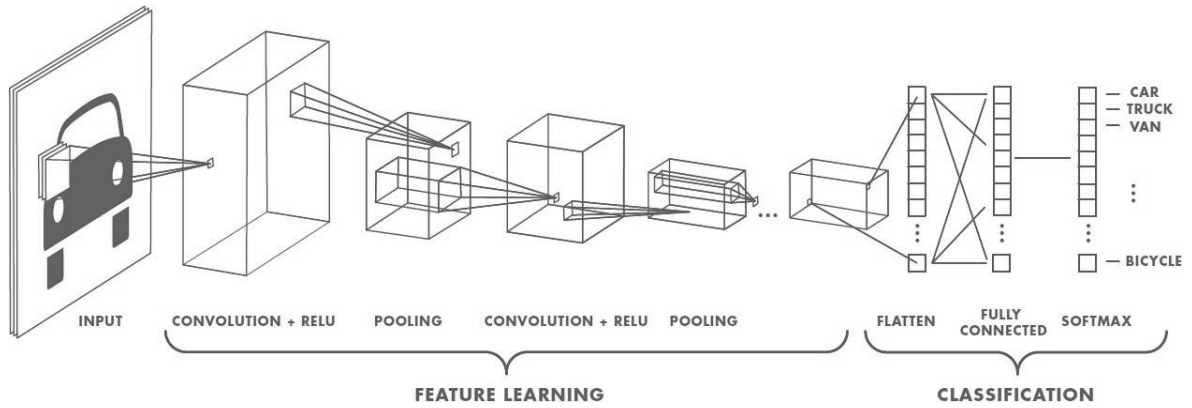
Literatür incelendiğinde Skolyoz üzerine derin öğrenme temelli farklı çalışmalarında yapıldığı görülmektedir. Horng vd. çalışmasında omurga röntgenlerini kullanarak omurga eğriliğini ölçmek için otomatik bir sistem gerçekleştirmişlerdir. Evrişimsel Sinir Ağları (CNN) tekniği kullanarak omurları bölümlere ayırmışlar ve Cobb açı kriterine göre omurga eğriliğini ölçmüşlerdir. Sonuçlar uzmanların ölçümleriyle karşılaştırılmış ve büyük farkların olmadığı görülmüştür. Sistem Skolyoz şiddetinin daha iyi anlaşılabilmesi ve klinik tedaviler için doktorlara yardımcı olmak için tanı aşamasında kullanılabilmesi için gerçekleştirilmiştir[36]. Söz konusu çalışma Skolyoz tespitinde CNN ve uzman karşılaştırılmasının gösterilmesi bakımından oldukça önemlidir. Diğer yandan, Pan vd. çalışmalarında röntgen görüntüleri üzerinde otomatik ölçüm yaklaşımı izleyen iki mask R-CNN modelinin yer aldığı bir çözüm önermişlerdir [38]. Çalışmalarını genel olarak 248 görüntü üzerine yoğunlaşan bir uygulama çerçevesinde gerçekleştirmişlerdir. Çalışma, R-CNN ile etkin otomatik ölçüm yaklaşımı sunmuştur. Zhang vd. çalışmasında Skolyoz'un değerlendirilmesi için Cobb açı ölçümünün değişkenliğini azaltabilmek adına bilgisayar destekli bir sistem geliştirmek için yöntem geliştirmişlerdir. Derin sinir ağını eğiterek açı hesabını gerçekleştirmişler; bu kapsamda 40 model radyografilerin incelenmesi sağlanmıştır. Derin sinir ağının eğitilmesi sonucunda görüntüler üzerindeki tespitler ve manuel ölçümler kontrol edilmiş ve aralarındaki farkın azaltılabileceği belirtilmiştir [39]. Choi vd. ise ergen İdiyopatik Skolyoz üzerine görüntülerin hareliliği durumu Evrişimsel Sinir Ağı modeli (CNN) kullanarak omurga konumlarını tahmin edebilen ve daha sonra tahmini omurga deformasyonunu otomatik olarak tarayabilen bir sistem geliştirmek için çalışmışlardır. Söz konusu çalışma alternatif veri yapıları üzerine olması bakımından kritiktir. Çalışmada Skolyoz tanısı için Cobb açısı hesaplanmış ve sonuçlar daha önce yapılmış çalışmalarla ve manuel sonuçlarla karşılaştırılmış ve düşük hata oranının olduğu görülmüştür. Oluşturulan sistem sadece tarama yapmakla kalmamış, aynı zamanda tedavi için ayrıntılı bilgileri de sunmuştur[40]. Zhang vd. İdiyopatik Skolyoz için Cobb açı ölçümünün cerrahi planlama ve tıbbi tedavi için oldukça önemli olduğunu belirtmişlerdir. Şu an doktorlar tarafından ölçülen bu açıyı Evrişimsel Sinir Ağı modeli (CNN) kullanarak alan sınırlamasıyla ölçümünü yapmışlardır[41]. Thong vd. ergen İdiyopatik Skolyoz için mevcut sınıflandırma sistemlerinin omurganın üç boyutlu deformasyonu hakkında detaylı bilgilendirme sunmadığını ve bu durum ilerleyen tedavi sürecinde yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Bu sorunun çözümü için üç boyutlu (3D) omurga rekonstrüksiyonlarının sınıflandırılması için derin öğrenme yöntemleriyle bir sistem gerçekleştirmişlerdir. Bu sistemi Skolyoz yöntemlerinden Lenke yönteminde Tip-1 Torasik Spinal deformasyona sahip 155 hasta üzerinde analiz etmişlerdir. Kümeleme algoritmaları ile alt gruplar oluşturulmuştur. Sonuçların sistem öncesi hesaplamalarla farklılık gösterdiği belirtilmiştir [42]. Tan vd. derin öğrenmeye dayalı otomatik Skolyoz tanı ve ölçüm sistemi geliştirmişlerdir. Ergen İdiyopatik Skolyoz tanısı doktorlar tarafından manuel olarak yapılan omurga radyografilerinde Cobb açısının ölçülmesine bağlı olması sebebiyle gözlemci içi ve gözlemciler arası varyasyonlar tanıda hatalara sebep olmaktadır. Çalışmanın amacı da ölçüm doğruluğunu artırmak ve doktorların tanı aşamasında yardımcı olmak için derin öğrenmeye dayalı otomatik bir Skolyoz tanı ve ölçüm sistemi tasarlamaktır. Omurga radyografilerini segmentlere ayırmak için U-net segmentasyon ağı kullanılmıştır. Daha sonra, Cobb açıları olan üst omurların uç plakaları ile alt omurların uç plakaları arasındaki açılar ölçülmüştür. Sonuç olarak çalışma Cobb açısının otomatik ölçümü için tasarlanan sistemin doktorlara tanıda yardımcı olması planlanmıştır. Bu çalışmada sadece Cobb açı tespiti ile Skolyoz hastalığının olup olmadığını üzerine çalışılmıştır. Herhangi bir tespitte bulunulmamıştır. Otomatik Cobb açı ölçümlerinin uzmanlara yardımcı olması amacıyla yapılan bir çalışmadır[43]. Sabri vd. derin öğrenme ile Skolyoz Lenke sınıflandırmasının görüntüsü üzerinde çalışmışlardır. Buna göre, bir Evrişimsel Sinir Ağı (CNN) modeli, Lenke Tip 1 veya diğer Lenke tiplerini sınıflandırmak için incelenmiştir. Görüntünün farklı boyutları ile Lenke sınıflandırma doğruluğu ile en uygun katman sayısı arasındaki ilişkiyi belirlemek için deneyler yapılmıştır. Bu deneyler için kırk beş görüntü üzerinde yapılmıştır. Görüntü boyutlarının değişiminin doğruluk değerlerindeki etkisi üzerinde durulmuştur[44]. Anitha çalışmasında Lenke yöntemiyle sınıflandırma işlemi üzerine çalışmıştır. Cobb açısının ölçümüyle Lenke yöntemine göre eğri tipinin belirlenmiş ve böylece sınıflandırma sisteminin verimliliği artırılmıştır. Önerilen sistemde gözlemci hatalarının ortadan kaldırılması planlanmıştır[45]. Ramirez vd. insan omurgalarındaki İdiyopatik

Skolyoz'un şiddetini ölçen bir Destek Vektör Makineleri (SVM) sınıflandırıcısı üzerine çalışmışlardır. Yüzey topografisi ve klinik verilerin Destek Vektör Makineleri (SVM) kullanılarak birleştirilmesinin daha iyi değerlendirme sonuçları üreteceği düşünülerek, 111 İdiyopatik Skolyoz hastasının veri kümesini kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Veri kümesi üzerinde yapılan test sonucu, sistemin testte %69 ile %85 aralığında doğruluk elde edildiği görülmüştür[46]. Mezghani vd. bilgisayar destekli Lenke sınıflandırması üzerine çalışmışlardır. Cobb açısı ölçümleri kullanılarak Skolyoz görülen omurgalarda Lenke sınıflandırmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu doğrultuda, sınıflandırma sürecinde uzmanlara yardımcı olmak için kural tabanlı bir diyagram tasarlamak ve sınıflandırma süresini ve doğruluğunu artıran bir çözüm geliştirilmesini amaçlamışlardır. Bilgisayar sınıflandırıcısı radyografik ölçümle 603 hastanın veri tabanında test edilmiş ve doğruluğu kural tabanlı diyagram üzerinde %93 ve bilgisayar sınıflandırıcısı için %99 olduğu görülmüştür. Söz konusu çalışma hem bilgisayar sınıflandırıcısı hem de kural tabanlı diyagram uzmanlara Skolyoz'un Lenke sınıflandırmasında etkili bir şekilde yardımcı olabileceğinin gösterilmesi bakımından dikkate değerdir [47]. Zhang vd. Hough dönüşümü tekniğine dayalı bilgisayarlı bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem, daha sonra Cobb açısını otomatik olarak hesaplamak için kullanılan vertebral uç plakaları tespit etmiştir. Çalışmaya göre, bir omur 45 dereceden fazla eğilirse yanlış algılama oluşabilmektedir [48]. Okashi vd. farelerin düşük kaliteli röntgen görüntülerinden omurga segmentasyonu ve eğrilik ölçümü için otomatik bir yöntem geliştirmişlerdir. Ayrıca yöntemlerinin bir insan omurgasının X ışını görüntüsüne uygulanabilirliğini araştırmışlar ve yöntemlerinin, düşük kaliteli insan röntgen görüntüleri için iyi bir çözüm olabileceğini düşünmüşlerdir. Omurga eğriliği ölçmek için 100 farklı görüntüde altı farklı ölçüm yapılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile en iyi manuel ölçümlerin birbirine çok yakın olduğu belirtilmiştir[49]. Samuvel vd. otomatik Cobb açısı ölçümü için maske tabanlı bir segmentasyon algoritması önermişlerdir. Belirtilen algoritma ve manuel yöntem altı vakada Cobb açısını ölçmek için kullanılmıştır. Söz konusu yöntemle elde edilen sonuçlar ile manuel yöntemle elde edilen sonuçlar arasında 4 derece fark tespit edilmiştir[50]. Kusuma vd. radyografilerin alt bölümlerinde şablon eşleştirme tekniğini uygulayarak vertebral konumlarını tahmin etmişlerdir. Teknik karelerin farklılıklarının toplamına dayanmaktadır. Polinom eğrisi ile omurga eğriliğini tahmin etmişlerdir. Yöntemlerinde son ölçüm polinom düzeninden ve alt bölümlerinin sayısından etkilenmiştir. Ortalama %86,01 doğruluk elde etmişlerdir[51]. Toan vd. Skolyoz'un radyografik değerlendirme aşamasındaki gözlemci değişkenliğini azaltmak amacıyla, sağlık hizmetleri ve bireyler tarafından kolaylıkla kullanılabilir ve geliştirilebilecek yarı otomatik bir yöntem geliştirmişlerdir. [52]. Giannoglu vd. Cobb açısı hesaplaması ve görüntü tabanlı modelleme teknikleri hakkında bir çalışma yapmışlardır. Omurganın üç boyutlu (3D) modellemesi için geliştirilen sistem, omurun köşe noktalarını tespit ederek omurga eğriliğini tahmin edilmesi amaçlanmıştır [53]. Yang vd. gerçekleştirdikleri çalışmada 3240 hastadan alınan görüntü üzerinde farklı derin öğrenme modellerini uygulamış ve elde ettikleri bulgular, ölçümlerin derin öğrenme modelleri tarafından uzmanlara göre daha etkin düzeyde yapıldığını göstermiştir [54]. Kim vd. tarafından gerçekleştirilen güncel bir çalışmada ölçüm alanlarının tespiti noktasında 'vertebral-tilt' olarak isimlendirilen bölge kullanılmış ve kullanılan derin öğrenme çözümleri ile ortalama 3,51'lik bir açı hatası ve %7,84'lük bir yüzde hatası ile etkin olduğu düşünülen bir yaklaşım elde edilmiştir [55]. Diskriminant Analizi ile birleştirilen bir CNN modelinin Skolyoz teşhisi noktasında kullanıldığı bir başka çalışmada, geniş veri tabanlarının teşhis noktasında otomatik işaretlenebileceği düşünülen bir yaklaşım ortaya konulmuştur [56]. He vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Bilateral CNN modeli kullanılarak %87,92 doğrulukla Skolyoz teşhisi gerçekleştiren bir çözüm elde edilmiştir [57]. Röntgen görüntülerine alternatif olması bakımından ultrason tabanlı Skolyoz teşhisine odaklanan dikkate değer bir başka çalışma ise üç boyutlu (3D) omurga görüntüleme ve CNN tabanlı bir çözüm ile otomatik teşhis çözümü elde edilmesi bakımından benzeri çalışmalara göre oldukça yenilikçi bir yaklaşım ortaya koymuştur [58].

IV. CAPSNET İLE OTOMATİK COBB AÇISI ÖLÇÜMÜ

Literatürde gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde genellikle Evrişimsel Sinir Ağları (CNN: Convolutional Neural Networks) ve benzeri görüntü işleme odaklı derin öğrenme çözümlerinin

yaygınlığı dikkat çekmektedir. Bununla birlikte bir alternatif olarak Kapsül Ağları (CapsNet: Capsule Networks) taraflı bir çözüm göze çarpmamış olmakla birlikte CapsNet modellerinin kapsül adı verilen yapılar sayesinde sağladığı daha başarılı sonuçlar, ilgili tekniğin bu çalışmadaki Cobb açısı ölçüm probleminde uygulanmasını da cazip hale getirmiştir. CapsNet modelleri, görüntü üzerinde yer alan önemli bileşenlerin yer değiştirmesi durumunda bocalayan CNN modellerindeki söz konusu sorunu kapsül adı verilen alternatif yapılar sayesinde; girdi görüntüsündeki unsurlarla alakalı konum, ölçek gibi durumları ‘routing-by-agreement’ (anlaşmayla yönlendirme) ile öğrenerek çözmeyi başarmaktadır [59]. Her ne kadar CNN modelleri ortaklama (pooling) katmanları ile görüntü üzerinde analiz süreçlerinde önemli bir boyut azaltma süreci işletiyor olsa da, bu durum bazı problemlerde görüntüdeki unsurlara dair bilinmesi gereken bazı detayların da süreçte kaybolmasına yol açmaktadır [59, 60]. Söz konusu sorun, CapsNet ile başarılı bir şekilde çözülebildiği ve bu çalışmadaki Skolyoz Cobb açısı ölçüm süreci de omurga yapılarındaki konum, ölçek özelliklerine karşı hassas bir noktada yer aldığı için alternatif bir CapsNet modeliyle otomatik ölçüm sistemi geliştirilmesi yoluna gidilmiştir.



Şekil 4. Tipik bir CapsNet model mimarisi [61].

A. GELİŞTİRİLEN CAPSNET MODEL YAPISI

Çalışma kapsamında geliştirilen CapsNet model yapısı, önceki bölümlerde bahsedilen çalışmalardan elde edilen bilgi ve beceriler (tecrübeler) bağlamında tasarlanmıştır. Ayrıca, CapsNet konusunda farklı problemler için geliştirilen modellerde elde edilen bulgular da bu çalışmadaki modelin şekillenmesinde önemli roller üstlenmiştir. Tasarlanan CapsNet modelindeki katman yapıları genel hatlarıyla şu şekildedir:

- Cobb açısının otomatik ölçümü için omur sınırlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için CapsNet modelinde giriş verisi omurga röntgen görüntüleri, çıkış verisi ise omurları temsil eden nokta tespitleri olarak belirlenmiştir.
- Ağ yapısı toplamda 4evrişimsel (convolutional) katman ve 3 kapsül (capsule) katmanından oluşmuştur.
- Birinci evrişimsel katmanından sonra, söz konusu katmanı takip eden bir batch-normalization katmanı konumlandırılmıştır.
- İkinci katman olan diğer evrişimsel katman ardına averagepooling katmanı konumlandırılmıştır.
- Üçüncü evrişimsel katmanı takip eden dördüncü evrişimsel katman birinci kapsül katmanını oluşturacak şekilde revize edilmiştir.
- Geriye kalan kapsül katmanları routing-by-agreement sürecini destekleyecek şekilde modele entegre edilmiştir.

Geliştirilen modelin Cobb açısı ölçüm sürecine geçmeden önce açılı ölçümüne temel teşkil edecek omurları tespit etmesi amaçlanmıştır. Bu noktada, Wu vd. tarafından ortaya konulan ve bu çalışmaya konu olan veri seti için de uygulanan ‘torasik ve lomber omurgaları kapsayan 17 omur köşelerinin 4’er

noktayla temsil edildiği' dolayısıyla ağ yapısının '68 noktalı omur tespit çıktısı ürettiği' [62] çözüm yolu izlenmiştir. Böylelikle görüntü giriş verisine karşılık, omurları temsil eden noktalar bağlamında çıkış verilerinin elde edilmesi yaklaşımları sağlanmıştır. CapsNet çıkışında elde edilen omur temsilleri, yine Alharbi vd. tarafından ifade edilen ölçüm algoritmaları [63] kullanılmak suretiyle Cobb açısı ölçümünün otomatik bir biçimde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

B. VERİ SETİ VE UYGULAMA DÜZENİ

Skolyoz ve alternatif omurga taraflı problemlere yönelik araştırma çalışmaları dikkate alındığında, röntgen görüntülerinin temel girdi verileri olarak görülmektedir (En azından teşhis çalışmaları bunu gerekli kılmaktadır). Bu noktada, çalışmada geliştirilen CapsNet sisteminin değerlendirilmesi ve otomatik ölçüm süreçlerinin gerçekleştirilmesi için '2019 MICCAI Workshop on Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging' etkinliği kapsamına da konu olan 'dataset-16' başlıklı Skolyoz röntgen veri seti tercih edilmiştir. Söz konusu veri seti omurga araştırmalarına odaklanan Spine Web platformunda da erişilebilir durumda olan ve ilk olarak 2017 yılında Wu vd. tarafından literatüre kazandırılan [62]; 609 anterior-posterior omurga röntgen görüntüsünden meydana gelen bir araştırma verisi olarak bilinmektedir.

Çalışma için seçilen veri seti özellikle Cobb açısı ölçümleri için hazırlanmış durumdadır. Böylelikle CapsNet uygulaması sonrası ölçümlerin tutarlılığı değerlendirmeye konu olabilmektedir. Uygulamanın genel değerlendirme sürecinin nispeten daha kısa zaman alması adına 609 görüntü verisinden 400 tanesi eğitim süreci için kullanılırken 100 tanesi de test süreci için seçilmiştir. Söz konusu görüntü veri setlerinin, modelin ayırt edebilirliğini kanıtlayacak ölçüde; uzman seçimi eşliğinde kolay-normal-zor düzeyde harmanlanmasına ve önceki alt-başlıkta ifade edilen, omurga nokta tespitine uyumlu bir biçimde ön-hazırlık sürecinden geçirilmesine özen gösterilmiştir. İlgili veri seti anonimleştirilmiş ancak farklı bireylerden alındığı pekala tahmin edilebilen farklı tanı düzeylerinde görüntüler içeriyor olsa da, cinsiyet ya da yaş gibi hastaya özgü farklılıkları dikkate alan ya da algılayan bir çözüm geliştirilmesi söz konusu olmamaktadır (Veri seti bu yönde düzenlemeler içermemektedir). Bu bağlamda CapsNet modelinin odak noktası sadece otomatik Cobb ölçümü sağlamaktır.

C. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Geliştirilen CapsNet modeli, aynı veri setinin kullanıldığı ve yine güncel bağlamda dikkat çeken farklı çalışmalarda toplamda dört farklı model: ConvNet [62], BoostNet [62], RFR [62] ve ResNet-50 [63] modelleri ile karşılaştırılmıştır (Modellerin ilgili çalışmalarda tasarımılarına sadık kalınmıştır). İlgili çalışmalarda Cobb ölçümü yapmayan modellere çalışmada kullanılan ölçüm algoritmaları entegre edilerek, sadece omurga tespitleri konularında değil, aynı zamanda ölçüm doğruluklarına sağladıkları katkılar bakımından da karşılaştırmalar yapılmıştır.

Karşılaştırma süreçlerinin bilinen metriklerle karşılanması oldukça önemlidir. Bu nedenle omurgaların tespitini anlamlandırabilecek; Ortalama Kare Hatası (MSE: MeanSquareError) ve Pearson Korelasyon Katsayısı (ρ) kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasında ise dört farklı açı farklılıkları (sistemlerin ölçtüğü ile olması gereken değer arası farklar) dikkate alınmıştır. Açı farklılıklarının modellerin karşılaştırılmasına kolaylık sağlaması adına toplamda 100 puanın paylaştırıldığı bir ağırlıklı toplam ile Ölçüm Başarımları Puanı hesaplanması (Eş. 1) tercih edilmiştir (Her açı farklılığı birer harf ile temsil edilmektedir. Daha fazla açı farkı daha düşük ağırlıkla karşılanmıştır). Tablo 1 5-fold crossvalidation süreci ile birlikte eğitim ve test veri setlerine dair omurga tespit bulgularını, Tablo 2 ise test verileri kapsamındaki açı ölçüm farklılıklarına göre karşılaştırmayı göstermektedir (Tablolarda karşılaştırmalı bulgular arasında en iyi olanlar kalın-bold yazı stili ile belirtilmiştir).

$$\text{Ölçüm Başarımları Puanı} = (A * 0,60) + (B * 0,25) + (C * 0,10) + (D * 0,05) \quad (1)$$

Tablo 1. Omurga tespitinde eğitim ve test veri setlerine göre karşılaştırma bulguları.

Model	Eğitim Seti MSE	Eğitim Seti ρ	Test Seti MSE	Test Seti ρ
<i>CapsNet</i>	0.00053 \pm 0.0031	0.96 \pm 0.0071	0.0038	0,93
ConvNet	0.01411 \pm 0.0082	0.84 \pm 0.0209	0.0138	0.87
BoostNet	0.00076 \pm 0.0053	0.93 \pm 0.0053	0.0049	0.92
RFR	0.00259 \pm 0.0049	0.91 \pm 0.0057	0.0061	0.91
ResNet-50	0.00059 \pm 0.0041	0.95 \pm 0.0041	0.0043	0.93

Tablo 2. Cobb ölçüm bulgularında farklılıklara göre karşılaştırma.

Model	A: < 3°	B: < 5°	C: 5° - 10°	D: 10° - 15°	Ölçüm Başarım Puanı
<i>CapsNet</i>	3	59	21	17	19,50
ConvNet	0	23	40	37	11,60
BoostNet	1	46	28	25	16,15
RFR	0	39	34	27	14,50
ResNet-50	2	53	25	20	17,95

Elde edilen bulgular, geliştirilen CapsNet modelinin benzeri modellere göre daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermektedir. Genel başarımlarını dikkate alındığında CapsNet modelini ResNet-50 modelinin takip ettiği, ardından üçüncü sırada BoostNet modelinin yer aldığı görülmektedir. Söz konusu üç model, sırasıyla RFR ve ConvNet modellerine nispeten açık ara bulgularla üstünlük kurmuş durumdadır. Karşılaştırılan bütün modeller tekil ölçekte incelendiğinde, Skolyoz veri setine karşı derin öğrenmenin etkinliği de ayrıca dikkat çekmektedir. Bulgular CapsNet modelinin, sayıca daha çok katmanlı ya da ek çabalar gerektirebilen modellere göre daha tercih edilebilir olduğunu işaret etmektedir. Yine Cobb ölçümü algoritması sayesinde, görsel tespit sürecinin otomatik ölçüm yaklaşımıyla desteklenmesi sayesinde uzmanlar için verimli bir çözüm ortaya konulmuştur.

Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçlar literatürdeki mevcut yaklaşımlara yönelik önemli bir alternatif çözümü işaret etmektedir. Bununla birlikte çalışmada dikkate alınan veri setinin bir tür kısıt faktörü olduğu, aynı CapsNet modelinin yeni Skolyoz verileriyle test edilmesinin çözüme yönelik güven faktörünü de destekler nitelikte olacağı düşünülmektedir. Yine çalışmadaki CapsNet modeli sadece Cobb ölçüm sürecine tekabül etmekte, tedavi ekseninde herhangi bir fikir vermemektedir. Bu kısıta karşı hibrit bir sistem oluşturularak teşhis-tedavi tabanlı komple bir çözüm elde edilmesi mümkün olacaktır. Bu noktada modelin bir tür Nesnelere İnterneti (IoT) mimarisine dahil edilmesinin, E-Sağlık uygulamalarının ve cihazlar arası akıllı iletişim-çözüm süreçlerinin artan surette önem kazandığı günümüzde ideal bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda, mobil cihazlar ve hastane içi sistemlerin iletişim halinde olduğu bir IoT düzeneği verimli ve yenilikçi bir araç olacaktır. Diğer yandan hedef Skolyoz tanı ve ölçüm süreçleri literatürde yer alan birçok alternatif derin öğrenme teknikleriyle değerlendirilmek suretiyle, aynı veya benzer veri setleri üzerinden Skolyoz'un otomatik ölçümü bağlamında literatürü destekleyici çalışmalar ortaya konulabilecektir. Örneğin, Derin İnanç Ağları'nın (DBF: Deep Belief Networks) alternatif bir model olması bakımından değerlendirmeye değer bir teknik olarak dikkate alınabilecektir. Diğer yandan Otokodlayıcı Ağlar (AEN: Autoencoder Networks) Skolyoz görüntülerinin çeşitli ön-işlemlere tabi tutularak analizi kolay hale getirilmesi bakımından kullanılabilir. Doğrudan görüntü taraflı bir çözüm olmasa da, zaman içerisinde çok sayıda bireyden elde edilen ölçüm değerlerinden Skolyoz'un kitlesel durumunu tahmin edebilecek Uzun Kısa Vadeli Hafıza (LSTM: Long Short Term Memory) tekniği de alternatif bir bakış açısı sunabilecektir.

V. SONUÇ

Skolyoz hastalığı omurga sağlığı ile bağlantılı olduğu için insanlar açısından oldukça kritik ve farklı sağlık sorunlarını da tetikleyebilecek nitelikte bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Sağlık alanında bilgisayar desteğinin kullanımı görüntü verileri üzerinden bu tür hastalıkların tespit edilmesini kolaylaştırmış olsa da temel sorun her zaman için hız konusunda kısıtları olan insanın bir şekilde otomatik çözümlerle desteklenmesi haline gelmektedir. Benzer şekilde Skolyoz teşhisinde önemli bir yer tutan Cobb açısı ölçümü de bilgisayar ortamındaki özel yazılımlar üzerinde uzmanlar tarafından gerçekleştirildiği için gerek objektiflik gerekse zamanın verimli kullanılması açısından görüntü işleme yönelimli esnek çözümlere ihtiyacı beraberinde getirmiştir. Bu ihtiyaç, literatürde derin öğrenme yönelimli çözümlerle ölçümü otomatikleştiren alternatif çalışmalarla birlikte giderilmeye çalışılmaktadır. Benzer şekilde bu çalışmada literatürdeki mevcut duruma ilişkin genel bir analiz sunmuş, ardından Kapsül Ağları (CapsNet: Capsule Networks) tabanlı alternatif bir model önermiştir. Ortaya konulan CapsNet modeli, özellikle omurgadaki sıra dışı yer değişikliklerinin daha etkin değerlendirilmesi ve mümkün olduğunca objektif bir çözümün elde edilmesi noktasında, yaygın kullanılan Evrişimsel Sinir Ağları (CNN: Convolutional Neural Networks) modellerine göre tercih sebebi olmuştur. CapsNet odaklı bir çözümün literatürde ortaya henüz ortaya konulmamış olması, bu yönde alternatif bir çözümün tasarlanması açısından çalışmaya önemli bir özgünlük katmıştır. Çalışmada geliştirilen CapsNet modelinin değerlendirilmesi aşamasında ‘2019 MICCAI Workshop on Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging’ etkinliği kapsamında kullanılan ve ilk olarak 2017 yılında Wu vd. tarafından literatüre kazandırılan Skolyoz veri seti seçilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde modelin ConvNet, BoostNet, RFR ve ResNet-50 modellerine göre daha başarılı sonuçlar verdiği, yine açılı ölçümlerinde etkin düzeyde bulgular ortaya koyduğu görülmüştür.

Çalışmada elde edilen olumlu bulgular, çalışmaların yine alternatif çözümlerle devamında motivasyon oluşturmuştur. Buna göre halihazırda zaten doktora tez çalışması sürecinin bir parçası olan araştırmancının, Skolyoz teşhis-tedavi sürecinde Schroth yöntemiyle desteklenmesi ve hatta güvenli, sınırları anlaşılır, daha transparan bir derin öğrenme modelinin elde edilmesi için Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI) taraflı eklentilerin de modele eklenerek uygulanması yönünde ilerletilmesi söz konusu olacaktır. Böylelikle sonuçlarının güvenilirliği anlaşılan ve teşhisten tedaviye sürecin tümünü hedefleyen yenilikçi bir yaklaşımın elde edilmesi söz konusu olacaktır. Uzun vadede yine alternatif derin öğrenme modellerinin uygulanması da gelecek çalışmalar arasında yer alabilecektir. Son olarak, üretilen çözümün güvenilirliğinin desteklenmesi noktasında alternatif Skolyoz veri setleriyle ek çalışmaların tertiplenmesi, hatta uzman görüşlerinin irdelenmesine devam edilerek, Yapay Zeka ile doktorlar arası performans ve muhakeme süreçlerine yönelik bulguların elde edilmesi yönünde uygulamalar da planlanmaktadır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] J. Jin, “Screening for scoliosis in adolescents,” *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, vol. 319, no. 2, pp. 202–202, 2018.
- [2] D. Sevimli, M. Sanrı and M. Altuğ, “The effect of corrective exercises on the treatment of a scoliosis patient: A case report,” *International Congress on Education (ERPA-2016)*, 2016, pp. 40–42.
- [3] M. Aebi, “The adult scoliosis,” *European Spine Journal*, vol. 14, no. 10, pp. 925–948, 2005.
- [4] M. T. Hresko, “Idiopathic scoliosis in adolescents,” *New England Journal of Medicine*, vol. 368, no. 9, pp. 834–841, 2013.
- [5] Y. U. İbişoğlu ve F. A. Çalış, “İzmir ili Bornova ilçesi ilköğretim kurumlarında okuyan 12-14 yaş grubu çocuklarda skolyoz prevalansı,” *Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*, c. 58, s. 2, ss. 109–113, 2012.

- [6] C. Varol, "Skolyozlu olgularda egzersizin solunum fonksiyonlarına ve yaşam kalitesine etkisi," Yüksek lisans tezi, Kardiyopulmoner Fizyoterapi ve Rehabilitasyon, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [7] A. C. Kittleson and L. W. Lim, "Measurement of scoliosis," *American Journal of Roentgenology*, vol. 108, no. 4, pp. 775–777, 1970.
- [8] H. G. Yılmaz, "İdiyopatik skolyozda egzersiz reçeteleme," *Türkiye Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Dergisi*, c. 60, s. özel sayı 2, ss. S31–S35, 2014.
- [9] M. Bakator and D. Radosav, "Deep learning and medical diagnosis: A review of literature," *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 2, no. 3, pp. 47, 2018.
- [10] O. Deperlioglu, "Classification of segmented phonocardiograms by convolutional neural networks," *BRAIN: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, vol. 10, no. 2, pp. 5–13, 2019.
- [11] D. Ravi, C. Wong, F. Deligianni, M. Berthelot, J. Andreu-Perez, B. Lo and G. Z. Yang, "Deep learning for health informatics," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 21, no. 1, pp. 4–21, 2016.
- [12] G. E. Guraksin, S. Barin, E. Ozgul and F. Kaya, "COVID-19 diagnosis using deep learning," *Düzce University Journal of Science & Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 8–23, 2021.
- [13] J. Hemanth, U. Kose, O. Deperlioglu and V. H. C. de Albuquerque, "An augmented reality-supported mobile application for diagnosis of heart diseases," *The Journal of Supercomputing*, vol. 76, no. 2, pp. 1242–1267, 2020.
- [14] A. B. Levine, C. Schlosser, J. Grewal, R. Coope, S. J. Jones and S. Yip, "Rise of the machines: Advances in deep learning for cancer diagnosis," *Trends in Cancer*, vol. 5, no. 3, pp. 157–169, 2019.
- [15] A. Helwan, G. El-Fakhri, H. Sasani and D. Uzun Ozsahin, "Deep networks in identifying CT brain hemorrhage," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 35, no. 2, pp. 2215–2228, 2018.
- [16] J. Hemanth, O. Deperlioglu and U. Kose, "An enhanced diabetic retinopathy detection and classification approach using deep convolutional neural network," *Neural Computing and Applications*, vol. 32, no. 3, pp. 707–721, 2020.
- [17] U. M. Prakash, K. Kottursamy, K. Cengiz, U. Kose and B. T. Hung, "4x-Expert systems for early prediction of osteoporosis using multi-model algorithms," *Measurement*, vol. 180, no. 8, pp. 109543, 2021.
- [18] J. Alzubi, B. Bharathikannan, S. Tanwar, R. Manikandan, A. Khanna and C. Thaventhiran, "Boosted neural network ensemble classification for lung cancer disease diagnosis," *Applied Soft Computing*, vol. 80, no. 7, pp. 579–591, 2019.
- [19] M. I. Razzak, S. Naz and A. Zaib, "Deep learning form edical image processing: Overview, challenges and the future," in *Classification in BioApps*, 1st ed., vol. 26, Cham, Germany: Springer, 2018, pp. 323–350.
- [20] S. Zhou, H. G. Kevin and S. Dinggang, *Deep Learning for Medical Image Analysis*, 1st ed., vol. 81, London, UK: Elsevier Academic Press, 2017, pp. 11–24.

- [21] A. Esteva, K. Chou, S. Yeung, N. Naik, A. Madani, A. Mottaghi, Y. Liu, E. Topol, J. Dean and R. Socher, "Deep learning-enabled medical computer vision," *Digital Medicine*, vol. 4, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [22] I. Castiglioni, L. Rundo, M. Codari, G. DiLeo, C. Salvatore, M. Interlenghi, F. Gallivanone, A. Cozzi, N. C. D'amico and F. Sardanelli, "AI applications to medical images: From machine learning to deep learning," *Physica Medica*, vol. 83, no. 1, 9–24, 2021.
- [23] E. Xi, S. Bing and Y. Jin, "Capsule network performance on complex data," 2017, arXiv:1712.03480.
- [24] P. Afshar, A. Mohammadi and K. N. Plataniotis, "Brain tumor type classification via capsule networks," in *2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2018, pp. 3129–3133.
- [25] Wikipedia. (2006, November 23). *Omurga / Vertebral column*. (Author: Arcadian) [Online]. Available: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Omurga>
- [26] Wikipedia. (2017, November 5). *Thoracic vertebrae / A thoracic spine X-ray of a 57-year-old male*. (Author: Who is johngalt). [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Thoracic_vertebrae
- [27] S. Bilgiç ve Ö. Erşen, "Adolesanidiyopatik skolyoz konservatif tedavisi," *Türkiye Klinikleri Journal of Orthopaedics and Traumatology Special Topics*, c. 10, s. 2, ss. 118–123, 2017.
- [28] A. A. Süzen, Z. Yıldız, K. Kayaalp, O. Ceylan ve E. Arabacı, "Skolyoz hastalığının tespiti için taşınabilir cihaz tasarımı," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 15, s. 1, ss. 483–490, 2019.
- [29] P. Patias, E. Stylianidis, M. Pateraki, Y. Chrysanthou, C. Contozis and T. Zavitsanakis, "3D digital photogrammetric reconstructions for scoliosis screening," in *ISPRS Commission Symposium on Image Engineering and Vision Metrology*, 2006, pp. 1214–1218.
- [30] Molinaspine. (2020, December 26). *Adolescent Scoliosis. Domingo Molina IV, M.D. Spine Surgeon* [Online]. Available: <https://molinaspine.com/spine-deformity>
- [31] M. A. Asher and D. Burton, "Adolescent idiopathic scoliosis: natural history and long term treatment effects," *Scoliosis*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, 2006.
- [32] Ö. Aydıngöz, "Adolesan omurga sorunları," *İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri Adolesan Sağlığı Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2005, ss. 125–133.
- [33] S. Langensiepen, O. Semler, R. Sobottke, O. Fricke, J. Franklin, E. Schönau and P. Eysel, "Measuring procedures to determine the Cobb angle in idiopathic scoliosis: a systematic review," *European Spine Journal*, vol. 22, no. 11, pp. 2360–2371, 2013.
- [34] R. T. Morrissy, G. S. Goldsmith, E. C. Hall, D. Kehl, and G. H. Cowie, "Measurement of the Cobb angle on radiographs of patients who have scoliosis. Evaluation of intrinsic error," *The Journal of Bone and Joint Surgery*, vol. 72, no. 3, 320–327, 1990.
- [35] T. A. Sardjono, M. H. Wilkinson, A. G. Veldhuizen, P. M. van Ooijen, K. E. Purnama and G. J. Verkerke, "Automatic Cobb angle determination from radiographic images," *Spine*, vol. 38, no. 20, pp. E1256–E1262, 2013.
- [36] M. H. Horng, C. P. Kuok, M. J. Fu, C. J. Lin and Y. N. Sun, "Cobb angle measurement of spine from X-ray images using convolutional neural network," *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, vol. 2019, no. 1, pp. 1–18, 2019.

- [37] H. Kim, H. S. Kim, E. S. Moon, C. S. Yoon, T. S. Chung, H. T. Song, J. S. Suh, Y. H. Lee and S. Kim, "Scoliosis imaging: What radiologists should know—erratum," *Radiographics*, vol. 35, no. 4, pp. 1316–1335, 2015.
- [38] Y. Pan, Q. Chen, T. Chen, H. Wang, X. Zhu, Z. Fang and Y. Lu, "Evaluation of a computer-aided method for measuring the Cobb angle on chest x-rays," *European Spine Journal*, vol. 28, no. 12, pp. 3035–3043, 2019.
- [39] J. Zhang, H. Li, L. Lv and Y. Zhang, "Computer-aided Cobb measurement based on automatic detection of vertebral slope using deep neural network," *International Journal of Biomedical Imaging*, vol. 2017, no. 1, pp. 1–6, 2017.
- [40] R. Choi, K. Watanabe, H. Jinguji, N. Fujita, Y. Ogura, S. Demura, T. Kotani, K. Wada, M. Miyazaki, H. Shigematsu, and Y. Aoki, "CNN-based spine and Cobb angle estimator using moiré images," *IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing*, vol. 5, no. 2, pp. 135–144, 2017.
- [41] K. Zhang, N. Xu, G. Yang and J. Wu, "An automated Cobb angle estimation method using convolutional neural network with area limitation," in *MICCAI 2019: Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention*, 1st ed., vol. 11769, Cham, Germany: Springer, 2019, pp. 775–783.
- [42] W. E. Thong, H. Labelle, J. Shen, S. Parent and S. Kadoury, "Stacked auto-encoders for classification of 3D spine models in adolescent idiopathic scoliosis," in *Recent Advances in Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging*, 1st ed., vol. 20, Cham, Germany: Springer, 2018, pp. 13–25.
- [43] Z. Tan, K. Yang, Y. Sun, B. Wu, H. Tao, Y. Hu and J. Zhang, "An automatic scoliosis diagnosis and measurement system based on deep learning," in *2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2018, pp. 439–443.
- [44] N. Sabri, H. N. A. Hamed, Z. Ibrahim and K. Ibrahim, "2D photogrammetry image of scoliosis Lenke type classification using deep learning," in *IEEE 9th International Conference on System Engineering and Technology*, 2019, pp. 437–440.
- [45] H. Anitha, "Lenke's scoliosis classification using image processing techniques," *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 3, no. 9, pp. 56–71, 2014.
- [46] L. Ramirez, N. G. Durdle, V. J. Raso and D. L. Hill, "A support vector machine classifier to assess the severity of idiopathic scoliosis from surface topography," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 10, no. 1, pp. 84–91, 2006.
- [47] N. Mezghani, P. Phan, H. Labelle, C. E. Aubin and J. D. Gui, "Computer-aided Lenke classification of scoliotic spines," *World Academy of Science Engineering and Technology*, vol. 53, no. 1, pp. 722–725, 2009.
- [48] J. Zhang, E. Lou and X. Shi, "A computer-aided Cobb angle measurement method and its reliability," *Journal of Spinal Disorders and Techniques*, vol. 23, no. 6, pp. 383–387, 2010.
- [49] O. Al Okashi, H. Du and H. Al-Assam, "Automatic spine curvature estimation from X-ray images of a mouse model," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 140, no. 1, pp. 175–184, 2017.

- [50] B. Samuvel, V. Thomas and M. G. Mini, “A mask based segmentation algorithm for automatic measurement of cobbangle from scoliosis x-ray image,” in *International Conference on Advances in Computing and Communications*, 2012, pp. 110–113.
- [51] B. A. Kusuma, H. A. Nugroho and S. Wibirama, “Spinal curvature determination from scoliosisx-ray image using sum of squared difference template matching,” in *2nd International Conference on Science and Technology-Computer (ICST '16)*, 2016, pp. 29–34.
- [52] N. B. Toan, T. Q. D. Khoa and V. Van Toi, “Computer-aid cobb measurement of scoliosis using deformable model with fuzzy spatial relations,” in *4th International Conference on Biomedical Engineering in Vietnam*, 2013, pp. 350–353.
- [53] V. Giannoglou and E. Stylianidis, “Review of advances in cobbangle calculation and image-based modeling techniques for spinal deformities,” *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 3, no. 5, pp. 12–19, 2016.
- [54] J. Yang, K. Zhang, H. Fan, Z. Huang, Y. Xiang, J. Yang, L. He, L. Zhang, Y. Yang, R. Li, Y. Zhu, C. Chen, F. Liu, H. Yang, Y. Deng, W. Tan, N. Deng, X. Yu, X. Xuan, X. Xie, X. Liu and H. Lin, “Development and validation of deeplearning algorithms for scoliosis screening using backimages,” *Communications Biology*, vol. 2, no. 1, pp. 1-8, 2019.
- [55] K. C. Kim, H. S. Yun, S. Kim and J. K. Seo, “Automation of spine curve assessment in frontal radiographs using deep learning of vertebral-tiltvector,” *IEEE Access*, vol. 8, no. 1, pp. 84618-84630, 2020.
- [56] C. Vergari, W. Skalli and L. Gajny, “A convolutional neural network todetect scoliosis treatment in radiographs,” *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, vol. 15, no. 6, pp. 1069-1074, 2020.
- [57] Z. He, Y. Wang, X. Qin, R. Yin, Y. Qiu, K. He and Z. Zhu, “Classification of neurofibromatosis-related dystrophicornondystrophic scoliosis based on image features using bilateral CNN,” *Medical Physics*, vol. 48, no. 4, pp. 1571-1583, 2021.
- [58] T. Ungi, H. Greer, K. R. Sunderland, V. Wu, Z. M. Baum, C. Schlenger, M. Oetgen, K. Cleary, S. R. Aylward and G. Fichtinger, “Automatic spine ultrasound segmentation for scoliosis visualization and measurement,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 67, vol. 11, pp. 3234-3241, 2020.
- [59] S. Sabour, N. Frosstand G. E. Hinton, “Dynamic routing between capsules,” 2017, arXiv:1710.09829.
- [60] M. K. Patrick, A. F. Adekoya, A. A. Mighty and B. Y. Edward, “Capsule networks—a survey,” *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 2019, doi: 10.1016/j.jksuci.2019.09.014.
- [61] D. De. (2017, November 1). *What is a Caps Netor Capsule Network?* [Online]. Available: <https://medium.com/hackernoon/what-is-a-capsnet-or-capsule-network-2bfbe48769cc>
- [62] H. Wu, C. Bailey, P. Rasoulinejad and S. Li, “Automatic land mark estimation for adolescent idiopathic scoliosis assessment using boostnet,” in *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, 2017, pp. 127–135.
- [63] R. H. Alharbi, M. B. Alshaye, M. M. Alkanhal, N. M. Alharbi, M. A. Alzahrani and O. A. Alrehaili, “Deeplearning based algorithm for automatic scoliosis angle measurement,” in *3rd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, 2020, pp. 1–5.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Asfalt Kaplamaların Nem Performansı Üzerinde Siyah Karbonun Etkisi

 Tacettin GEÇKİL^a,  Zülfükar AKSAĞAN^b,  Ceren Beyza İNCE^{c,*}

^aİnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE

^bİnşaat Bölümü, Tunceli MYO, Munzur Üniversitesi, Tunceli, TÜRKİYE

^cİnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: c.beyzaince@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.920549

ÖZ

Bu çalışmada, atık lastiklerden elde edilmiş olan siyah karbon (SK) katkısının sıcak karışım asfalt kaplamaların nem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalta ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında SK eklenerek modifiye asfaltlar hazırlanmıştır. Saf ve modifiye asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve duktilite deneyleri ile, işlenebilirlik özellikleri ise dönel viskozimetre (RV) deneyi ile belirlenmiştir. Daha sonra, karışım tasarımı için agrega ve saf asfalt kullanılarak Marshall tasarım yöntemine göre karışımın optimum asfalt içeriği belirlenmiştir. Belirlenen bu oran esas alınarak saf ve modifiye asfaltlar ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Saf ve SK katkılı modifiye karışım numuneleri Marshall stabilitesi, kalıcı Marshall stabilitesi (RMS) ve dolaylı çekme mukavemeti (ITS) deneylerine tabi tutulmuştur. Fiziksel test sonuçlarına göre, SK katkısı ile modifiye bağlayıcıların sertliğinin ve işlenebilirlik sıcaklıklarının arttığı görülmüştür. Karışım test sonuçlarına göre, Marshall stabilitesi, RMS ve dolaylı çekme mukavemeti oranı (ITSR) değerlerinin özellikle %10SK oranında önemli artışlar göstermesi sebebiyle yol kaplamalarının nem performansı üzerinde SK katkısının iyileştirici bir etki gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Asfalt, Siyah karbon, Modifiye karışım, Marshall stabilitesi, Dolaylı çekme mukavemeti

The Effect of Carbon Black on Moisture Performance of Asphalt Pavements

ABSTRACT

In this study, the effects of carbon black (CB) additive obtained from waste tires on the moisture performance of hot mix asphalt pavements were investigated. For this purpose, modified asphalts were prepared by adding 5%, 10%, 15% and 20% CB by weight to pure asphalt with penetration class B 160/220. Physical properties of pure and modified asphalts were determined by penetration, softening point and ductility tests, and workability properties were determined by rotational viscometer (RV) test. Then, the optimum asphalt content of the mixture was determined according to Marshall design method by using aggregate and pure asphalt for mixture design. Based on this determined ratio, pure and modified asphalts and hot mix samples were prepared. Pure and CB added modified mixture samples were subjected to Marshall stability, retained Marshall stability (RMS) and indirect tensile strength (ITS) tests. According to the physical test results, it was observed that the hardness and workability temperatures of the modified binders increased with the CB additive. According to the test results of the mixture, it was observed that CB additive had an improving effect on the moisture performance of road pavements due to the significant increases in Marshall stability, RMS and indirect tensile strength ratio (ITSR) values, especially at the rate of 10% CB.

I. GİRİŞ

Çeşitli çevresel faktörler, hava, su ve sıcaklık gibi etmenler sıcak karışım asfalt (HMA) kaplamaların dayanıklılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [1]. Ilıman iklim koşullarına sahip bölgelerde, iyi kalitede agrega ve asfalt ile yapılan kaplamalarda bozulmalar çoğunlukla trafik yükleri sebebiyle meydana gelmekte olup bu bölgelerde çoğunlukla tekerlek izi (kalıcı deformasyon) oturmaları görülmektedir. Bununla birlikte, şiddetli (sert) iklim koşullarına sahip bölgelerde ise, HMA kaplamalarda çoğunlukla kaplamadaki suyun varlığı sebebiyle bozulmalar ve ayrışmalar meydana gelmektedir. Kaplamadaki su, asfalt ile agrega ara yüzeyindeki yapışma kaybına neden olur ve bu durum adezyon kaybı olarak bilinmektedir. Kaplamada meydana gelen adezyon kaybı, kaplamanın yumuşamasına neden olur ve bu durum da kohezyon kaybı olarak ifade edilir. Asfalt-agrega yüzey sistemi suya maruz kaldığında asfaltın kimyasal bileşimine ve agregaların kimyasına zarar vererek aralarında oluşan moleküler düzeydeki reaksiyonları bozar ve asfaltın agregadan ayrışmasına sebep olur. Çünkü, su molekülleri yüksek polariteye sahiptir ve güçlü yönlendirme kuvvetleri tarafından agrega yüzeyine çekilir. Asfalt ise çok az polarite sergileyen yüksek moleküler ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşur. Bu nedenle, suyun mevcudiyetinde asfalt, agrega yüzeyinden ayrılma eğiliminde olur[2]. Kısacası HMA kaplamada su sebebiyle meydana gelen deformasyon adezyon ve kohezyon kaybı ile doğrudan ilişkilidir [1-4].

HMA kaplamalarda meydana gelen su hasarını temel olarak iki parametre etkilemektedir. Bunlardan ilki, asfalt ve agrega gibi sıcak karışım asfaltı meydana getiren ana malzemelerdir. Su, asfalt ile agrega arasındaki adezyonu zayıflatır ve asfaltın yapısını değiştirerek kohezyonu olumsuz etkiler. Adezyonun zayıflaması ve asfaltın yapısında meydana gelen değişim kaplamanın bozulmasına yol açar. İkincisi ise, sıcak karışım tasarımı ve yapımı (drenaj, film kalınlığı, hava boşluk durumu vb.), çevresel faktörler (donma-çözünme döngüleri, sıcaklık, sudaki iyonların varlığı ve kaplama yaşı), trafik koşulları ve türü, ayrıca katkı malzemelerinin özellikleridir [1,5].

Su hasarı nedeniyle kaplamada oluşan deformasyonları azaltmak amacıyla günümüzde baştahidrate kireç olmak üzere portland çimentosu, silan katkılar, metal iyonu yüzey ajan katkılar, silikon katkılar ve geleneksel sıvı katkılar kullanılmaktadır [5,6]. HMA'ya kireç eklenmesiyle, kirecin asfalt ile agrega arasındaki bağı kuvvetlendirdiği ve yapı ile reaksiyona girdiği görülmüştür [4,7-9]. Son yıllarda, çeşitli polimer modifiye asfaltlar da su hasarını azaltmak için sıcak karışımlarda kullanılmaya başlanmıştır [10]. Polimer modifiye asfaltların kullanımı su hasarlarını azaltmada kısıtlı olsa da soyulma önleyici katkılar gibi işlev gördüğü çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir [11,12].

Bu çalışmada ise atık lastiklerden elde edilmiş olan siyah karbon katkısının HMA kaplamaların nem hassasiyeti üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Ülkemizde her yıl 180.000-300.000 ton civarında atık lastik oluşmaktadır [13]. Bu malzemeler çeşitli fiziksel ve kimyasal bozulmalara karşı oldukça dirençli olmaları sebebiyle doğada kendi başına ayrışamazlar [14]. Bu atıklar depolandığında büyük yer işgallerine ve fazla maliyetlere, yakılarak yok edilmeye çalışıldığında ise çevreye ve canlılara büyük zararlar vermektedir [14,15]. Bu sebeple, atık lastiklerin geri dönüştürülerek tekrar kullanımı konusu ciddi önem arz etmektedir. Araştırmacılar, yapı olarak oldukça dayanıklı olan bu malzemeleri çoğunlukla piroliz işlemine tabi tutarak geri dönüşüme kazandırmaya çalışmışlardır [16,17]. Piroliz işlemi, organik maddelerin oksijensiz ortamda 500-800°C'de gaz, sıvı veya katı ürünlere dönüştürülmesi prosesi olarak tanımlanmaktadır. Atık lastiklerin piroliz işlemine tabi tutulmasıyla pirolitik yağlar, siyah karbon (karbon siyahı), çelik tel ve yanıcı gazlar elde edilmektedir [15,17]. Elde edilen bu malzemelerden pirolitik yağlar, mazot eş değeri bir malzeme olup yakıt olarak kullanılırken, çelik tel haddehanelere satılan ve az da olsa değer elde edilen bir üründür. Bununla birlikte, elde edilen yanıcı gaz olarak ise doğalgaz ile karşılaştırılabilecek nitelikte bir ürün elde edilmektedir [17-19]. Tüm bu ürünler dışında çok daha geniş kullanım alanına sahip olan siyah karbon (SK) lastik üretiminde kauçuk ile karıştırılarak kablo, hortum, paspas, siyah

poşet, araba yedek parçaları, ısı yalıtımı ve konveyör bant üretiminde kullanılmaktadır [17]. SK yapı olarak, oldukça küçük tane boyutuna sahip, karbon esaslı bir malzemedir [20].

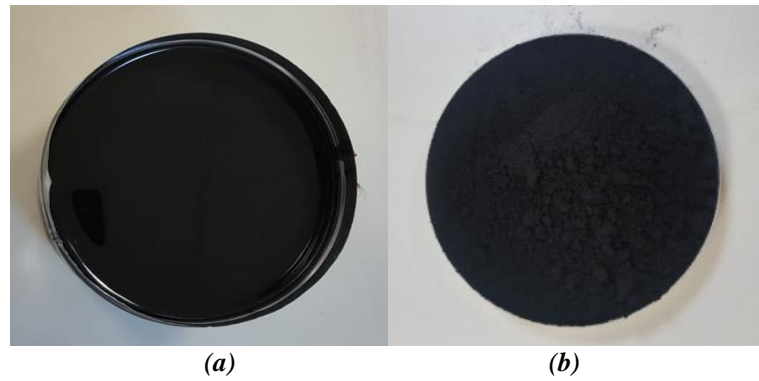
Yol mühendisliğinde SK katkısının asfalt modifikasyonunda bir katkı malzemesi olarak kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, SK katkısının bağlayıcıların kıvamını arttırdığı ve reolojik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür [21-23]. SK katkısının sıcak karışımlarda kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde, SK katkısıyla sıcak karışımların stabilitesinin arttığı ve suya karşı hassasiyetinin önemli oranda azaldığı ifade edilmiştir[22]. Başka bir çalışmada Yao ve arkadaşları, SK katkısının karışımın esneklik modülünü geliştirdiğini ifade etmişlerdir [24]. Terrel ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, SK katkısının karışımların stabilitesini önemli ölçüde iyileştirdiğini ve rijitlik modülünü arttırdığını ifade etmişlerdir [25]. Ahmedzade ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada SK katkısının asfalt karışımların mekanik özelliklerini geliştirdiğini ifade etmişlerdir [26]. SK'nın nem direnci üzerindeki etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada, SK katkısının karışımların nem hasarına karşı direncini oldukça artırdığı ifade edilmiştir [27].

Bu çalışmada, SK katkısının HMA kaplamaların nem etkilerine karşı gösterdiği performansı üzerindeki etkileri Marshall stabilitesi, RMS ve ITS deneyleri yardımı ile tespit edilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

Bu çalışmada, asfalt modifikasyonunda penetrasyon sınıfı B 160/220 olan saf asfalt, modifiyerolarak siyah karbon (SK) kullanılmıştır (Şekil 1). Saf B 160/220 asfaltın (Şekil 1a) fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1.(a) Saf asfalt ve (b) SK

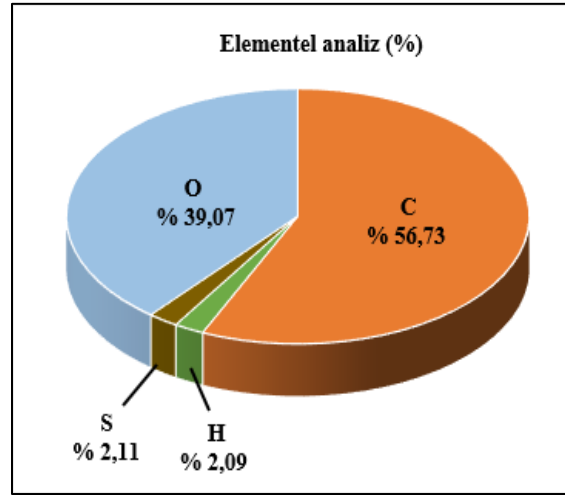
Tablo 1. Saf asfaltın fiziksel özellikleri

Özellik	Standart	B 160/220	
		Limit	Sonuç
Penetrasyon (0,1mm)	ASTM D5	160-220	175,2
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D36	35-43	42,45
Düktilite (cm)	ASTM D113	Min. 100	>100
Parlama noktası (°C)	EN 22719	Min. 230	242
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	TS 1087	1,0 – 1,1	1,038
Kütle kaybı (%)	ASTM D2872	Maks.1	0,08

Modifiyer olarak kullanılan SK (Şekil 1b), Erzincan ERA Çevre Teknolojileri A.Ş'den temin edilmiştir. SK'nın özellikleri Tablo 2'de, element analizi sonuçları ise Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 2.SK'nın özellikleri

Özellik	SK
Özgül ağırlık	1,7 – 1,9 gr/ml
Hacim özgül ağırlık	20-440 kg/m ³
Parlama noktası	Parlamaz
Renk	Siyah
Erime sıcaklığı	>3000 °C
pH	4-11
Görünüm	Toz, Pellet
Kütle kaybı (125 °C) (%)	0,5



Şekil 2. Element analizi sonuçları

HMA tasarımı için kırmataş kalker agregası kullanılmıştır. Agreganın fiziksel özellikleri Tablo 3'te, gradasyonu ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Agreganın fiziksel özellikleri

Özellik	Standart	Limit	Sonuç
Kaba agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)		-	2,711
Kaba agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C127	-	2,648
Kaba agrega su emme yüzdesi		maks.2	0,88
İnce agrega zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)		-	2,750
İnce agrega hacim özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM C128	-	2,664
İnce agrega su emme yüzdesi		maks.2	1,17
Filler zahiri özgül ağırlık (gr/cm ³)	ASTM D 854	-	2,751
Aşınma kaybı, Los Angeles (%)	ASTM C131	maks.30	28
Donma kaybı (%)	ASTM C88	maks.10	4,5
Yassı ve uzun daneler (%)	ASTM D4791	maks.10	4

Tablo 4. Agrega gradasyonu

Açıklık (mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Geçen (%)	100	94	84	58	35	22	16	12	8	5

B.METOT

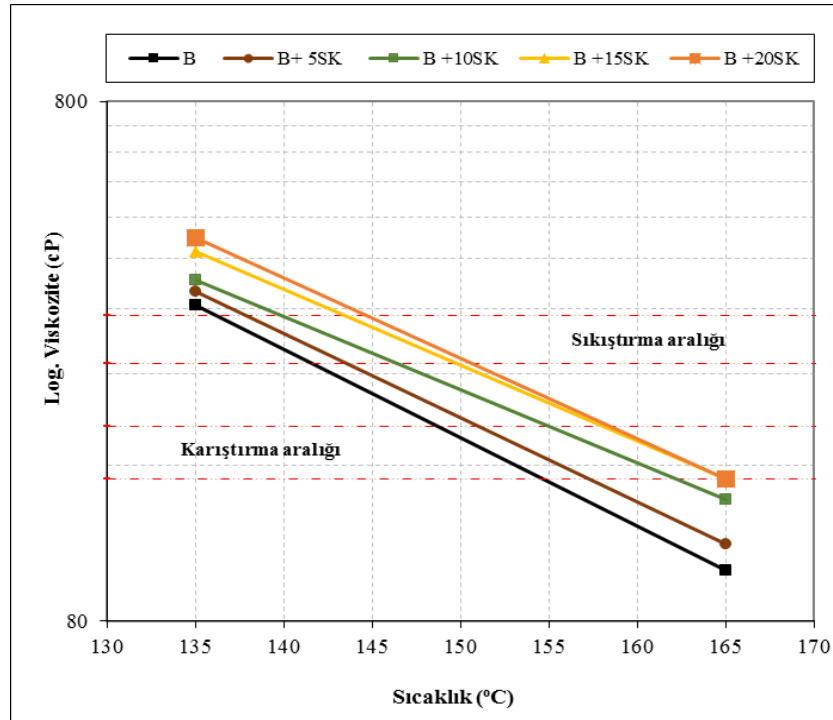
B. 1. SK Katkılı Asfalt Bağlayıcıların Hazırlanması

Çalışmada, siyah karbon katkılı asfaltlar elde etmek için ilk olarak saf asfalt 150 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. Daha sonra, saf asfalta literatürle [22,24,26,27] uyumlu olacak şekilde ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 oranlarında SK eklenerek aynı sıcaklıkta 500 devirde 60 dakika boyunca karıştırma işlemi yapılmıştır. Tüm modifiye asfaltlar aynı işlem sırası takip edilerek hazırlanmıştır.

Elde edilen saf ve SK katkılı asfaltların fiziksel özellikleri penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite testleriyle, işlenebilirlik özellikleri ise RV deneyi ile belirlenmiştir.

Çalışmada saf ve modifiye asfaltlar sırasıyla B, B+5SK, B+10SK, B+15SK ve B+20SK olarak kodlanmıştır.

Saf ve SK katkılı asfaltların fiziksel özellikleri sırasıyla ASTM D5, ASTM D36 ve ASTM D113 standartlarına göre penetrasyon, yumuşama noktası ve düktilite testleri ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Ayrıca tüm bağlayıcıların yüksek sıcaklıklardaki işlenebilirlik özellikleri ASTM D4402 standardına göre RV deneyi ile belirlenmiştir. RV deneyi sonucunda elde edilmiş olan viskozite-sıcaklık grafiği (Şekil 3) kullanılarak, saf ve SK katkılı bağlayıcıların işlenebilirlik sıcaklık aralıkları ve ortalama karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları tespit edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar yine Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 3. Bağlayıcıların viskozite-sıcaklık grafiği

Tablo 5. Asfalt bağlayıcıların geleneksel test sonuçları

Özellik	Bağlayıcı türü				
	B	B+5SK	B+10SK	B+15SK	B+20SK
Penetrasyon (0.1mm)	175,2	168,4	165,4	155,3	145,7
Yumuşama noktası (°C)	42,45	42,95	44,50	45,40	45,80
Düktilite (cm)	130	123	121	116	111
Karıştırma aralığı (°C)	148-154	151-156	155-162	157-165	157-164
Sıkıştırma aralığı (°C)	136-141	137-143	140-145,5	144-150	144,8-150,5
Karıştırma sıcaklığı (°C)	151	153,5	158,5	161,0	160,5
Sıkıştırma sıcaklığı (°C)	138,5	140,0	142,75	147,0	147,65

Tablo 5 incelendiğinde, SK ilavesi ile modifiye bağlayıcıların penetrasyon ve düktilite değerlerinde düzenli bir azalma, ancak yumuşama noktası değerlerinde düzenli bir artış görülmüştür. Bu durumda, SK ilavesi ile bağlayıcıların sertleşmeye eğiliminin arttığını, asfalt sınıfının B 100/150 olarak değiştiğini ve sıcaklık hassasiyetinin azaldığını söylemek mümkündür. Bağlayıcıların viskozite değerleri incelendiğinde ise (Şekil 3), SK ilavesi ile viskozite değerlerinin arttığı görülmektedir. Elde edilen bu viskozite değerleri kullanılarak belirlenen plentteki karıştırma ve yoldaki sıkıştırma sıcaklıkları da SK katkı oranının artışı ile artış göstermiştir. Tüm bu sonuçlar, SK katkısıyla modifiye bağlayıcıların kıvamının sertleştiğini ve bu sebeple plentte karıştırma ve yoldaki serme esnasında daha fazla enerji harcanabileceğini göstermektedir. Ancak SK'nın asfalt ve HMA kaplamanın performansı üzerinde oluşturabileceği olumlu etki ile atık lastiklerin çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında fazla enerji sarfiyatı göz ardı edilebilir.

B. 2. SK Katkılı Sıcak Karışım Asfaltların Hazırlanması

HMA'ların su hasarına olan etkisini belirlemek amacıyla saf ve SK katkılı asfaltlar kullanılarak ASTM D1159'a göre Marshall tasarım yöntemi ile karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bunun için öncelikle, agrega ve saf asfalt kullanılarak sıcak karışımlar için optimum asfalt içeriği tespit edilmiştir. Bu içerik esas alınarak saf ve modifiye asfaltlar ile sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Her bir karışım numunesi için 1200 gr agrega tartılmış ve asfaltlar kendi karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarında işlenerek HMA numuneleri elde edilmiştir. Numuneler, 457 mm yükseklikten serbest düşürülen sıkıştırma tokmağı ile her bir numune yüzeyine 75, toplamda 150 vuruş yapılarak hazırlanmıştır.

Çalışmada, saf ve SK katkılı karışım numuneleri yine sırasıyla B, B+5SK, B+10SK, B+15SK ve B+20SK olarak kodlanmıştır.

III. DENEYSEL YÖNTEM

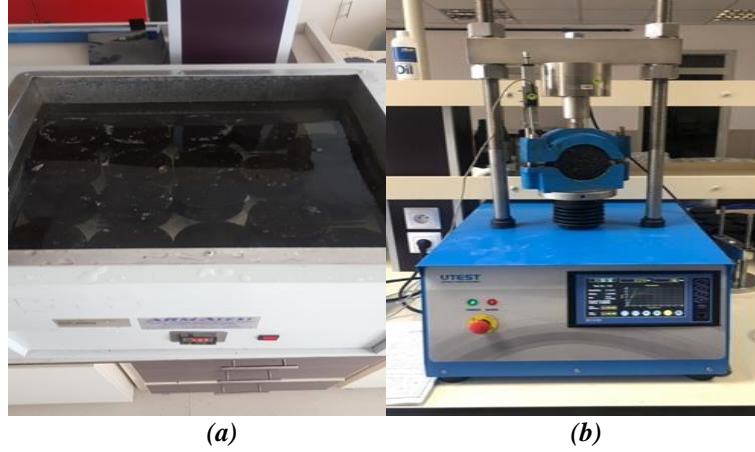
A. MARSHALL STABİLİTE DENEYİ

ASTM D1559 standardına göre, sıcak karışımların plastik akmaya karşı gösterdiği direnç Marshall stabilite ve akma deneyi ile tespit edilmektedir. Deneyde, sıcak karışım numuneleri çeşitli ağırlıkları ve yükseklikleri belirlendikten sonra 60 ± 1 °C sıcaklığa sahip su banyosunda (Şekil 4a) yaklaşık 30-40 dakika kadar bekletilir. Süre bitiminde numuneler su banyosundan çıkarılarak Marshall stabilite cihazına (Şekil 4b) yerleştirilir ve numunelerin 50 ± 2 mm/dakika yükleme hızında kırıldıkları andaki stabilite ve akma değerleri tespit edilir. Burada stabilite değeri, HMA kaplamaların deformasyonlara karşı koyabildiği en yüksek yükü; akma değeri ise bu yük değerine ulaşıldığında oluşan düzeyde meydana gelen deformasyonu belirtmektedir. Deneyde, numunelerin yükseklikleri 63,5 mm'den farklı

ise denklem (1) bağıntısı kullanılarak, numunelerin düzeltilmiş stabilite değerleri tespit edilir. Denklemde yer alan c düzeltme katsayısını, h ise numune yüksekliğini ifade etmektedir [12].

$$c = 5.24x e^{(-0.0258xh)} \quad (1)$$

Deney sonucunda, elde edilen stabilite ve akma değerleri yardımı ile sıcak karışımların sertliklerinin ve deformasyonlara karşı dirençlerinin bir ölçüsü olarak bilinen Marshall oranı (MQ) değerleri de hesaplanmaktadır. MQ değeri, karışımın stabilite değerinin akma değerine oranlanmasıyla elde edilir ve bu değer yüksek olması kaplamanın deformasyonlara karşı dirençli olduğunu belirtmektedir [12].



Şekil 4.(a)Sıcak su banyosunda numunelerin bekletilmesi ve (b)Marshall stabilite cihazı

B. KALICI MARSHALL STABİLİTESİ (RETAINED MARSHALL STABILITY-RMS)

HMA kaplamaların sudan kaynaklı bozulmalara karşı dayanımları RMS deneyi ile belirlenebilmektedir. Bu amaçla, sıcak karışım numuneleri 24 saat boyunca 60 ± 1 °C sıcaklıktaki su banyosunda bekletilerek Marshall stabilite cihazı ile yüklemeye maruz bırakılmaktadır. Elde edilen stabilite değerinin numunenin normal stabilite değerine bölünmesiyle RMS değeri belirlenmektedir. HMA'ların yüksek RMS değerine sahip olması, numunenin suya karşı daha yüksek dirence sahip olduğunu ifade etmektedir [12].

C. DOLAYLI ÇEKME MUKAVEMETİ DENEYİ (INDIRECT TENSILE STRENGTH-ITS)

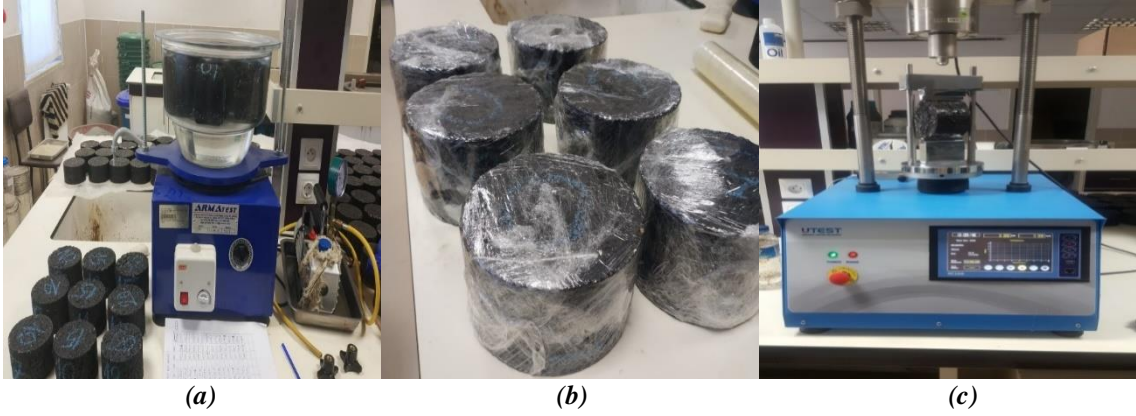
AASHTO T245 standardına göre gerçekleştirilen ITS deneyi, ısı ve yüklere maruz kalan HMA kaplamalarının yapısında oluşan çekme gerilmelerini karakterize etmektedir. Deney, Marshall stabilite test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Deneyde, karışım numunelerinin dakikada 50mm'lik yükleme hızında çap düzlemi doğrultusunda düşey olarak yüklemeye maruz bırakılarak kırılması sağlanır. Deney sonucunda, HMA kaplamalarda meydana gelen bu kırılmalar ile kaplamanın yapısı arasında bir ilişki sağlanabilmektedir. Bununla birlikte, HMA kaplamaya ait olan kohezyon kuvveti ve orta sıcaklıklardaki kalıcı deformasyon direncinin başlıca parametreleri olan sertlik ve durabilite hakkında da bilgi sahibi olunabilmektedir [12]. Karışım numunelerinin ITS değerleri, sıcak karışımın kohezyon yeteneğine bağlı olarak değişebilmekte ve bu durumda büyük oranda asfaltın özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Karışım numunelerinin ITS değeri denklem (2) yardımı ile belirlenebilmektedir. Burada P_{max} değeri numune üzerine uygulanmış maksimum yükü, t numune kalınlığını, d ise numune çapını göstermektedir [12,27].

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi t x d} \quad (2)$$

D. SU HASARI DİRENCİ DENEYİ

HMA kaplamaların suya karşı hassasiyeti AASHTO T283 standardına göre belirlenmektedir. Suya karşı hassasiyet, kaplamaların su ile temas etmesinden sonra yapısında su sebebiyle oluşabilecek hasara karşı göstermiş olduğu direnci belirtmektedir. Kaplamadaki su, agrega ile asfalt arasındaki bağı zayıflatarak bozulmalara sebep olur. Standartta göre HMA numuneleri “koşullandırılmamış” ve “koşullandırılmış” olmak üzere iki gruba ayrılır. Koşullandırılmamış numuneler(ITS_{kuru}), 25°C sıcaklıktaki su banyosunda 2 saat boyunca bekletilir. Koşullandırılmış numuneler ($ITS_{yaş}$) ise ilk olarak hava boşlukları ortalama %70 su ile dolacak şekilde vakum işlemine (Şekil 5a) tabi tutulur. Daha sonra numuneler streç film ile çevrelenerek (Şekil 5b) -18°C sıcaklıktaki dondurucuda 16 saat boyunca bekletilir ve süre bitiminde numuneler 60°C sıcaklıktaki su banyosunda 24 saat boyunca bekletilir. 24 saatin sonunda su banyosundan alınan numuneler 25°C sıcaklıktaki banyosunda 2 saat boyunca bekletilir. Bu işlemlerden bitiminde numuneler Marshall cihazı kullanılarak dolaylı çekme direnci testine (Şekil 5c) tabi tutulur. Deney sonunda, denklem (3) yardımıyla numunelerinin dolaylı çekme direnci oranı (ITSR) değerleri hesaplanır. HMA kaplamaların sudan kaynaklı bozulmalara karşı dirençleri bakımından ITSR değerlerinin %80’den daha fazla olması beklenmektedir [4,12].

$$ITSR=(ITS_{yaş}/ITS_{kuru})\times 100 \quad (3)$$



Şekil 5.(a)Numunelere vakum uygulanması, (b) Streç film ile çevrelenmesi ve (c) ITS deneyine tabi tutulması

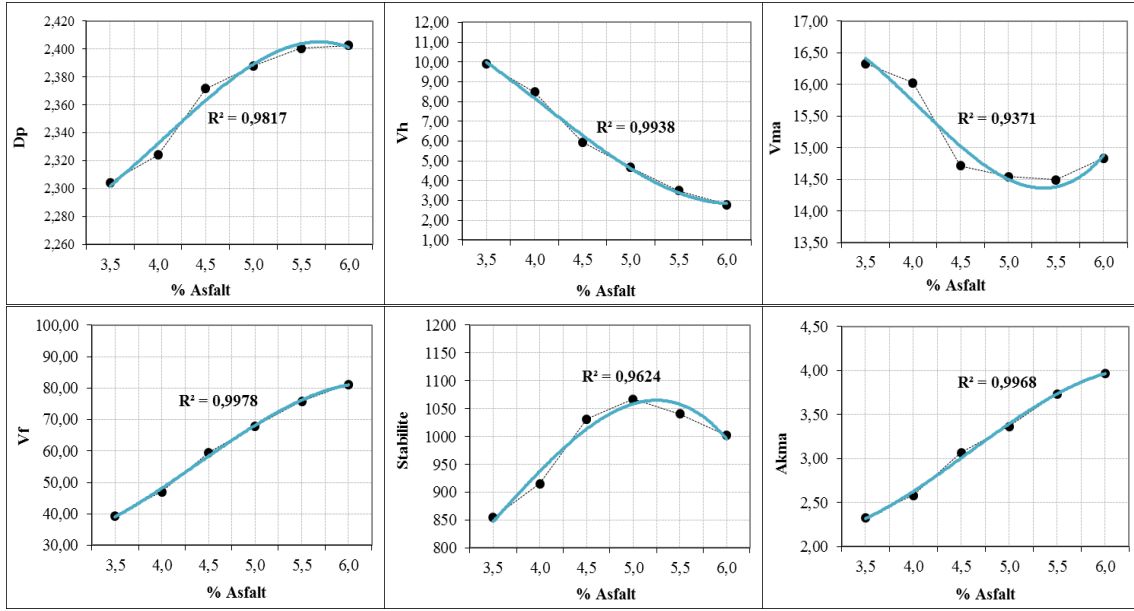
IV. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

A. MARSHALL STABİLİTE SONUÇLARI

Marshall tasarımında, penetrasyon sınıfı B 160/220 saf asfalt ile 1200 gr agrega kullanılarak sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. Bu amaçla, agrega miktarı sabit tutularak ağırlıkça %3,5 - %4 - %4,5 - %5 - %5,5 ve %6 oranlarında saf asfalt eklenerek her bir yüzdede 3 adet, toplamda 18 adet karışım numunesi hazırlanmıştır. İlk olarak her bir karışım numunesinin ağırlığı ve yüksekliği tespit edilmiştir. Daha sonra numunelerin hacim özgül ağırlık (D_p), boşluk oranı (V_h), agregalar arası boşluk oranı (VMA) ve asfalt dolu boşluk oranı (V_f) gibi hacimsel özellikleri belirlenmiş ve numuneler Marshall stabilite deneyine tabi tutularak numunelerin stabilite ve akma değerleri belirlenmiştir. Karışım numunelerinin tespit edilmiş olan hacimsel ve mekanik özelliklerinin asfalt içeriği ile değişim grafikleri Şekil 6’da verilmiştir.

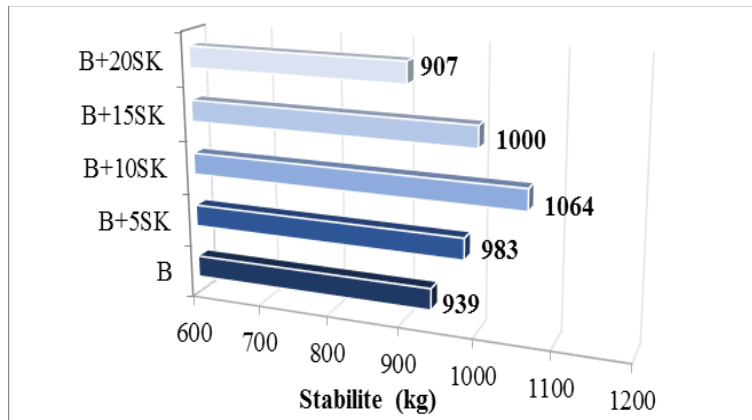
Karayolları Teknik Şartnamesine (KTS) göre, optimum asfalt içeriği belirlenmesinde Şekil 6’daki grafiklerden D_p ’nin maksimum (%5,75) ve stabilitenin maksimum (%5,0), V_h ’in %4 (%5,25) ve V_f ’nin %70 (%5,1) olduğu asfalt yüzdelere aritmetik ortalaması alınarak optimum asfalt içeriği %5,3 olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen bu oran (%5,3) esas alınarak saf (B) ve SK katkıli modifiye

asfaltlarla sıcak karışım numuneleri hazırlanmıştır. SK katkılı modifiye karışım numunelerinin saf karışım numuneleri ile kıyas yapılabilmesi amacıyla bu oran sabit tutulmuştur.



Şekil 6. Hacimsel ve mekanik özelliklerin asfalt içeriği ile değişimleri

Hazırlanmış olan saf (B) ve SKkatkılı sıcak karışım numunelerinden elde edilen Marshall stabilite değerleri Şekil 7’de, akma değerleri Şekil 8’de, MQ değerleri ise Şekil 9’da verilmiştir.

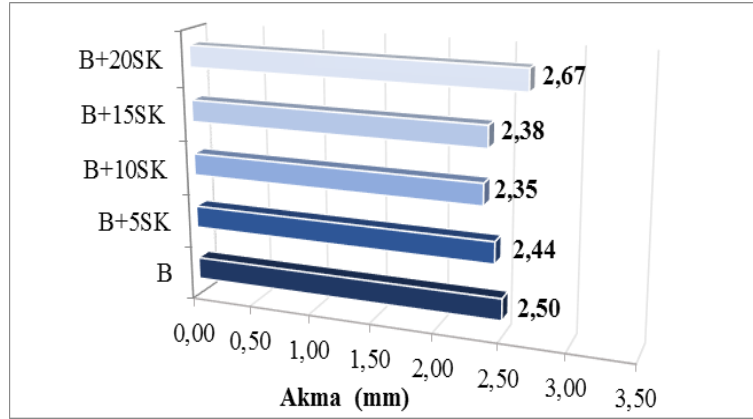


Şekil 7. Saf ve SK katkılı karışımların stabilite değerleri

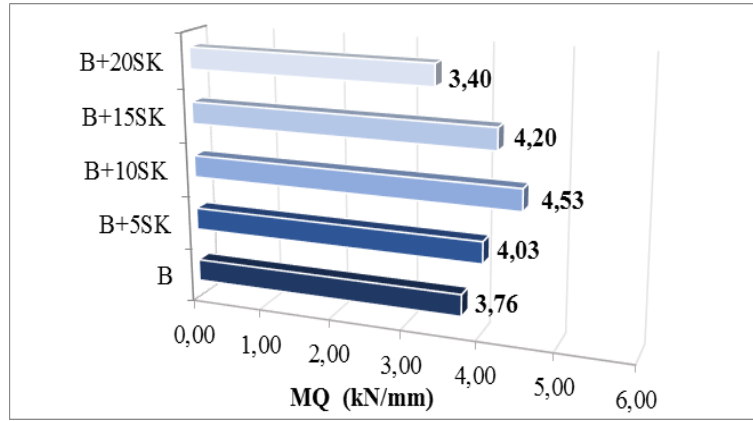
Şekil 7 incelendiğinde, SK katkı ilavesi ile karışımların stabilite değerlerinde saf numuneye kıyasla değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %4,7; %13,3; %6,5 artış ve %3,4 azalma şeklindedir. SK katkısıyla karışımların stabilite değerlerinde meydana gelen artış, SK katkılı HMA kaplamaların kalıcı deformasyonlara karşı direncinin arttığını göstermektedir. Elde edilen sonuç değerlendirildiğinde, en yüksek stabilite değerine B+10SK katkılı karışımında ulaşılmıştır, dolayısıyla bu durumda kalıcı deformasyonlara karşı direnci en yüksek karışım numunesinin B+10SK katkılı karışım olduğunu ifade etmek mümkündür.

SK katkılı karışımların akma değerleri incelendiğinde (Şekil 8), saf (B) karışıma kıyasla değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %2,4; %6; %4,8 azalma ve %6,8 artış şeklindedir. Sıcak karışımların akma değeri, HMA kaplamanın trafik yükleri altındaki plastik veya esnek davranışını ifade etmektedir. SK katkı ilavesi ile akma değerlerinde meydana gelen bu küçük

değişimler, HMA kaplamanın kırılma esnasındaki hemen hemen aynı davranış sergileyeceğini göstermektedir.



Şekil 8. Saf ve SK katkılı karışımların akma değerleri



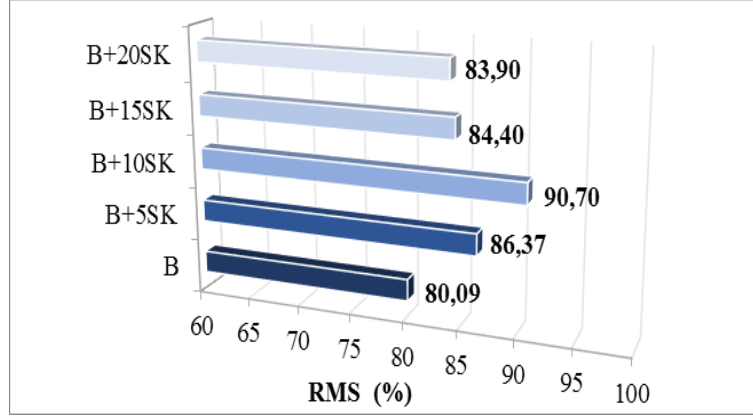
Şekil 9. Saf ve SK katkılı karışımların MQ değerleri

Şekil 9’da MQ değerleri incelendiğinde ise, SK katkısı ile MQ değerlerinde değişimler meydana geldiği görülmektedir. Meydana gelen bu değişimler saf karışıma kıyasla %7,2; %20,5; %11,7 artış ve %9,6 azalma şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek artışın B+10SK karışım numunelerinde görüldüğü ve bu sebeple kayma gerilmelerine karşı en dirençli karışımların B+10SK karışımlar olduğunu söylemek mümkündür.

B. RMS SONUÇLARI

SK katkısının HMA kaplamaların suya karşı hassasiyeti üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla saf ve SK modifiyeli karışım numunelerinin RMS değerleri belirlenerek Şekil 10’da verilmiştir.

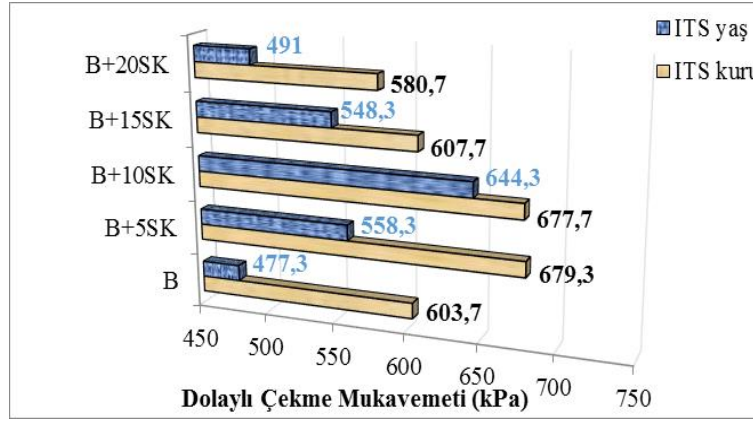
Şekil 10 incelendiğinde, SK katkı ilavesi ile modifiye karışımların saf karışıma kıyasla RMS değerlerinde önemli değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %7,8; %13,2; %5,4 ve %4,8 artış şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek RMS değerinin B+10SK karışımlardan elde edildiği ve bu sebeple en yüksek nem hasarı direncinin B+10SK karışımlarda olduğu söylenebilir. SK ilavesiyle RMS değerinin artış göstermesi, SK’nın agrega ile asfalt arasındaki bağlanma yeteneği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu ve bu nedenle de HMA kaplamanın sudan kaynaklı bozulmalara karşı direnci üzerinde artışa sebep olduğu ifade edilebilir.



Şekil 10. Saf ve SK katkıli karışımların RMS değerleri

C. ITS VE SU HASARI DİRENCİ SONUÇLARI

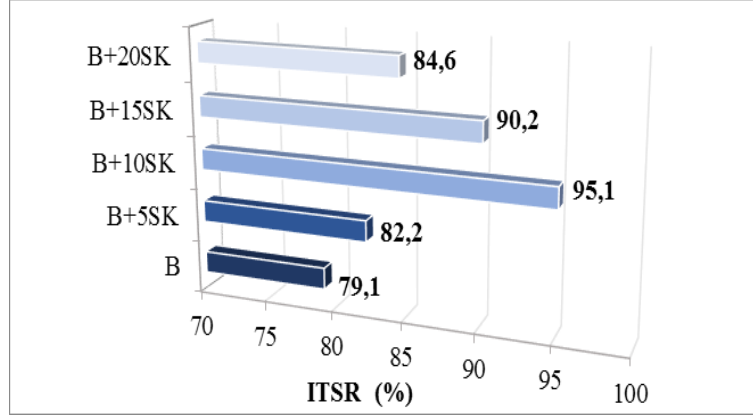
SK katkısının HMA kaplamaların sudan kaynaklı bozulmalara karşı dirençlerini belirlemek amacıyla, koşullandırılmış ve koşullandırılmamış saf ve SK modifiyeli karışım numunelerine ITS deneyi uygulanmıştır. Belirlenen ITS ve ITSR değerleri sırasıyla Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 11. Saf ve SK katkıli karışımların ITS değerleri

Şekil 11 incelendiğinde, SK katkı artışı ile koşullandırılmış ($ITS_{yaş}$) karışım numunelerinin saf karışıma kıyasla ITS değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %17; %35; %14,9 ve %2,9 artış şeklindedir. Koşullandırılmamış (ITS_{kuru}) karışım numunelerinin ITS değerlerinde meydana gelen değişimler ise yine saf karışıma kıyasla sırasıyla %12,5; %12,3; %0,7 artış ve %3,8 azalma şeklindedir. SK katkısı ile karışım numunelerinin $ITS_{yaş}$ ve ITS_{kuru} değerlerinin genel olarak artış göstermesi, trafik yükleri altındaki HMA kaplamaların yük altında oluşan çekme gerilmelerine karşı direncinin arttığını göstermektedir.

Şekil 12 incelendiğinde, SK katkı artışı ile ITSR değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler saf karışıma kıyasla sırasıyla %3,9; %20,2; %14 ve %7 artış şeklindedir. Bu sonuçlara göre, en yüksek ITSR değeri B+10SK karışımlarda görülmüştür. Bu sonuçlara göre, sudan kaynaklı bozulmalara karşı en dirençli karışımların B+10SK karışımlar olduğu söylenebilir. Ayrıca, SK katkısı ile karışımların ITSR değerlerinin %80’in üzerinde olması, SK katkısının HMA kaplamaların sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncini üzerinde iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 12. Saf ve SK katkıli karışımların ITSR değerleri

RMS ve ITSR sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, SK katkısının yol kaplamalarının suya karşı hassasiyeti üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu, özellikle %10SK katkı oranının kaplamaların adezyon ve kohezyon yeteneğini arttırmada etkili olduğu görülmüştür. Bunun, SK'nın çok ince taneli ve yüksek yüzey alanına sahip olması sebebiyle asfalt içerisinde homojen olarak dağılması ve agrega ile iyi bir adezyon sağlayarak suyun agregaya nüfuz etmesine engel olduğundan kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, asfalt kaplamalarının nem performansı üzerinde siyah karbonun etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Saf ve SK modifiyeli bağlayıcıların fiziksel test sonuçlarına göre, SK katkısı ile bağlayıcıların sertleşme eğiliminin arttığı ve dolayısıyla daha yüksek sıcaklığa sahip bölgelerde kullanılabileceği görülmüştür.
2. Marshall stabilite sonuçlarına göre, SK katkısı ile karışımların stabilitesinin %13,3 kadar arttığı ve en yüksek stabilite değerinin B+10SK katkıli karışımlardan elde edildiği görülmüştür.
3. MQ sonuçlarına göre, SK katkısı ile MQ değerinin %20,5 artış ile B+10SK karışımlardan elde edildiği görülmüştür. Bu sonuca göre, SK katkısının HMA kaplamaların kayma gerilmelerine karşı direncinde iyileşme sağladığı söylenebilir.
4. RMS sonuçlarına göre, SK ilavesiyle RMS değerinin %13,2 kadar artış gösterdiği ve en yüksek RMS değerinin B+10SK katkıli karışımlardan elde edildiği ve dolayısıyla bu oranda sıcak karışımların su etkilerine karşı daha dirençli olduğu görülmüştür.
5. ITSR sonuçlarına göre, SK katkısı ile karışımların ITSR değerlerinin %20,2 kadar artış gösterdiği ve en yüksek ITSR değerinin B+10SK katkıli karışımlardan elde edildiği görülmüştür. Bu sonuçlara göre, SK katkısının HMA'ların adezyon ve kohezyon yeteneğini arttırarak yol kaplamalarının nem direncini önemli ölçüde geliştirdiği söylenebilir.

Sonuç olarak, atık lastiklerden elde edilmiş olan SK katkısının asfalt ve dolayısıyla karışım modifikasyonunda kullanılmasıyla HMA kaplamalarının nem direncini arttırmada iyileştirici bir etkiye sahip olduğunu ifade etmek mümkündür. Ayrıca, atık lastiklerin çevreye ve canlılara vermiş olduğu zarar göz önüne alındığında yol mühendisliğinde bir iyileştirici olarak kullanılmasının bu atıkların

çevreye ve canlılara vermiş olduğu zarar azaltılacak, bununla birlikte ülke ekonomisine bir katma değer olarak fayda sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: İÜ-BAP 2016/65).

V. KAYNAKLAR

- [1] A. E. A. El-Maaty Behiry, “Laboratory evaluation of resistance to moisture damage in asphalt mixtures,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 351-363, 2013.
- [2] H. A. Omar, N. I. Yusoff, M. Mubarak and H. Ceylan, “Effects of moisture damage on asphalt mixtures,” *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 7, no. 5, pp. 600-628, 2020.
- [3] B.V. Kök, “Bitümlü sıcak karışımların üretiminde yeni bir karıştırma yönteminin araştırılması,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2007.
- [4] Ç. Görkem and B. Şengöz, “Predicting stripping and moisture induced damage of asphalt concrete prepared with polymer modified bitumen and hydrated lime,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 6, pp. 2227–2236, 2009.
- [5] H. Özen, “Rutting evaluation of hydrated lime and SBS modified asphalt mixtures for laboratory and field compacted samples,” *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 2, pp. 756–765, 2011.
- [6] A. Aksoy, E. İskender, Ş. Oruç ve H. Özen, “SBS polimeri ve su hasarı önleyici katkıların asfalt kaplamalarda performans karşılaştırması,” *İMO Teknik Dergi*, c. 80, ss. 5967-5986, 2012.
- [7] J. C. Petersen, H. P. Plancher and M. Harnsbergen, “Lime treatment of asphalt to reduce age hardening and improve flow properties,” *In: Proceedings AAPT*, vol. 56, pp. 632-653, 1987.
- [8] Anonymous. (2021, September 27). *How to add hydrated lime to hot mix asphalt*. [Online]. Available: https://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/how-to-add-lime.pdf.
- [9] T. W. Kennedy and N. J. Anagnos, “Lime treatment of asphalt mixtures,” *4. Center for Transportation Research*, Austin, United States, 1983, pp. 20–28.
- [10] J. Epps, E. Berger and J. N. Anagnos, “Moisture sensitivity of asphalt pavements,” *A National Seminar*, California, United States, 2003, pp. 117-177.
- [11] P. Kumar, S. Chandra and S. Bose, “Strength characteristics of polymer modified mixes,” *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 63–71, 2006.
- [12] T. Geçkil, Y. Önal ve C. B. İnce, “Atık PET ile modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışımların nem direnci,” *Politeknik Dergisi*, c. 24, s. 2, ss. 461-471, 2021.
- [13] H. Eryılmaz ve K. O. Demirarslan, “Ömrünü tamamlamış lastiklerin (ÖTL) sıvılaştırılarak geri dönüşümünün araştırılması,” *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 50-56, 2019.

- [14] A. P. T. Demir. (2021, 27 Ekim). *Atık lastiklerin geri dönüşümü üzerine bir derleme*. [Online]. Erişim:<http://www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/2452-arac-lastiklerinin-geri-doenuesuemue-uezerine-bir-derleme>.
- [15] B. Adhikari and D. De, S. Maiti, “Reclamation and recycling of waste rubber,” *Progress in Polymer Science*, vol. 25, pp. 909-948, 2000.
- [16] J. Xu, J. Yu, W. He, J. Huang, J. Xu and G. Li, “Recovery of carbon black from waste tire in continuous commercial rotary kiln pyrolysis reactor,” *Science of The Total Environment*, vol. 772, pp. 145507, 2021.
- [17] E. Durna, G. Köz ve N. Genç, “Türkiye’de ömrünü tamamlamış lastiklerin yönetiminde en uygun bertaraf seçeneğinin Promethee ve bulanık Promethee yöntemi ile belirlenmesi,” *Politeknik Dergisi*, c. 23, s. 4, ss. 915-927, 2020.
- [18] D. Czajczyńska, R. Krzyżyńska, H. Jouhara and N. Spencer, “Use of pyrolytic gas from waste tire as a fuel: a review,” *Energy*, vol. 134, pp. 1121-1131, 2017.
- [19] R. Smelík, S. Vilamová, K. Chuchrová, R. Kozel, A. Király, A. Levit and J. Gajda, “Complex processing of rubber waste through energy recovery,” *Acta Montanistica Slovaca*, vol. 20, pp. 290-297, 2015.
- [20] T. Geçkil, “Siyah karbonubn bitümlü sıcak karışımların özelliklerine etkisinin araştırılması,” Doktora tezi, İnşaat mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2008.
- [21] P. Cong, P. Xu and S. Chen, “Effects of carbon black on the anti aging, rheological and conductive properties of SBS/asphalt/carbon black composites,” *Construction and Building Materials*, vol.52, no. 15, pp. 306-313, 2014.
- [22] R. Casado-Barrasa, P. Lastra-Gonzalez, I. Indacochea-Vega and D. Castro-Fresno, “Assessment of carbon black modified binder in a sustainable asphalt concrete mixture,” *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 363-370, 2019.
- [23] T. Alataş, M. Yılmaz, B. V. Kök, M. E. Çeloğlu, M. Akpolat, Ö. E. Yamaç ve E. Yalçın, “Öğütülmüş araç lastiğinin ve piroliz işleminden sonra oluşan karbon siyahının bitümlü bağlayıcıların reolojik özellikleri üzerindeki etkisi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 23, s. 1, ss. 311-328, 2018.
- [24] Z. Yao and C. L. Monismith, “Behavior of asphalt mixtures with carbon black reinforcement,” *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, vol. 32, 1987.
- [25] R.L. Terrel and S. Rimstrington, “Evaluation of wood lignin as a substitute or extender for asphalt,” Federal Highway Administration, United States, Report FHWA/RD-80/125, 1980.
- [26] P. Ahmedzade, T. Alataş ve T. Geçkil, “Asfalt betonunda siyah karbonun filler olarak kullanımı,” *İMO Teknik Dergi*, c. 297, ss. 4493-4507, 2008.
- [27] P. Ahmedzade, T. Alataş and T. Geçkil, “The effect of carbon black on the mechanical properties of asphalt mixtures,” *Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma*, vol. 25, no. 2, pp. 179-189, 2007.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilen Nb Takviyeli Mg Matrisli Kompozitlerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri

 Ali ERÇETİN^{a,*}

^aMakine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, TÜRKİYE
* Sorumlu yazarın e-posta adresi: aliercetin@bingol.edu.tr
DOI:10.29130/dubited.843535

Öz

Toz metalurjisi (T/M) yöntemi, kompozit malzemelerin üretiminde en iyi yöntemlerden birisidir. Ancak, magnezyum (Mg) tozlarının tutuşma riski sebebiyle Mg matrisli kompozitlerin bu yöntemle üretimi sınırlıdır. Bu çalışmada, Mg matrisli Nb partikül takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmiştir. Toz karışımlarının hazırlanması işleminden önce Mg tozlarının havayla temasını önlemek için parafin ile kaplama işlemi uygulanmıştır. Sinterleme işlemleri 630 °C sıcaklıkta, 50 MPa basınç altında ve 90 dk süreyle gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) ve x-ışını kırınımı (XRD) analizleri ile, mekanik özellik incelemeleri ise sertlik testleri ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, %98'in üzerinde bağıl yoğunluk değerine sahip oldukça yoğun yapıda kompozitler elde edilmiştir. SEM görüntülerinde de gözenek oluşumuna rastlanmamıştır. XRD analizinde α -Mg, Mg₂Sn, MgZn ve Nb fazlarına ait pikler oluşmuştur. Nb partikül takviyesi ile mekanik özelliklerde artış sağlanmıştır (80,1 HV_(0,3)'den 101,3 HV_(0,3)sertlik değerine kadar).

Anahtar Kelimeler: Mg matris, Kompozit, Nb takviyesi, Mikroyapı, Mekanik özellikler

Microstructure and Mechanical Properties of Nb Reinforced Mg Matrix Composites Produced Through Hot Pressing Method

ABSTRACT

Powder metallurgy (P/M) method is one of the best methods in the production of composite materials. However, the production of Mg matrix composites by this method is limited due to the ignition risk of magnesium (Mg) powders. In this study, the production of Nb particle reinforced Mg matrix composites was carried out by hot pressing method. Before the powder mixing preparations, a coating process with paraffin was applied to prevent the Mg powders from contacting with air. Sintering processes were carried out at 630 °C under 50 MPa pressure and for 90 minutes. Microstructure investigations were carried out by scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) and x-ray diffraction (XRD) analyzes, and mechanical property examinations were performed by hardness tests. According to the results obtained, highly dense composites with relative density values over 98% were obtained. No pore formation was observed in SEM images. In XRD analysis, peaks of α -Mg, Mg₂Sn, MgZn and Nb phases were formed. Mechanical properties are increased with Nb particle reinforcement (from 80.1 HV_(0,3) to 101.3 HV_(0,3) hardness value).

Keywords: Mg matrix, Composite, Nb reinforcement, Microstructure, Mechanical properties

I. GİRİŞ

Otomotiv ve havacılık sektörleri başta olmak üzere mobil iletişim cihazları, bilgisayarlar, laptoplar, askeri iletişim ekipmanları gibi uygulamalarda, taşıma esnasındaki enerji sarfiyatını minimum seviyeye indirebilmek için, en hafif yapısal metal olan Mg ve alaşımlarının kullanımına yönelik çalışmalar son yıllarda hız kesmeden devam etmektedir [1-4]. Mg ve alaşımlarının düşük yoğunluk, iyi işlenebilirlik, geri dönüştürülebilirlik ve titreşim sönümleme kabiliyeti gibi diğer özellikleri de tercih edilme sebepleri arasındadır [5-7].

Mg alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştirmek için başta Al, Zn, Mn, Sn, Si olmak üzere farklı alaşım elementlerinin farklı oranlarda ilavesi gerçekleştirilmektedir [1,2,8-13]. Bu alaşımlar genellikle ikili veya üçlü alaşım sistemi olarak tasarlanmaktadır. İkili alaşım sistemlerinden bazıları AZ91, AZ31, AM60, AS21, ZK60, TZ54 magnezyum alaşımlarıdır [1,8,10,12,14,15]. Üçlü alaşım sistemlerine ise TAS831, TAZ811, TAZ1031, magnezyum alaşımları örnek olarak gösterilebilir [16-18]. Ancak, Mg alaşımlarının oda sıcaklığında hegzagonal sıkı paket kristal yapısında olması nedeniyle süneklik ve şekillendirilebilirlik özellikleri düşüktür [11,19-21]. Dolayısıyla, bu sıcaklıkta zorlamaya maruz kaldığında mikroyapıda çatlama meydana gelmesi muhtemeldir [22,23]. Mg alaşımına takviye elemanı ilavesiyle kompozit oluşturulması sayesinde çatlama ve plastik deformasyona karşı dayanımın iyileştirildiğine dair bilimsel çalışmalar gerçekleştirilmiş ve halen yeni Mg matrisli kompozitler üzerine çalışmalar devam etmektedir [24-27].

Mg alaşımlarına SiC [24], TiC [26], CNT [27], CNT/SiC [28] ve Al₂O₃ [29] ilavelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisine dair literatürde birçok çalışma olduğu görülmektedir. Mg alaşım matrisli kompozitlerin üretiminde genellikle karıştırmalı döküm ve basınçlı döküm yöntemlerinin kullanılmaktadır. Partikül takviyeli kompozitlerin üretiminde homojen bir karışım ve homojen bir mikroyapı elde edilmesinde toz metalürjisi yöntemi daha yüksek başarıya sahiptir [28,30-33]. Ancak geleneksel toz metalürjisi yöntemiyle üretimde de döküm yönteminde olduğu gibi imalat işlemi sonrasında numunelerde tam yoğunlaşma gerçekleşmemekte ve belirli bir sıcaklık üzerinde ekstrüzyon ilave prosesine ihtiyaç duyulmaktadır [10]. Ancak, Mg matrisli kompozitlerin üretimi toz metalürjisi yöntemlerinden sıcak presleme ile üretilirse, hem homojen mikroyapı oluşumu sağlanabilecek hem de presleme ve sinterleme eş zamanlı uygulandığı için yüksek bağıl yoğunluklu kompozitler elde edilebilecektir [12,34]. Üretim esnasında Mg alaşım matrisli kompozitlerin oksidasyona maruz kalmaması için Mg tozlarına karışım öncesi koruyucu bir kaplama tekniği uygulanması başarıyı arttıracaktır [10,34].

Literatür çalışmaları incelendiğinde, Mg alaşımı matrisine Nb takviyesi ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. Nb takviyeli Mg matrisli kompozitler üzerine yeni bulguların literatüre kazandırılması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, Mg alaşımı matrisine mikron boyutlarında Nb partikül takviyesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Mekanik özelliklere etkisi açısından optimum ilave oranları belirlenen Sn ve Zn alaşım elementleri sabit oranlarda karışımda yer edinmiştir. Matris alaşımı için karışımlarda ağırlıkça %5 Sn ve %4 Zn kullanılmıştır. Nb içerisinde ağırlıkça %7,4 oranına kadar Al alaşım elementi çözünebilmektedir [35]. Bu nedenle, içeriğinde Al içermeyen Mg-Sn-Zn alaşımı matris olarak seçilmiştir. Sıcak presleme yöntemiyle üretilen Nb takviyeli numunelerin mikroyapı incelemeleri ve sertlik testleri gerçekleştirilmiştir.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. KİMYASAL BİLEŞİMLER

Çalışmada Mg, Zn, Sn, Nb tozları kullanılarak TZ54 alaşımı matrisli, farklı oranlarda Nb takviyeli kompozitler üretilmiştir. TZ54 matris alaşımına ait kimyasal bileşenler Tablo 1'de, Nb takviyeli kompozitlere ait kimyasal bileşenler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. TZ54 alaşımı matrisine ait ağırlıkça % kimyasal bileşenler

Matris Kodu	<45 µm partikül boyutu; %99,8 saflık	<10 µm partikül boyutu; %99,9 saflık	<10 µm partikül boyutu; %99,9 saflık
	Mg (%)	Sn (%)	Zn (%)
TZ54	91	5	4

Tablo 2. TZ54-xNb kompozit numunelerine ait ağırlıkça % kimyasal bileşenler

Kompozit Kodu	<5 µmpartikül boyutu; %99,8 saflık	
	TZ54 (%)	Nb (%)
TZ54 + %3 Nb	97	3
TZ54 + %6 Nb	94	6
TZ54 + %9 Nb	91	9
TZ54 + %12 Nb	88	12

B. KARIŞIMLARIN HAZIRLANMASI

Çalışmada, yukarıdabelirtilen oranlarda tozlar karıştırılmadan önce Mg tozlarına parafin kaplama tekniği uygulanmıştır [10]. Mg tozları 500 gr'lık vakumlu paket içerisinde temin edilmiş ve parafin kaplama işleminde tamamı kullanılmıştır. Paketin eldivenli kabin (glove box) içerisinde açılmasından önce, kabin yüksek saflıkta argon gazı ile doldurulmuş, daha sonra vakuma alınmıştır. Eldivenli kabinde paketin açılmasıyla Mg tozlarının tamamı, içerisinde 250 mL hekzan bulunan 1000 mL'lik behere boşaltılmıştır. Paketin dolu ve boş ağırlıkları farkı alınarak, Mg tozlarının net ağırlığı tespit edilmiştir. Mg tozunun hacmi, ağırlık/yoğunluk oranına göre hesaplanmış ve hacimce %20 oranında olacak şekilde %99,9 saflığa sahip parafin cam beher içerisine ilave edilmiştir. Hekzanın parafini çözmesi için beher içerisindeki karışım hassas bir ısıtıcıda 70 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Tozların topaklanmadan homojen karışımı için beher içerisindeki karışıma, pervaneli bir karıştırıcı daldırılmıştır. Karışım 180 dev/dk hızında 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Hekzan karışım içerisinden tamamen buharlaştırılarak Mg tozlarının parafin ile kaplanması sağlanmıştır. Matris alaşımı ve kompozisyon bileşenlerine ait karışımların tartımı ve hazırlanması işleminde hacimce parafin oranı hesaplamalarda dikkate alınmış ve aynı karıştırma teknikleri uygulanmıştır. Tozların ve karışımların tartım işlemlerinde 10⁻⁴grhassasiyetine sahip Precisia marka hassas terazi kullanılmıştır.

C. KOMPOZİT NUMUNELERİN ÜRETİMİ VE METALOGRAFİK HAZIRLIKLAR

Hazırlanan karışımlar grafit kalıplar içerisine yerleştirilerek sıcaklık ve basıncın eş zamanlı uygulandığı sıcak pres cihazına yerleştirilmiştir. Sinterleme işlemi 630 °C sıcaklıkta 50 MPa basınç altında ve argon gaz atmosferinde 90 dk süreyle gerçekleştirilmiştir. Farklı Nb partikül takviyesi içeren numuneler 30x10x3 mm boyutlarında üretilmiştir. Sinterlenen numuneler sırasıyla 240, 400, 600, 800, 1000, 1200 ve 1500 numaralı zımpara kâğıtlarıyla zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Son zımparalama işleminden sonra 1 mikronluk elmas süspansiyon kullanılarak numuneler parlatılmıştır. Dağlama işleminde hacimce %95 etil alkol ve %5 nitrik asit kullanılmıştır. Dağlama işlemi sonrasında numuneler saf su ve etil alkol ile temizlenmiş ve kurulanmıştır.

D. UYGULANAN ANALİZLER VE TESTLER

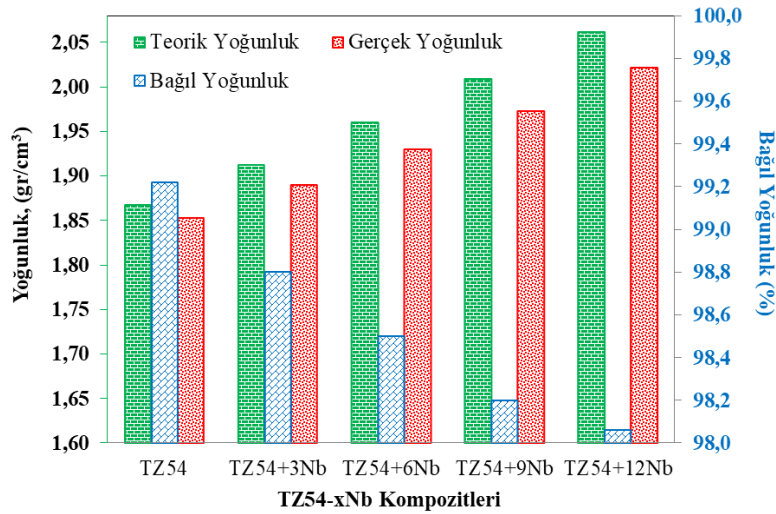
Numunelerin yüzey mikroyapı incelemelerinde taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) analizleri, mikroyapıda oluşan fazların tayininde x-ışını kırınımı (XRD) analizi uygulanmıştır. Numunelerin bağıl yoğunlukları, ölçülen/teorik yoğunluk oranına göre belirlenmiştir. Ölçülen yoğunluk değerleri Arşimed prensibine göre tespit edilmiştir [34].

Sertlik ölçümleri Labtt marka mikro Vickers sertlik cihazında 300 gr yük 10 sn süre uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numunenin 7 farklı bölgesinden alınan sertlik değerlerinin ortalaması ilgili numunenin sertlik değeri olarak kabul edilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. YOĞUNLUK VE BAĞIL YOĞUNLUK VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Farklı oranlarda Nb partikül takviyesi içeren TZ54 alaşımı matrisli kompozitlere ait teorik ve ölçülen yoğunluk ile % bağıl yoğunluk sonuçları Şekil 1’de verilmektedir. Ölçülen yoğunluk değerleri, teorik yoğunluk değerlerine oldukça yakındır. Artan Nb partikül takviyesi ile birlikte her iki yoğunluk sonucu da artış göstermektedir. Nb takviyesindeki artışla, % bağıl yoğunluk değerlerinin azaldığını söylemek mümkündür. Ancak, en düşük % bağıl yoğunluk değerinin dahi %98,06’nın üzerinde elde edilmesi, her bir numuneye ait sinterleme işlemlerinin başarıyla gerçekleştiğine işaret etmektedir. Matris alaşımı ve ağırlıkça %3, %6, %9 ve %12 Nb içeren numunelerin teorik yoğunlukları sırasıyla 1,867, 1,912, 1,959, 2,009 ve 2,061 gr/cm³ iken, ölçülen yoğunluk değerleri ise sırasıyla 1,853, 1,889, 1,930, 1,972 ve 2,021 gr/cm³ olarak tespit edilmiştir.

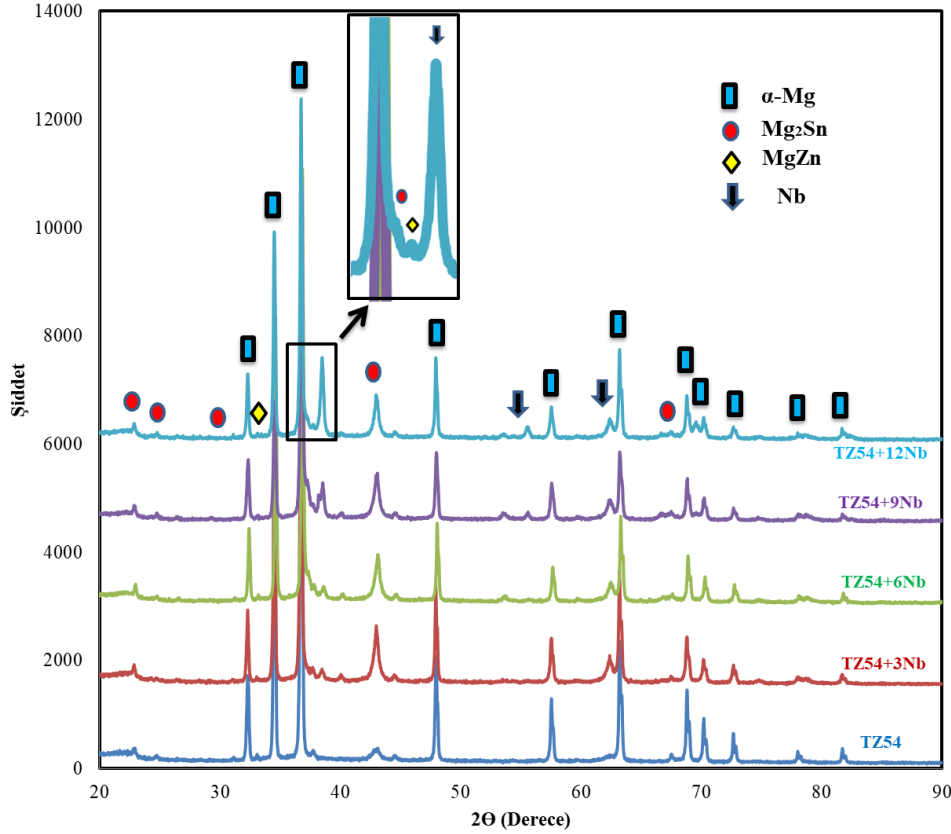


Şekil 1. Kompozit numunelere ait yoğunluk ve bağıl yoğunluk değerleri.

B. KOMPOZİT NUMUNELERİN XRD ANALİZLERİ

Şekil 2’deki grafik TZ54-xNb kompozit numunelerine ait XRD desenlerini göstermektedir. α -Mg birincil fazı ile Mg₂Sn ve MgZn intermetalik ikincil fazlarına ait pikler, tüm kompozit numunelerin XRD desenlerinde görülmektedir. Takviye olarak ilave edilen Nb, matris Mg veya ilave edilen alaşım elementlerinden Sn ve Zn ile beraber herhangi bir faz oluşturmadığından XRD desenlerinde Nb fazı olarak pik vermiştir. Bu faza ait pik sadece Nb partikül takviyesinin yapıldığı numunelerde elde edilmiştir. Artan Nb takviye oranına bağlı olarak XRD desenlerindeki Nb pik şiddetlerinin de arttığını söylemek mümkündür. Shanthi ve arkadaşları [36], Mg’ye farklı oranlarda Nb takviyesi yaptıklarında XRD analizinde sadece α -Mg ve Nb fazlarına ait pikler elde etmişlerdir. Bu çalışmadaki sonuçlara

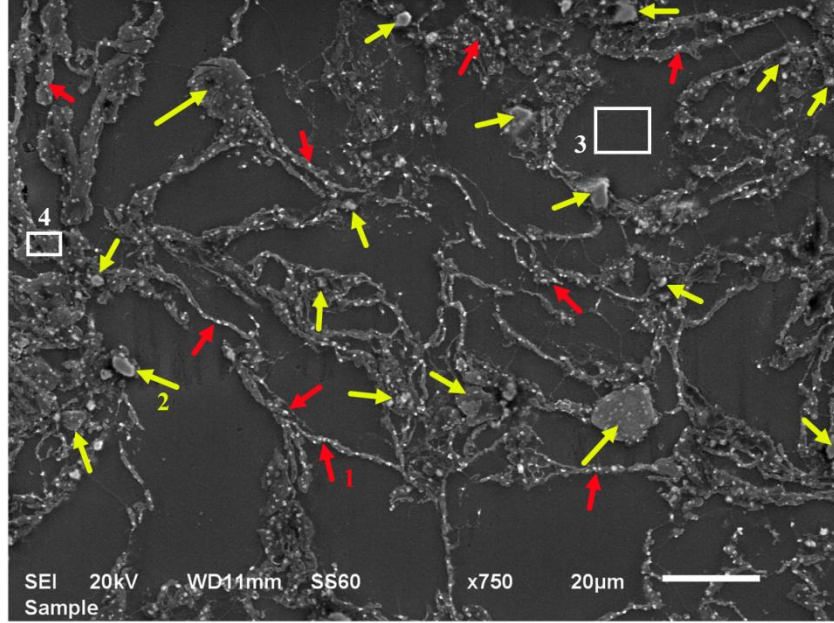
benzer bir şekilde artan Nb takviye oranına bağlı olarak Nb fazına ait pik şiddetlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Herhangi bir numuneye ait XRD deseninde oksit içerikli bir faz bulunmaması iki sonucu ortaya çıkarmaktadır. Birincisi, parafin kaplama tekniği ile tozların karıştırma işleminden sinterlenmesi aşamasına kadar havayla temasının önlenmiş olmasıdır. İkincisi ise, sinterleme esnasında numunelerin oksidasyona maruz bırakılmadan başarıyla üretilmesidir.



Şekil 2. TZ54-xNb kompozit numunelerine ait XRD desenleri

C. SEM/EDS ANALİZLERİ

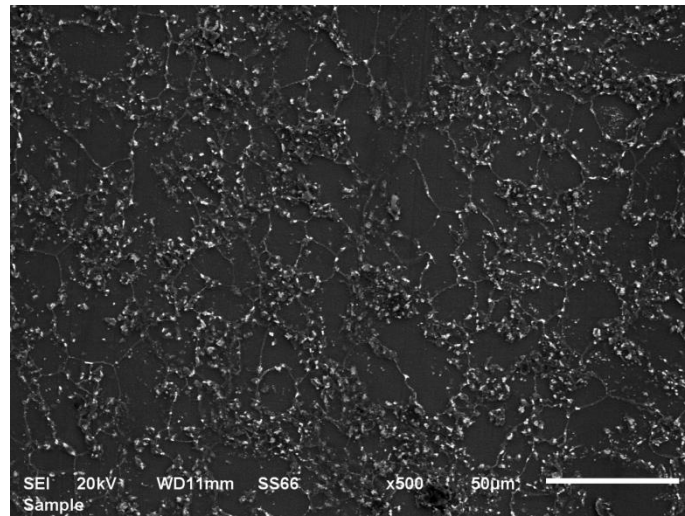
Şekil 3'te, %9 Nb takviyesi içeren kompozit numunesine ait SEM görüntüsü ve mikroyapıda farklı bölgelerden alınan noktasal ve alansal EDS sonuçları verilmektedir. EDS sonuçlarına göre işaretli yerler ile XRD analizinde tespit edilen fazlar oldukça benzerlik göstermektedir. Tane sınırı üzerindeki beyaz renkli ince ve küçük yapılar 1 nolu kırmızı oklar ile gösterilmiştir. 1 nolu yapıya ait noktasal EDS sonucuna göre Mg ve Sn içeriklerinin yüksek oranda olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu yapı XRD analizinde tespit edilen Mg_2Sn intermetalik fazına ait olduğu görülmektedir. 2 nolu sarı ok ile gösterilen yapıda Nb miktarı oldukça fazladır. Dolayısıyla, sarı ok ile gösterilen yapıların Nb takviye elemanına ait olması gerekmektedir. Nb fazına ait yapıların sadece tane sınırlarında olduğu ve diğer yapılara göre daha iri boyutlarda olduğu net bir şekilde görülmektedir. Matris üzerinden alınan 3 nolu EDS alan analizine göre, yüksek oranda Mg içeriği ile birlikte az miktarda da olsa Sn ve Zn içerikleri de tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni, oda sıcaklığında Sn ve Zn'nin Mg içerisinde düşük oranda da olsa çözünürlüklerinin olmasıdır. Benzer bir çalışmada [10], oda sıcaklığında Zn'nin Mg içerisinde %2 civarında çözünebildiği ve Sn'nin bu orandan daha az çözünebildiğinden bahsedilmiştir. Mg-Zn ve Mg-Sn ikili faz diyagramları incelendiğinde de aynı kanıya ulaşılabilecektir. Tane sınırı üzerinden alınan 4 nolu alansal EDS sonucuna göre, ilave edilen her bir element içeriği kayda değer oranda bulunmaktadır. Zn ve Sn içerikleri, tane içlerine kıyasla tane sınırlarında daha yüksek oranlarda tespit edilmiştir. Bu durum, numunelerin oda sıcaklığına kadar soğutulması esnasında, Zn ve Sn'nin tane içlerinden tahliye olurken tane sınırlarında Mg_2Sn ve MgZn intermetalik fazlarını oluşturmasıyla açıklanabilir.



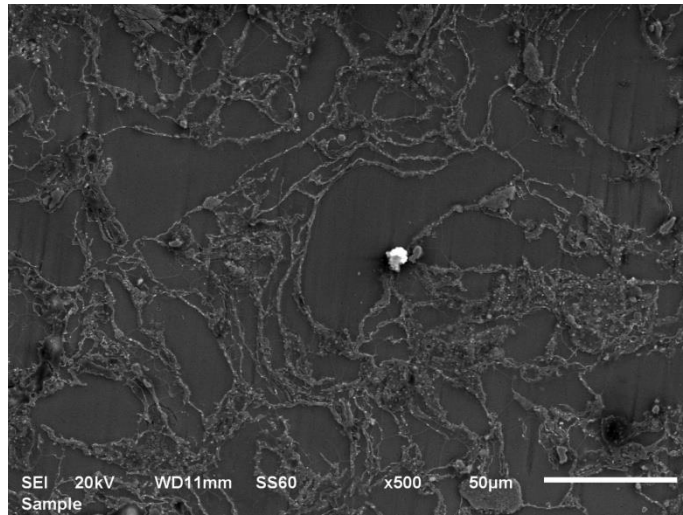
Nokta ve Alan Analizler	(%) Mg	(%) Sn	(%) Zn	(%) Nb
1	61,56	38,44	-	-
2	1,11	0,09	0,04	98,76
3	98,51	0,21	1,28	-
4	38,96	22,54	10,36	28,14

Şekil 3. %9 Nb takviyesi içeren kompozit numunesine ait SEM görüntüsü ve mikroyapıda farklı bölgelerden alınan noktasal ve alansal EDS sonuçları

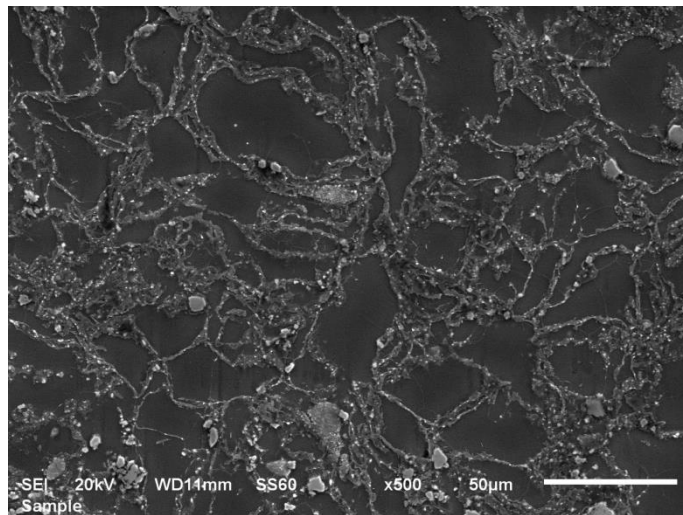
TZ54-xNb kompozit numunelerine ait SEM görüntüleri Şekil 4'te görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde ilk dikkat çeken durum, artan Nb takviyesiyle birlikte tane sınırlarında Nb fazına ait yapıların yoğunluğunun da arttığıdır. Bütün kompozit numunelere ait yüzeyden alınan mikroyapı görüntülerinde intermetalik ikincil fazlar tane sınırlarında homojen bir şekilde dağılmıştır. Takviye oranındaki artışla birlikte aynı zamanda mikroyapıdaki tane boyutlarında da küçülmeler söz konusudur. Bununla birlikte, mikroyapı görüntülerinin gözenek içermemesi Şekil 1'deki yoğunluk ölçüm sonuçlarını da destekler niteliktedir. Takviye elemanı ile matrisin temas sınırlarında da özellikle gözenek olmaması, takviye ile matris arasında iyi bir ıslanabilirlik sağlandığını da göstermektedir.



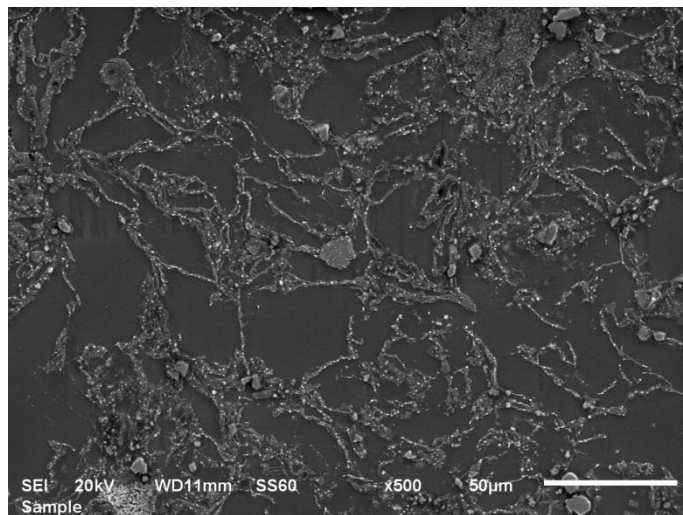
(a)



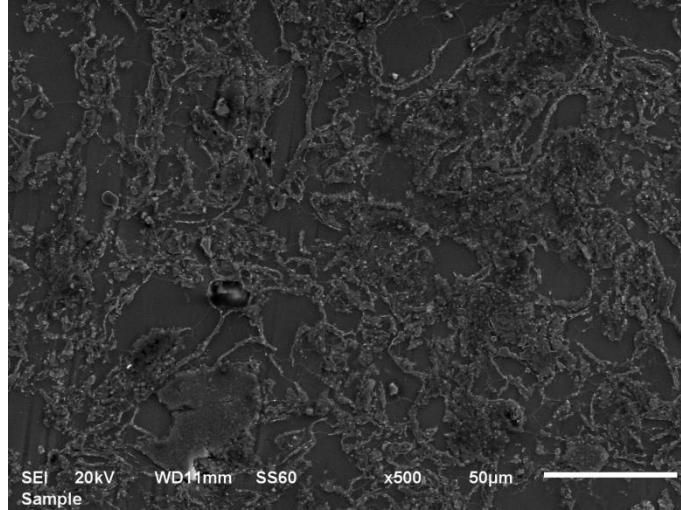
(b)



(c)



(d)

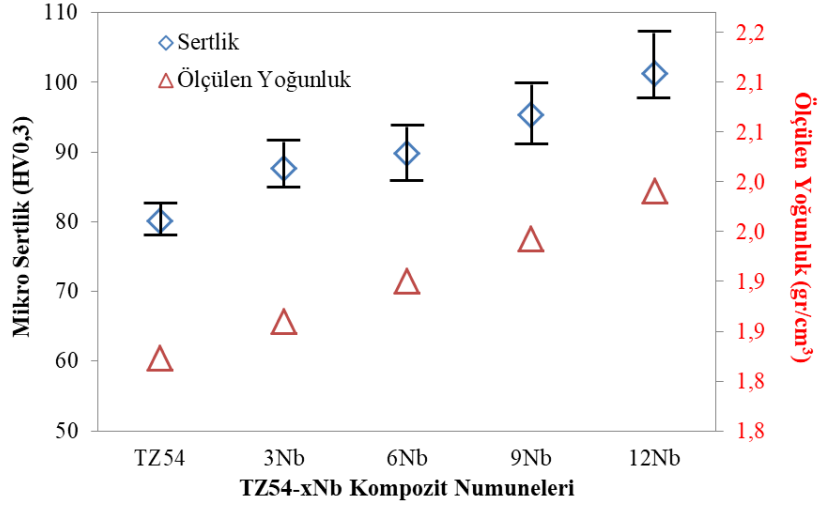


(e)

Şekil 4. TZ54-xNb kompozit numunelerine ait SEM görüntüleri; (a) TZ54 matrisi, (b) %3 Nb takviyeli, (c) %6 Nb takviyeli, (d) %9 Nb takviyeli, (e) %12 Nb takviyeli

D. SERTLİK SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Farklı oranlarda Nb partikül takviyesi içeren kompozit numunelere ait mikro sertlik ve ölçülen yoğunluk değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Matris alaşımı ve ağırlıkça %3, %6, %9 ve %12 Nb oranında takviye içeren kompozit numunelerin ortalama sertlik değerleri sırasıyla 80,1, 87,7, 89,8, 95,4 ve 101,3 HV(0,3) olarak elde edilmiştir. En düşük ortalama sertlik değeri, matris alaşımı olan TZ54 magnezyum alaşımından elde edilirken, en yüksek sertlik değeri ise, ağırlıkça %12 Nb takviyesi içeren kompozit numunesinden elde edilmiştir. Artan Nb ilavesinin sertlik özelliklerini geliştirdiğini söylemek mümkündür. Numunelerin sahip olduğu yoğunluk değerlerinin Nb takviye oranına bağlı olarak artışı, sertlik özelliklerini pozitif etkilediği de görülmektedir. Shanthi ve arkadaşlarının saf Mg'ye Nb ilavesi üzerine bir çalışmada [36], artan takviye oranı kompozit numunelerin sertlik özelliklerini genel olarak arttırmış ve en yüksek sertlik değeri Mg-%10Nb numunesinden 51HV olarak elde edilmiştir. AZ91 magnezyum alaşımına zirkonya (ZrO₂) ilavesinin yapıldığı bir başka çalışmada ise [37], ağırlıkça %3, %6, %9 ve %12 oranlarında zirkonya ilavesi yapılmış ve artan takviye oranına bağlı olarak sertlik değerleri sürekli artış göstermiştir. En yüksek sertlik değeri, ağırlıkça %12 zirkonya takviyesini içeren kompozit malzemesinden 67,8 HB olarak elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak 71HV değerine tekabül etmektedir. Şimdiki çalışmada üretilen TZ54-%12Nb kompozit numunesinin sertlik değeri, Mg-%10Nb kompozit numunesinden %98, AZ91-%12ZrO₂ kompozitinden yaklaşık %42 daha fazladır.



Şekil 5. TZ54-xNb kompozit numunelerine ait mikro sertlik ve ölçülen yoğunluk değerleri

IV. SONUÇLAR

Nb partikül takviyeli Mg matrisli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Ekstrüzyon gibi herhangi bir ilave parça yoğunlaştırma işlemine gerek duymadan, tek seferde oldukça düşük gözenek oranına ve yüksek bağlı yoğunluğa sahip kompozit parçalar, sıcak presleme yöntemi ile üretilebilmiştir. Bununla birlikte, sinterleme öncesinde Mg tozlarının parafin ile kaplanması bütün numunelerin üretiminde oksidasyon oluşumunu engellemiştir.

Numunelere ait mikroyapılarda, tane içlerinde α -Mg fazı, tane sınırlarında ise Mg₂Sn, MgZn ve Nb fazları XRD ve EDS analizlerinin karşılaştırmalı incelenmesi sonucu belirlenmiştir. Mikroyapıda varlığı tespit edilen fazlar homojen bir dağılım sergilemiştir.

Artan Nb partikül takviye oranıyla birlikte ölçülen yoğunluk değerlerinde artış gerçekleşirken, kompozit numunelerin sertlik özelliklerinde de ciddi oranda gelişme sağlanmıştır (80,1 HV_(0,3)'den 101,3 HV_(0,3) sertlik değerine kadar). En yüksek sertlik değeri (101,3 HV_(0,3)) %12 Nb içeren kompozit numunesinden elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR: XRD ve SEM analizlerinin gerçekleştirilmesinde verdikleri emeklerden dolayı Bingöl Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'na, Makine Mühendisliği Bölümü'ne sağladığı cihaz desteğinden dolayı Bingöl Üniversitesi'ne teşekkürlerimi sunarım.

V. KAYNAKLAR

- [1] B. Akyüz, "AZ21 ve AJ21 Magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve işlenebilirliği," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, s. 3, ss. 1019-1028, 2019.
- [2] B. Akyüz, "AZ91, AS91 ve AM90 Magnezyum alaşımlarının aşınma ve ısıl davranışları üzerine karşılaştırmalı bir çalışma," *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 1075-1083, 2020.

- [3] S. Jayasathyakawin, M. Ravichandran, N. Baskar, C. A. Chairman and R. Balasundaram, "Mechanical properties and applications of magnesium alloy-review," *Materials Today: Proceedings*, vol. 27, no. 2, pp. 909-913, 2020.
- [4] A. Javadi, S. Pan and X. Li, "Scalable manufacturing of ultra-strong magnesium nanocomposites," *Manufacturing Letters*, vol. 16, pp. 23-26, 2018.
- [5] Y. Ali, D. Qiu, B. Jiang, F. Pan and M. X. Zhang, "Current research progress in grain refinement of cast magnesium alloys: a review article," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 619, pp.639-651, 2015.
- [6] L.Wang, E. Mostaed, X. Cao, G. Huang, A. Fabrizi, F. Bonollo, C. Chi and M. Vedani, "Effects of texture and grain size on mechanical properties of AZ80 magnesium alloys at lower temperatures," *Materials & Design*, vol. 89, pp. 1-8,2016.
- [7] M. Paramsothy, J. Chan, R. Kwok and M. Gupta, "Addition of CNTs to enhance tensile/compressive response of magnesium alloy ZK60A," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 42, pp. 180-188, 2011.
- [8] Ş. Candan, S. Çim, S. Emir ve E. Candan, "AZ serisi Mg alaşımlarının korozyon davranışlarında B-Fazının rolü,"*Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 4, ss. 1139-1162, 2018.
- [9] Ö. Özgün, K. Aslantaş and A. Erçetin, "Powder metallurgy Mg-Sn alloys: production and characterization," *Scientia Iranica*, vol. 27, no. 3, pp. 1255-1265, 2020.
- [10] A. Erçetin, Ö. Özgün and K. Aslantaş, "Investigation of mechanical properties of Mg5Sn-xZn alloys produced through new method in powder metallurgy," *Journal of Testing and Evaluation*, vol. 49, no. 5, pp. 3506-3518, 2021.
- [11] A. Gökçe, "Toz metalurjisi yöntemiyle Mg-Sn alaşımı üretimi ve karakterizasyonu," *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 112-119, 2020.
- [12] T. Aydoğmuş, F. Kelen ve E. Aydemir, "Sıcak presleme yöntemi ile AZ91 Magnezyum alaşımının üretimi," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 9, s. 1, ss. 277-287, 2020.
- [13] L. Elen, Y. Türen ve E. Koç, "AZ91 Mg alaşımına farklı oranlarda Sbilavesi ile katılma hızının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi," *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, c. 11, s. 2, ss. 451-463, 2019.
- [14] T. Çetin, M. Akkaş ve M. Boz, "Gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen AM60 Magnezyum alaşım tozunun toz karakterizasyonu üzerine gaz basıncının etkisinin araştırılması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 35, s. 2, ss. 967-977, 2020.
- [15] A. H. Pahlevanpour, S. B. Behraves, S. Adibnazari and H. Jahed, "Characterization of anisotropic behaviour of ZK60 extrusion under stress-control condition and notes on fatigue modelling," *International Journal of Fatigue*, vol. 127, pp. 101-109, 2019.
- [16] D. H. Kang, S. S. Park and N. J. Kim, "Development of creep resistant die cast Mg-Sn-Al-Si alloy," *Materials Science and Engineering A*, vol.413-414, pp. 555-560, 2005.
- [17] S. S. Park and B. S. You, "Low-temperature superplasticity of extruded Mg-Sn-Al-Zn alloy," *Scripta Materialia*, vol.65, pp. 202-205, 2011.

- [18] F. R. Elsayed, T. T. Sasaki, T. Ohkubo, H. Takahashi, S. W. Xu, S. Kamado and K. Hono, "Effect of extrusion conditions on microstructure and mechanical properties of microalloyed Mg-Sn-Al-Zn alloys," *Materials Science and Engineering A*, vol. 588, pp. 318-328, 2013.
- [19] A. Gökçe, "Magnezyum ve alaşımlarının toz metalurjisi işlemleri," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 522-534, 2020.
- [20] W. J. Li, K. K. Deng, X. Zhang, K. B. Nie and F. J. Xu, "Effect of ultra-slow extrusion speed on the microstructure and mechanical properties of Mg-4Zn-0.5Ca alloy," *Materials Science and Engineering A*, vol. 677, pp. 367-375, 2016.
- [21] K. B. Nie, K. K. Deng, X. J. Wang, T. Wang and K. Wu, "Influence of SiCNanoparticlesaddition on the microstructural evolution and mechanical properties of AZ91 alloy during isothermal multidirectional forging," *Materials Characterization*, vol. 124, pp.14-24,2017.
- [22] S. Q. Zhu and S. P. Ringer, "On the role of twinning and stacking faults on the crystal plasticity and grain refinement in magnesium alloys," *Acta Materialia*, vol. 144, pp. 365-375, 2018.
- [23] K. K. Deng, J. Y. Shi, C. J. Wang, X. J. Wang, Y. W. Wu, K. B. Nie and K. Wu, "Microstructure and strengthening mechanism of bimodal size particle reinforced magnesium matrix composite," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 43, pp. 1280-1284, 2012.
- [24] X. J. Wang, X. S. Hu, K. Wu, L. Y. Wang and Y. D. Huang, "Evolutions of microstructure and mechanical properties for Sicp/AZ91 composites with different particle contents during extrusion," *Materials Science and Engineering A*, vol. 636, pp. 138-147, 2015.
- [25] K. K. Deng, X. J. Wang, M. Y. Zheng and K. Wu, "Dynamic recrystallization behavior during hot deformation and mechanical properties of 0.2 μ m SiCp reinforced Mg matrix composite," *Materials Science and Engineering A*, vol. 560, pp.824-830, 2013.
- [26] K. Nie, Y. Guo, K. Deng and X. Kang, "High strength TiC/Mg-Zn-Ca Magnesium matrix nanocomposites with improved formability at low temperature," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 792, pp. 267-278, 2019.
- [27] H. Li, X. Dai, L. Zhao, B. Li, H. Wang, C. Liang and J. Fan, "Microstructure and properties of carbon nanotubes-reinforced magnesium matrix composites fabricated via novel in situ synthesis process," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 785, pp. 146-155, 2019.
- [28] D. H. Cho, J. H. Nam, B. W. Lee, S. O. Yim and I. M. Park, "Thermal expansion properties of carbon nanotube/silicon carbide particle-reinforced magnesium composites fabricated by squeeze infiltration," *Metals and Materials International*, vol. 22, pp. 332-339, 2016.
- [29] M. Habibnejad-Korayem, R. Mahmudi and W. J. Poole, "Work hardening behavior of Mg-based nano-composites strengthened by Al₂O₃Nano-Particles," *Materials Science and Engineering A*, vol. 567, pp. 89-94,2013.
- [30] A. Erçetin, K. Aslantaş ve M. Perçin, "Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen tungsten-bakır kompozit malzemelerin mikro frezelenmesi: kompozisyon ve sinterleme sıcaklığının etkisi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 33, s. 4, ss. 1369-1382, 2018.
- [31] C. S. Goh, J. Wei, L. C. Lee and M. Gupta, "Development of novel carbon nanotube reinforced magnesium nanocomposites using the powder metallurgy technique," *Nanotechnology*, vol. 17, pp. 7-12, 2005.

- [32] C. D. Li, X. J. Wang, W. Q. Liu, H. L. Shi, C. Ding, X. S. Hu, M. Y. Zheng and K. Wu, "Effect of solidification on microstructures and mechanical properties of carbon nanotubes reinforced magnesium matrix composite," *Materials & Design*, vol. 58, pp. 204-208, 2014.
- [33] H. Mindivan, A. Efe, A. H. Kosatepe and E. S. Kayali, "Fabrication and characterization of carbon nanotube reinforced magnesium matrix composites," *Applied Surface Science*, vol. 318, pp. 234-243, 2014.
- [34] A. Ercetin, Ö. Özgün, K. Aslantas and G. Aykutoğlu, "The microstructure, degradation behaviour and cytotoxicity effect of Mg-Sn-Zn alloys in vitro tests," *SN Applied Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 173, 2020.
- [35] A. A. A. P. Silva, G. C. Coelho, C. A. Nunes, J. M. Fiorani, N. David and M. Vilasi, "Nb-Al binary system: reevaluation of the solubility limits of the (Nb), Nb₃Al, Nb₂Al and NbAl₃ Phases at high temperatures," *Materials Research*, vol. 22, no. 5, pp. 1-8, 2019.
- [36] M. Shanthi, P. Jayaramanavar, V. Vyas, D. V. S. Seenivasan and M. Gupta, "Effect of niobium particulate addition on the microstructure and mechanical properties of pure magnesium," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 513, pp. 202-207, 2012.
- [37] M. Pul, "Zirkonya katkılı AZ91 magnezyum alaşımının mekanik davranışlarının incelenmesi," *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 30-37, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Uçucu Külün Yapı Malzemelerinin Mukavemeti ve Bağlayıcılığına Etkisinin Araştırılması

 Meltem ÇUBUK^{a,*},  Metin GÜRÜ^b,  Deniz ARSLAN^c,  Onur ÖZDEMİR^d

^a Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ankara, TÜRKİYE

^b Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^c İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

^d Yatırım ve İnşaat Müdürlüğü, Kastamonu İl Özel İdaresi, Kastamonu, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: melcubuk@yahoo.com

DOI:10.29130/dubited.886150

ÖZ

Dünyada yaşanan iklim değişikliği nedeniyle enerji temini gibi hafif yapı malzemelerinin kullanımına yönelik araştırmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Tasarım uygulamalarının birçoğu iklimi de dolaylı olarak etkileyecek nitelikte olduğundan yapılan araştırmalar, fosil yakıtlara bağlı olmaksızın, düşük karbonlu bir geleceği teşvik etmeye yardımcı olacaktır. Yapı malzemelerinde aranan özellikler; ekonomiklik, dayanım, insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkisinin bulunmamasıdır. Türkiye’de kömür yakıtlı termik santrallerde 2017 yılında 63 milyon ton linyit elektrik üretimi amacıyla tüketilmiştir. Yakılan kömürlerden elde edilen uçucu küller, depolama alanlarında depolanmakta rüzgar, yer altı ve yer üstü suyu ile taşınarak çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, puzolan özellik gösteren, kireç oranı yüksek ve atık malzeme niteliğinde Yatağan Termik Santrali uçucu külü kullanılmıştır. Standart bağlayıcı malzemeler olarak bilinen çimento, kireç ve alçı yerine kullanılabilmesi düşünülen uçucu külün bağlayıcı özelliği ve malzemenin mukavemeti üzerine araştırma yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda üretilen 4x4x16 cm ebatlarındaki numunelere basınç ve eğilme deneyleri uygulanarak mekanik dayanımları belirlenmiştir. Deneyler sonucunda 4.4 nolu numunede en yüksek eğilme dayanımı 2,39 MPa, 3.1 nolu numunede en yüksek basınç dayanımı 10,03 MPa olarak bulunmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda puzolan özelliğe sahip uçucu küllerin bağlayıcı etkisi görülmüş ve dolgu malzemesi olarak mekanik dayanımda artış sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bağlayıcı malzemeler, Kil, Kireç, Uçucu kül

Investigation of the Effect of Fly Ash on the Strength and Binding of Building Materials

ABSTRACT

Due to the climate change experienced in the world, researches on the use of light building materials such as energy supply have gained speed in recent years. Since many of the design applications will also indirectly affect the climate, researches will help promote a low carbon future, regardless of fossil fuels. Properties required in building materials; economy, strength, human health and environment has no negative impact. Coal-fired thermal power plants in 2017 was 63 million tons of lignite consumed for the purpose of electricity generation in Turkey. The fly ashes obtained from the burned coals are stored in storage areas, and they are carried by wind, underground and groundwater, adversely affecting the environment and human health. In this study, Yatağan Thermal Power Plant waste fly ash, which has puzolan feature, high lime ratio, is used. Research was conducted

on strength of material and the binding properties of fly ash, which is thought to can be used instead of cement, lime and plaster, known as Standard binding materials. Mechanical strengths were determined by applying pressure and bending tests to samples of certain sizes produced in experimental studies. As a result of the experiments, the highest bending strength was determined 2.39 MPa in sample 4.4, the highest compressive strength was determined 10.03 MPa in sample 3.1. As a result of the studies, the binding effect of the pozzolan fly ashes was observed and it was determined that the mechanical strength was increased by as filling material.

Keywords: Binder materials, Clay, Lime, Fly ash

I. GİRİŞ

Giderek büyüyen inşaat sektörü, teknolojik gelişmeler ile birlikte daha emniyetli, ekonomik ve çevreye duyarlı mühendislik malzemelerinin hayat bulduğu bir sektör olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünyada bir sorun halinde bulunan katı atık problemi ve bu atıkların değerlendirilmesi konusunda inşaat sektöründe de çalışmalar hız kazanmıştır. Yapılan geniş çaplı bir araştırma ile uçucu küllerin inşaat sektöründe çok büyük kullanım potansiyelinin bulunduğu, özellikle çimento, beton ve yapı malzemelerinin üretiminde daha yaygın olduğu, Türkiye’de ve dünyada bu atığın değerlendirilmesi ile ülke ekonomisine katkı sağlanabileceğinin yanı sıra hem doğal hammadde ile ekolojik dengenin korunması hem de çevre kirliliğinin önlenmesinin mümkün görüldüğü belirlenmiştir [1].

Çiçek ve Çinçin [2] tarafından yapılan çalışmada, termik santral bacalarında tutulan uçucu küllerin, çimento ve hidrolik bağlayıcılarla birlikte performans artırıcı olarak uygulanabileceği, uçucu kül ve kireç karışımlarının buharla sertleştirilmesiyle hazırlanan silindirik tuğla numunelerine yapılan testler sonucu uçucu kül/kireç tuğlalarının betona alternatif bir ürün olabileceği düşünülmüştür. Puzolonik özellik taşıyan maddelerin yapı sektöründe kullanılmasına ve geçirimsizlik özelliklerine etkisini araştıran Şadoğlu ve Çalık [3], zengin silis ve alümin içeriğine sahip olan kilin amorf yapıda değil de kristalli yapıda olmasından ötürü puzolonik aktiviteye sahip olmadığı, perlit gibi doğal puzolanların ise silikat (SiO_2) ve alüminat (Al_2O_3) esaslı olmalarına rağmen yetersiz CaO içeriği nedeniyle büyük çoğunluğunun kendi başlarına bağlayıcılık özelliğine sahip olmadığı, bu nedenle uygun su içeriğinde ve normal ortam sıcaklığında kireç ve çimento gibi yüksek CaO içeren materyallerle bu eksikliğin giderilebileceğini belirtmiş, kireç ve perlit ilavesiyle yüksek plastisiteli kil zeminin geçirimsizlik katsayısının artan perlit oranıyla orantılı şekilde azaltmışlardır. Uçucu küllerin bağlayıcılık özelliğinin iyi olmasından ötürü deniz dibi tarama malzemesi-uçucu kül- atık döküm kumu ile yapay hafif agrega üretimi çalışan Erdoğan ve Başar [4], bu maddelerin hammadde olarak kullanımı/geri kazanımı ile tüm agrega serilerinde, sinterleme sıcaklığı artışı ile yapay hafif agregaların mekanik, mikroyapısal ve mineralojik özelliklerinde iyileşme olduğunu belirlemiştir.

Uçucu kül, düşük kalorili kömürlerin toz haline getirilerek yakılması sonucu bacadan çıkan gazla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Çok hafif olan bu uçucu küller, bacanın üst kısmında elektrofiltre veya siklon adı verilen toz tutucuların alt kısmında bunkerlerde biriktirilir ve periyodik olarak santral dışına alınırlar. Baca gazları ile sürüklenen ve hava ile temas ederek ani soğuma ile puzolan özellik kazanan uçucu kül tanecikleri genellikle küresel yapıda olup büyüklükleri 1-200 μm arasında değişmekte olup aglomere şeklinde yapıya sahiptir [5]. Nordin vd. [6] uçucu külün puzolonik özellikleri nedeniyle portland çimento betonu üretiminde ek malzeme olarak kullanılabilmesini ve uçucu külün fiziksel, mineralojik ve kimyasal özelliklerinin uçucu külün performansını büyük ölçüde etkilediğini, yüksek incelik ile düşük karbon içeriğinin bir portland çimento betonuna kıyasla daha düşük su ihtiyacını gerektirdiğini belirlemiştir. Kerpiç malzemesi yapım tekniği ve özelliklerinin iyileştirilebilmesi için yapılan araştırmaların incelendiği çalışmada uçucu küllü kerpiçlerin basınç dayanımlarının çimentolu ve samanlı kerpiçlere göre daha iyi olduğu belirtilmiştir [7]. Atık malzemelerin tuğlalarda kullanılarak kil malzemesi tüketimini ve karbon ayak izini azaltılabilmek için yapılan çalışmada uçucu kül ve toprak malzeme kullanılarak üretilen kil tuğla numunelerinin basınç dayanımının, uçucu kül içermeyen kil tuğlalara kıyasla daha düşük olduğu ve %20'ye kadar uçucu kül içeren tuğlaların basınç dayanımının, mevzuat gereklerini karşıladığı, uçucu

kül içeren kil tuğlaların ekonomik çözüme götüren daha sürdürülebilir tuğlaların üretilmesinde yardımcı olabileceği sonucuna varılmıştır [8].

Bu çalışmada, atık statüsünde bulunan puzolan özellikte uçucu külün mukavemete ve bağlayıcılığa etkisinin araştırılması, standart bağlayıcı malzeme olarak bilinen ve Türkiye inşaat sektöründe en büyük üretim ve kullanım alanına sahip çimentonun ve hammaddelerinin su ile girdikleri reaksiyonlar sonucu çıkardıkları CO₂ gazı ve buna bağlı sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik ülkemizin de imzaladığı Kyoto Protokolü'ne istinaden yeni malzemelerin bulunması üzerine çalışılmıştır.

II. MALZEME VE YÖNTEM

A. KULLANILAN MALZEMELER

Deneyisel çalışmalarda, doğada bulunuşu ve temini kolay malzemeler olarak bilinen kireç, kil ve atık materyal olarak uçucu kül kullanılmıştır. Bu malzemelerden oluşturulan belirli oranlarda ki karışımlar standart 4 x 4 x 16 cm ebatlarındaki kalıplara dökülerek numuneler elde edilmiş, otoklav ortamındaki buhar kürelerinin ardından mekanik deneylere tabi tutularak dayanımları test edilmiştir. Bir malzemenin dayanımı (strength), çok büyük şekil değiştirmeden taşıyabileceği kuvveti ifade etmektedir. Üretilen numunelere, mekanik deneyler olarak basınç dayanımı (compressive strength) ve eğilme dayanımı (bending strength) deneyleri yapılmış ve üretilen malzemelerin mukavemeti belirlenmiştir. Uçucu külün bağlayıcılığının tespiti ve bağlayıcılığa etkisi ile geri dönüşümü sağlanarak kullanılabilirliği ve çevreye verdiği zararın en aza indirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan uçucu kül Yatağan Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Bu külün çalışmalarımızda kullanılmak üzere seçilmesinin nedeni; TS EN 197-1 [9], ASTM C 618 [10] ve TS EN 450-1 [11] standartlarında istenilen kimyasal bileşen sınırlarına uygunluğudur. Yatağan uçucu külü reaktif kireç miktarının %10'a yakın olması TS EN 197-1'e göre W (kalkersi) sınıfında, ASTM C 618 standardına göre SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ değerinin %70'in üzerinde olması F sınıfı (silissi) ve CaO miktarının %10'u geçmesi kireçsi kül sınıfında olduğunu göstermektedir. Buna göre, Yatağan Uçucu Külü ASTM C 618 [10] ve TS 450-1 [11]'deki SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃>70 koşulunu sağlamaktadır. Yatağan Termik Santrali uçucu külünün mineralojik bileşimi camsı faz karışımından oluşmaktadır. Başlıca kristal fazlar; kuvars, anortit, sanidin, albit olmak üzere diğer fazlar anhidrit, serbest kireç, dolomit ve hematitdir. Yatağan uçucu külünde camsı fazın, 27° 20' da en çok duruma gelmesi ve içine 31-32° 20 değerini de alacak şekilde yayılması, camsı fazın hem kireçsi hem silissi yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, bu küldeki camsı faz kalsiyum alüminosilikat bileşimli yapıya sahiptir. Yatağan uçucu külü, homojen olmayan tane büyüklük dağılımına sahiptir. Büyüklükleri 0,5-30 µm arasında değişen ve çoğunluğu düzensiz şekilli, köşeli olan taneciklerden oluşmaktadır. 3µm ve altındaki büyüklüklerde tam küresel tanecikler de bulunmaktadır. Yapı içinde masif kütle halinde anortit, sanidin (K-feldspat), albit olduğu, anortit mineralinin kütle halinde olması, kömürün yanması sırasında bozunmadan uçucu küle katılmasından ileri geldiği bilinmektedir [12].

Kullanılan kireç, Afyon Kireç Fabrikası'nda temin edilmiş olup beyaz renkli, sönmüş kireç olup yoğunluğu 1,2±0,01 kg/dm³'dir. Deneylerde kullanılan kil, Afyonkarahisar Şuhut ilçesi Ağzıkara Göleti inşaatından temin edilmiş olup yoğunluğu 2,58±0,1kg/dm³, Yatağan Termik Santralinden temin edilen uçucu külün yoğunluğu 2.12 g/cm³'dür. Çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan malzemelerin kimyasal analiz sonuçları

Oksit (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S+A+F	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK	Cl
UK	51,50	23,08	6,07	80,65	10,53	2,42	1,32	2,54	0,77	1,06	0,0028
Kil	40-45	35-45	1-5	-	1-5	1-5	-	-	-	-	-
Kireç	1,03	-	-	-	68,92	3,29	1,37	0,05	0,09	25,25	-

B. YÖNTEM

B. 1. Karışım Hesaplarının Yapılması

Karışım hesapları, çalışmanın başlangıcında deneme yanılma metodu kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Değişkenler olarak uçucu kül ve kil alınarak değişik oranlarda seriler elde edilmiştir. Bunun için öncelikli denenecek karışım hesapları ve seriler Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan malzemelerin karışım oranları

Seri No	Uçucu Kül (%)	Kil (%)	Kireç (%)	Numune Adeti (4x4x16 cm)	Su (gr)
1.1	50	50	0	3	170
1.2	47,5	47,5	5	3	157
1.3	45	45	10	3	151
1.4	42,5	42,5	15	3	145
1.5	40	40	20	3	135
1.6	37,5	37,5	25	3	121
1.7	35	35	30	3	146
2.1	60	40	0	3	161
2.2	57	38	5	3	166
2.3	54	36	10	3	162
2.4	51	34	15	3	151
2.5	48	32	20	3	137
2.6	45	30	25	3	89
2.7	42	28	30	3	75
3.1	70	30	0	3	156
3.2	66,5	28,5	5	3	148
3.3	63	27	10	3	141
3.4	59,5	25,5	15	3	127
3.5	56	24	20	3	112
3.6	52,5	22,5	25	3	78
3.7	49	21	30	3	81
4.1	80	20	0	3	155
4.2	76	19	5	3	145
4.3	72	18	10	3	154
4.4	68	17	15	3	120
4.5	64	16	20	3	114
4.6	60	15	25	3	102
4.7	56	14	30	3	154

Bu oranlar denenerek hazırlanan numunelerin bir kısmında doğal kurutma (laboratuvar ortam şartları, sıcaklık: 21±2°C, bağıl nem: %44 ±10) esnasında 4-5 gün sonunda ve kür ortamları esnasında (1 saatlik buhar kürü sonrası 24 saat beklemede) çatlama, kırılma ve dağılma gibi şekil değişiklikleri gözlenmiştir. Oluşan bu olumsuzlukların kil oranı yüksek veya genellikle uçucu kül oranı %50’den düşük olan numunelerde meydana geldiği görülmüştür. Buna bağlı olarak çalışmaların

devamı %50'den büyük uçucu kül ilaveleri içeren numunelerde yapılmıştır. %50 uçucu kül-%50 kil oranından başlamak üzere, ön çalışmalardan elde edilen başlıca oranlar %60 uçucu kül-%40 kil, %70 uçucu kül-%30 kil, %80 uçucu kül-%20 kil üzerinde seri başları elde edilmiş olup bu ana seriler dahilinde uçucu kül ve kil oranları sabit tutularak kireç oranlarında ki %0 ila %30 arasındaki değişikliklerle oluşturulan yeni serilerle çalışmanın devamı sağlanmıştır. Deneysel testlere tabi tutulacak karışımlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel testlere tabi tutulan seriler.

Seri No	Ağırlıklar (gr)			
	Uçucu Kül	Kil	Kireç	Su
1.1	262,27	307,71	0,00	170
1.2	249,16	292,33	17,59	157
1.3	236,04	276,94	35,17	151
1.4	222,93	261,56	52,76	145
1.5	209,82	246,17	70,35	135
1.6	196,70	230,78	87,94	121
1.7	183,59	215,40	105,52	146
2.1	314,73	246,17	0,00	161
2.2	298,99	233,86	17,59	166
2.3	283,25	221,55	35,17	162
2.4	267,52	209,24	52,76	151
2.5	251,78	196,94	70,35	137
2.6	236,04	184,63	87,94	89
2.7	220,31	172,32	105,52	75
3.1	367,18	184,63	0,00	156
3.2	348,82	175,40	17,59	148
3.3	330,46	166,16	35,17	141
3.4	312,10	156,93	52,76	127
3.5	293,74	147,70	70,35	112
3.6	275,39	138,47	87,94	78
3.7	257,03	129,24	105,52	81
4.1	419,64	123,08	0,00	155
4.2	398,65	116,93	17,59	145
4.3	377,67	110,78	35,17	154
4.4	356,69	104,62	52,76	120
4.5	335,71	98,47	70,35	114
4.6	314,73	92,31	87,94	102
4.7	293,74	86,16	105,52	154

B. 2. Numune Üretimi

B.2.1. Karışım Hazırlama

Değişik serilere ait hamurlar oluşturulmadan önce temin edilen kil, öğütme değirmenlerinde 2 saatlik öğütülmeye tabi tutulmuş ve bünyesinde bulunan topaklaşma en az değerlere indirilmiştir. Öğütülme işleminden sonra kilin elek analizi yapılarak gereken tane boyutuna indirilmesi sağlanmış, içerisinde bulunan 1 mm üstü partiküllerin ayrışması sağlanmıştır. Öğütülen ve elek analizine tabi tutulan kil karışıma girmeden önce de etüvde kurutularak nem içeriğinin uçurulması sağlanmıştır. Uçucu kül ve

sönmüş kireç hiçbir ön işleme tabi tutulmadan direkt karışıma ilave edilmiş ve tüm bileşenler yoğurma suyu eklenmeden karıştırılmıştır. Karışımın eşit dağılımının ardından TS EN 196-3 [13] dikkate alınarak yoğurma suyu azar azar eklenmiş, plastik kıvamı kadar hamurlar tekrar elle yoğrulmuş, şekillendirme için hazır hale getirilmiştir. İnce daneli malzemede istenilen şeklin malzeme numunesinde herhangi bir kırılmaya neden olmadan verilebildiği kıvam plastik kıvam olarak ifade edilmektedir.

B.2.2. Yoğurma Suyu

Uçucu kül, kil ve sönmüş kireç karışımlarında homojenliğin sağlanması ve sert plastik kıvamda karışım elde edilecek şekilde yoğurma suyu ilavesi yapılmıştır. Yoğurma suyu olarak şebeke suyu-TSE 266 [14] kullanılmıştır. Numune bileşenleri homojen şekilde karıştırıldıktan sonra yoğurma suyu azar azar verilmiştir ve buna bağlı olarak 24 saatlik kuruma süresi ile numunenin işlenebilirliği göz önünde tutularak plastiklik kıvamı sağlanmıştır.

B.2.3. Şekillendirme

Hazırlanan hamurların şekillendirilmesi amacı ile 4x4x16 cm ebatlarında metal kalıplar yaptırılmış ve şekillendirmede kullanılmıştır. Hazırlanan karışım hamurlarının metal kalıplara dökülmesi el ile yapılmış olup porozitenin en aza indirilmesi için sıkıştırma işlemi şişleme ve plastik çekiç ile kalıp kenarlarına vurulması ile yapılmıştır. Kalıpların zarar görmemesi ve yoğunluğu düşük malzemelerin karışım üzerinde birikmemesi amacıyla titreşim veya vibrasyon işlemine tabi tutulmamıştır.



Şekil 1. Metal kalıplar.

B.2.4. Kür İşlemleri

Hamurlar halinde kalıplara dökülen numuneler, 24 saat sonunda kalıplardan alınarak ve 7 gün boyunca doğal kuruma (laboratuvar şartları ve rötre oluşumu kontrol edilerek) işlemine tabi tutulduktan sonra buhar kürü işlemleri için otoklava konulmuştur. Doygun buhar ortamında 98°C sıcaklık, atmosferik basınç, 1 saat süreli kür şartlarında otoklavda tutulan numunelere yaşlandırma yapılmıştır. Kür işlemleri biten numuneler, 1 gün otoklavdan çıkarılmayarak dayanım kazanmaları ve TS EN 12390-2 [15] standardına göre 28 günlük yaş dayanımlarına ulaşmaları sağlanmıştır. Buhar kürü işlemlerinde Hednif marka ve 0,13 MPa basınç üretebilen otoklav kullanılmıştır.

C. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Birim hacim ağırlık tayini; Üretilen malzemenin birim hacim ağırlığının bulunması amacıyla malzemenin yüzeyi parafin ile su geçirimsiz hale getirilmiştir. Arşiment'in suyun kaldırma kuvveti kanunu temel prensibine göre birim hacimdeki kütle miktarı (Dh) Eş. 1'e göre hesaplanmıştır (TS EN 196-3 [13]).

$$Dh = \frac{Mk \text{ (g/cm}^3\text{)}}{Vh} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de belirtilen;

Dh : Özgül ağırlık (g/cm³)

Mk : Kütle (gr)

Vh : Hacim (cm³)

Numunelerin eğilme dayanımları, TS EN 12390-5 [16] standardına uygun eğilme presi cihazında yapılmış ve Eş. 2 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$f_{cf} = \frac{(3xfx\ell)}{(2xd_1xd_2^2)} \quad (2)$$

Eşitlik 2'de belirtilen;

f_{cf} : Eğilmede çekme dayanımı (N/mm²)

f : Deney makinesinde kırılma anındaki en büyük yük (N)

ℓ : Yükleme tablası mesnet arasındaki (serbest) açıklık (mm)

d_1 : Kırılma kesitinin ortalama genişliği (mm)

d_2 : Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği (mm)

Basınç dayanım deneyi ise belirli yaştaki numunelerin birim alanının taşıyabileceği yük miktarının belirlenebilmesi ve aynı karışımla üretilen malzemenin gerçek uygulamadaki elemanın taşıyabileceği yük hakkında fikir edinebilmek için birçok yapı malzemeleri üzerinde gerçekleştirilen deneydir [17]. Numunelerin mekanik dayanımlarının tayini bu deney ile gerçekleştirilmiş olup, TS EN 12390-4 [18] standardına uygun basınç deney cihazında yapılmış ve Eş. 3'e göre hesaplanmıştır.

$$f_c = \frac{F}{Ac} \quad (3)$$

Eşitlik 3'de belirtilen;

f_c : Deney numunesi basınç dayanımı (N/mm²)

F : Numunenin kırılma yükü (N)

Ac : Uygulama yönüne dik deney numunesi kesit ortalama alanı (mm²)

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Üretilen 37 adet seriden ilk üretilen 9 numune çıkarılmış ve kalan diğer 28 seri üzerinde testler ve değerlendirmeler yapılmıştır. Üretilen ilk 9 adet serinin kil oranlarının yüksek olması, kolaylıkla kırılmaları ve deforme olmaları nedeniyle %50 uçucu kül ve üzeri seriler ile testlere devam edilmiştir.

Sadece 28 adet seriden oluşturulan 84 adet numuneye buhar kürü uygulanmış ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yapılan birim hacim ağırlık tayini sonucunda üretilen malzemenin ortalama yoğunluğu $3,167 \text{ g/cm}^3$ bulunmuştur. Üretilen numunelerde kireç miktarının dayanıma etkisi, uçucu kül miktarının dayanıma etkisi, basınç ve eğilme dayanımları arasındaki ilişkinin incelenmesi ve mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

A. KİREÇ MİKTARININ YAPI MALZEMESİNİN DAYANIMINA ETKİSİ

Karışım hesapları, çalışmanın başlangıcında deneme yanılma metodu kullanılarak yapılmaya çalışılmıştır. Deneme sonucu yapılan numunelerin bir kısmında doğal kurutma ve kür ortamları esnasında çatlama, kırılmalar ve numunelerin dağılması gibi şekil değişiklikleri gözlenmiştir. Bu oluşan olumsuzlukların kil oranı yüksek (%30'dan fazla) veya genellikle uçucu kül oranı %50'den düşük olan numunelerde meydana geldiği görülmüştür. Buna bağlı olarak kirecin yapı malzemelerine etkisini incelemek üzere uçucu kül/kil oranı kütlece 2,33 ve 4 alınarak bu grup deneylerde sabit tutulmuştur. Kür şartları ise doygun buhar ortamında 98°C sıcaklık, atmosferik basınç, 1 saat süre ve 28 günlük dayanımları olarak bu grup deneylerin tümünde sabit tutulmuş, kireç miktarı toplam malzemede kütlece yüzde olarak değiştirilmiştir. Değişen kireç miktarına bağlı olarak basınç dayanımının değişimi Şekil 2'de, eğilme deneyi sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Basınç dayanımının kireç miktarına bağlı olarak değişimi (28 gün yaşta).

Şekil 2'de görüldüğü gibi kireç miktarının basınç mukavemetine etkisi önemlidir. Uçucu kül/kil oranının 4 olduğu seride kireç miktarı %0 değerinden %15 değerine kadar üstel olarak arttırıldığında %15 kireç miktarında 10,01 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Daha yüksek kireç miktarlarında ise basınç dayanımı düşmektedir. Burada uçucu külün puzolanik etkisi ile beraber kirecin hidrolik bağlayıcılığı sebebiyle basınç dayanımını arttırdığı yorumlanabilir. Yapılan bir çalışmada ince boyutlu uçucu kül yüksek özgül yüzey alanı ile daha fazla kireç ile reaksiyona girme ve dolayısı ile yüksek puzolanik aktivite indeksinin elde edilmesini sağladığı, $45 \mu\text{m}$ 'dan ince taneli uçucu küllerin uzun dönemli kür süreleri sonunda dayanım değerlerinin yüksek olduğu, fakat erken dönemlerde düşük dayanımlar gösterdiği tespit edilmiştir [19].

Yüksek kireç miktarlarında ise kirecin zayıf dayanım özellikleri malzemenin özelliklerine yansımakta ve basınç dayanımlarını düşürdüğü değerlendirilmektedir. Bu deney setinde en çok dayanımı veren %15'lik kireç yüzdesi uygun değer olarak daha sonraki deney setinde sabit parametre olarak alınmıştır. Uçucu kül/kil oranının 2,33 olduğu seride kireç miktarı %0 değerinden %15 değerine kadar üstel olarak arttırıldığında %15 kireç miktarında 7,28 MPa en yüksek dayanım elde edilmiştir. Daha yüksek kireç miktarlarında basınç dayanımı düşmektedir. İki seri kıyaslandığında kireç oranı sabit uçucu kül ihtivasi yüksek malzeme daha yüksek basınç dayanımına ulaşmış kireç miktarının artması ile basınç dayanımları bir düşüş göstermiştir. Elde edilen sonuç, uçucu kül ve dip kül kullanılarak yapılan araştırma ile de desteklenmekte olup söz konusu araştırmada da; uçucu kül ve çimento karışımlarının geleneksel kil tuğlalara kıyasla daha iyi performans gösterdiği ve basınç dayanımının 7,13 MPa ile 17,36 MPa arasında değiştiği, geleneksel tuğlalara alternatif olarak kullanılabilceği ve dolayısıyla sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunabileceği sonucuna varılmıştır [20].

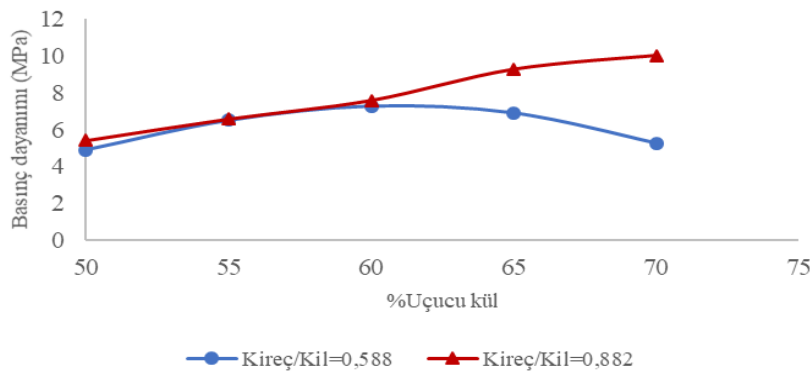


Şekil 3. Eğilme dayanımının kireç miktarına bağlı olarak değişimi (28 gün yaşta).

Şekil 3’de görüldüğü üzere uçucu kül/kil oranının 4 olduğu seride kireç miktarı %0 değerinden %15 değerine kadar üstel olarak artırıldığında %15 kireç miktarında 2,39 MPa eğilme dayanımı elde edilmiştir. Daha yüksek kireç miktarlarında ise eğilme dayanımı düşmüştür. Uçucu kül/kil oranının 2,33 olduğu seride ise kireç miktarı %0 değerinden %15 değerine kadar üstel olarak artırıldığında %15 kireç miktarında 2,0 MPa eğilme dayanımı elde edilmiştir. Yüksek kireç miktarlarında kirecin zayıf dayanım özelliği malzemenin özelliklerine yansımış ve basınç dayanımlarında olduğu gibi eğilme dayanımlarında da düşüş gözlenmiştir. Yapılan benzer bir çalışmada uçucu kül (%68), kireç (%12) ve kum (%20) karışımından elde edilen numunelerin basınç dayanımı incelenmiş, en yüksek basınç dayanımı 10,25 MPa olarak tespit edilmiştir [21].

B. UÇUCU KÜL MİKTARININ YAPI MALZEMESİNİN DAYANIMINA ETKİSİ

Uçucu külün yapı malzemelerine etkisini incelemek üzere kireç/kil oranının 0,882 ve 0,588 değerleri bütün deneylerde sabit tutularak aynı kür şartlarında prizlendirilmiştir. Kür şartları ise doymuş buhar ortamında 98°C sıcaklık, atmosferik basınçta 1 saat süre ve 28 günlük dayanımları olarak bu grup deneylerin tümünde sabit tutularak uçucu kül miktarı ilavesi değiştirilmiştir. Değişen uçucu kül miktarına bağlı olarak basınç dayanımının değişimi Şekil 4’de, eğilme dayanımının değişimi ise Şekil 5’de verilmiştir.

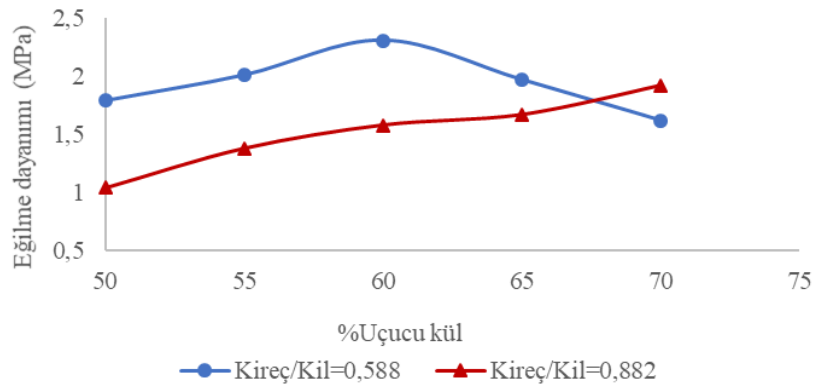


Şekil 4. Basınç dayanımının uçucu kül miktarına bağlı olarak değişimi (28 gün yaşta).

Şekil 4’de incelendiğinde kireç/kil oranının 0,882 olduğu seride basınç dayanımı uçucu kül miktarının %50 değerinden %70 değerine kadar üstel olarak artmış %70 uçucu kül miktarında 10,03 MPa en yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu deney setinde en çok dayanımı veren %70’lik uçucu kül yüzdesi uygun değer olarak daha sonraki deney setinde sabit parametre olarak alınmıştır. Şekil 4’de kireç/kil oranının 0,588 olduğu seride ise basınç dayanımı uçucu kül miktarı %50 değerinden %60 değerine kadar üstel olarak artmış, %60 uçucu kül miktarında 7,29 MPa en yüksek basınç dayanımı

elde edilmiştir. Daha yüksek uçucu kül miktarlarında ise kirecin dolgu maddesinin miktarının artışıyla kaynaklanan numunede dağılma eğilimi göstermesinden %70'den büyük deney sonuçları dikkate alınmamıştır. Burada sabit tutulan kireç/kil oranının bağlayıcılık açısından yetersiz kaldığı düşünülmektedir.

Betonda kum yerine uçucu kül kullanılan ve uçucu kül tane boyutunun kompozit malzemenin termal ve mekanik performansına etkisinin incelendiği çalışmada; uçucu külün ağırlık yüzdeleri %10, 30, 50, 70 ve 90 içeren çimento karışım numunelerinin test sonuçlarında kül katılma oranının arttıkça basınç dayanımı değerlerinin %1,25-9,4 oranında arttığı tespit edilmiştir [22]. Betonun basma dayanımı yükselirken çekme dayanımı azalmaktadır. Kireç/kil oranı yüksek olan numunelerde basınç dayanımının daha yüksek tespit edilmesi de çevre şartlarında oluşan dikalsiyum silikatın (C₂S) etkin rol oynamasından kaynaklanmaktadır. Betonda yüksek miktarda uçucu kül kullanımı ile yapılan çalışmada, ağırlıkça %60'ın üzerinde bağlayıcı yerine geçen uçucu kül içeren ultra yüksek hacimli (UHVFA) betonda malzemeyi yapısal olmayan veya yarı yapısal uygulamalarla sınırlayan erken bir aşamada genellikle düşük basınç dayanımı sergilediği, 360 günlük yaşa kadar mekanik özelliklerin kaydedildiği ve betonun basınç mukavemetinin en yüksek 40 MPa'dan 60 MPa'ya çıkabildiği tespit edilmiştir [23].



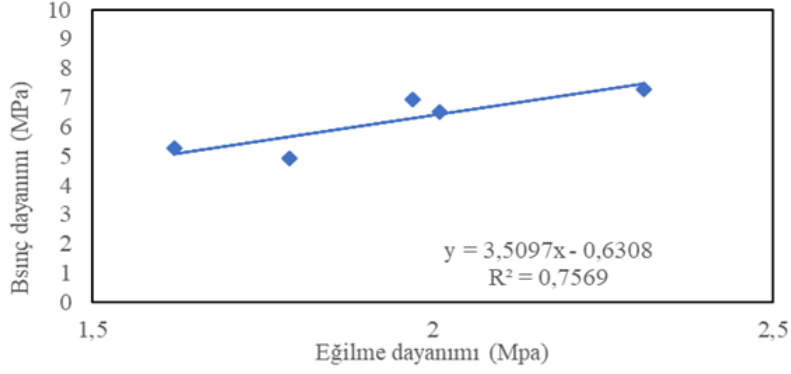
Şekil 5. Eğilme dayanımının uçucu kül miktarına bağlı olarak değişimi (28 gün yaşta).

Şekil 5 incelendiğinde kireç/kil oranının 0,588 olduğu seride uçucu kül miktarı %50 değerinden %60 değerine kadar üstel olarak artırıldığında %60 uçucu kül miktarında 2,31 MPa eğilme dayanımı elde edildiği görülmektedir. Kireç/kil oranının 0,882 olduğu seride ise uçucu kül miktarı %50 değerinden %70 değerine kadar üstel olarak artırıldığında %70 uçucu kül miktarında 1,92 MPa eğilme dayanımı elde edilmiştir. Daha yüksek uçucu kül miktarlarında ise basınç dayanımı testlerinde olduğu gibi kirecin dolgu maddesinin miktarının artışıyla kaynaklanan numunede dağılma eğilimi göstermesinden %70'den büyük deney sonuçları dikkate alınmamıştır.

Yapı malzemesinde kullanılan standart bağlayıcıların kullanım amacı hem yapı elemanını tek bir gövde gibi çalıştırmak hem de yapıda kullanılan yerlere göre basınç dayanımlarını karşılamaktır. Bu çalışmada, kullanılan uçucu külün bağlayıcı özelliği üzerine araştırmalar yapıldığı için yapı malzemesinin basınç dayanımları oldukça önem arz etmektedir. Alkali uçucu kül ile yapılan benzer bir çalışmada alkali kül malzemelerin altyapı sistemlerinde kullanımı, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve mikro yapısı incelenmiş, basınç dayanımı düşük (0,075 MPa), eğilme dayanımı ise daha yüksek (8,2 MPa) tespit edilmiş, basınç dayanımlarının yapı malzemeleri için önemli bir özellik olduğu ortaya konulmuştur [24]. Yapılan başka bir uygulamada mermer tozu ve uçucu külün kullanılması ile üretilen polimer matris kompozit malzemelerin eğilme deneyleri sonucunda en çok 3,2 MPa değere ulaşılmıştır [25].

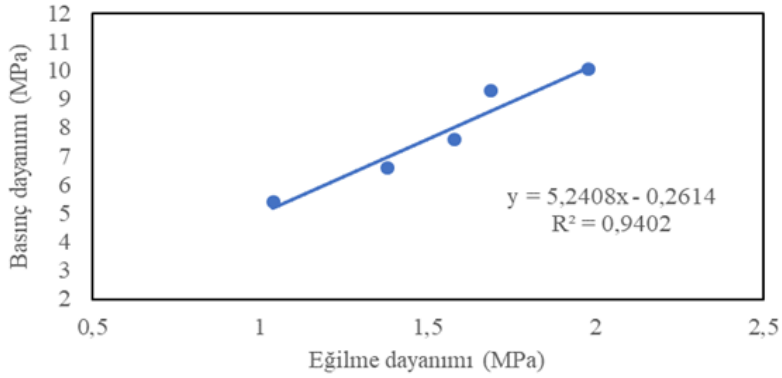
C. BASINÇ VE EĞİLME DAYANIMLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELEMESİ

Şekil 6'da görüldüğü üzere uçucu kül/kil oranı 2,33 (kireç/kil=0,588), 98°C, 1 atm basınç ve 28 günlük kür şartlarında eğilme dayanımı en yüksek çıkan malzeme için denklem bulunmuş ve regresyon katsayısı hesaplanmıştır. Buna göre elde edilen doğrusal fonksiyonda bulunan regresyon katsayısı $R^2=0,7569$ olup, bağıntının deneysel verileri oldukça iyi temsil ettiğini göstermiştir.



Şekil 6. Basınç dayanımının eğilme dayanımına göre değişimi, uçucu kül/kil:2,33 (28 gün yaşta).

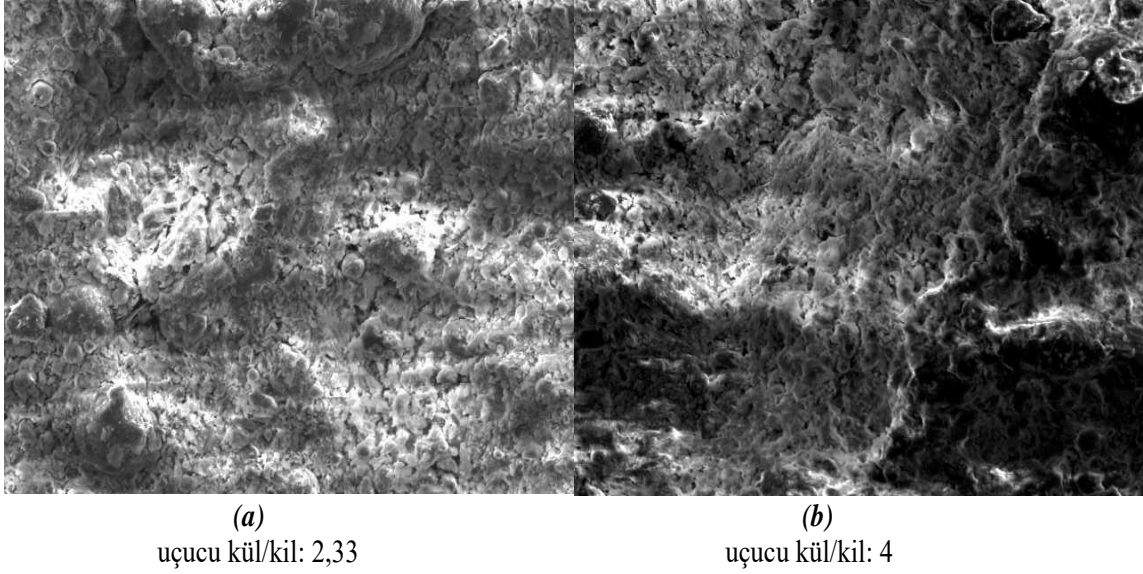
Benzer şekilde, uçucu kül/kil oranı 4 (kireç/kil=0,882), 98°C, 1 atm basınç ve 28 günlük kür şartlarında basınç dayanımı en yüksek çıkan malzeme için de denklem bulunmuş ve regresyon katsayısı hesaplanmıştır (Şekil 7). Buna göre elde edilen doğrusal fonksiyonda bulunan regresyon katsayısı $R^2=0,9402$ olup, bağıntının deneysel verileri çok daha iyi temsil ettiğini göstermiştir.



Şekil 7. Basınç dayanımının eğilme dayanımına göre değişimi; uçucu kül/kil:4 (28 gün yaşta).

D. MİKROYAPI İNCELEMESİ

Üretilen numunelerin mikroyapı incelemeleri; Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X ışınları kırılımı (XRD) cihazı ile yapılmıştır. Şekil 8'de basınç dayanımları ve eğilme dayanımları en yüksek sonuçları veren numunelerin taramalı elektron mikroskobu ile çekilmiş görüntüleri ve Şekil 9 ve 10'da basınç dayanımları ve eğilme dayanımları en yüksek sonuçları veren numunelerin X-ışınları kırılımı (XRD) difraktogramları verilmiştir.

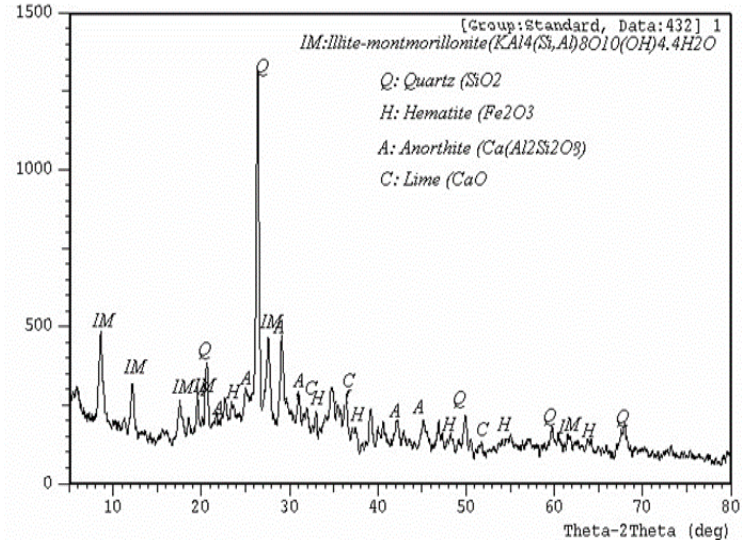


Şekil 8. Numunenin taramalı elektron mikroskobunda 500 kez büyütülmüş görüntüsü (28 gün yaşta).

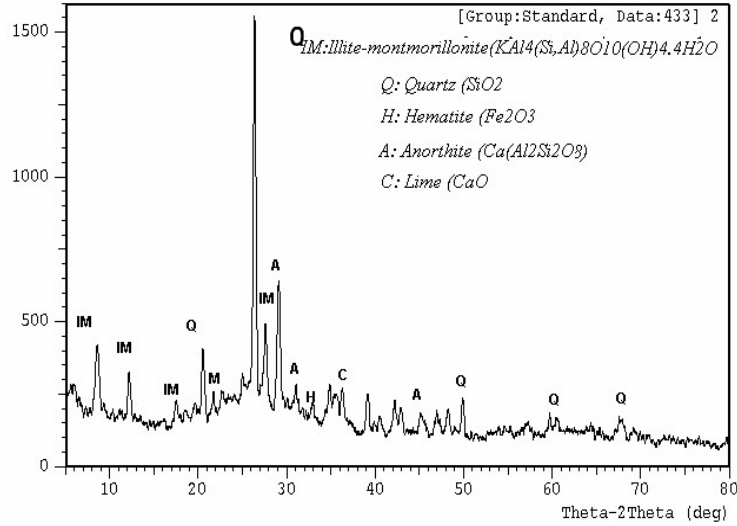
Şekil 8 (a)'da görülen taramalı elektron mikroskobu görüntüsü eğilme dayanımında en çok değeri veren numuneye aittir. Detaylı incelendiğinde uçucu kül taneciklerinin kil tanecikleri arasına homojen dağıldığı ve aderansı sağladığı görülmektedir. Puzolan özellikteki uçucu külün silikat ve alüminat esaslı olması ve dikalsiyum silikat oluşumuna sebebiyet vermesi daha kuvvetli yapı oluşturmaktadır. Yine yüzeyde porozitenin (b)'de ki kadar yoğun olmadığı da görülebilmektedir. Sadece uçucu külün bağlayıcı özelliği değil kirecin de en çok eğilme dayanımı vermesinde katkısı oldukça fazladır. Bağlayıcı özellik gösteren uçucu külün ve kirecin malzeme üretim aşamasında homojen olarak karıştırılması ve oranları elde edilen dayanımdaki etkin rollerden birisidir. Yüksek plastisiteli killi zeminlerin termik santral atığı uçucu küller ile karıştırılıp, sıkıştırılarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmada, killi zeminlere ağırlıkça %5 ila %20 arasında değişik oranlarda uçucu kül katılarak elde edilen karışımların mukavemet değerlerinde önemli oranda artışlar gözlemlendiği, numunelerin SEM sonuçları incelendiğinde ise kil ve kül mineralleri arasında meydana gelen bağların silikat ve alüminatlarca oluşturulan jeller tarafından sağlandığı ve oluşturulan zemin karışımlarında bileşenlerin dane çapında artışa, çimentolaşmaya, artan kür süresiyle birlikte numunelerin gevrek bir yapıya bürünmelerine sebep olduğu raporlanmıştır [26].

Şekil 8 (b)'de görülen taramalı elektron mikroskobu görüntüsü basınç dayanımını en çok veren numuneye aittir. Uçucu kül oranının yüksek oluşu ve görüntüdeki yüzeyde olduğu gibi yapıda yayılmış uçucu kül tanecikleri yapıya ve dayanıma ne denli olumlu etkilerde bulunduğunu açıklamaktadır. Porozite oranının da yüzeyde gözlemlendiği ve bu etkenin eğilme ve basınç dayanımlarını olumsuz yönde etkilediği de görülebilir. SEM fotoğraflarından, taneler arasındaki boşluklar ve heterojenlikten dolayı bağlayıcı malzeme oranının malzeme içerisindeki dağılımı etkilediği, buna bağlı olarak eğilme ve basınçta değişimler oluşturduğu anlaşılmaktadır. Nitekim, uçucu külden kompozit malzeme üretmek amaçlı yapılan çalışmada, %5 uçucu kül %95 polipropilen içeren nanokompozitin farklı bölgelerinden SEM görüntüleri alınmış ve yapılan değerlendirmeler neticesinde nanopartiküllerin polipropilen matrisin içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir [27].

Şekil 9'da eğilme dayanımı en yüksek olan numunenin X-ışınları difraktogramı görülmektedir. En yüksek pik noktası olarak tespit edilen quartz miktarının çokluğu bize uçucu kül miktarının numune içerisinde ne derece önemli rol oynadığını göstermektedir. Quartz'ın yanı sıra malzemede başlıca kristal fazlar olarak hematit, anortit, serbest kireç ve kilden ileri gelen illit-montmorillinite de rastlanılmıştır. Camsı fazın $27^\circ 2\theta$ değerinde en yüksek değerde olması ve $30^\circ 2\theta$ değerini de alacak şekilde yayılması fazın silissi ve kireçsi bir yapıda olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Numunenin X-ışınları difraktogramı, kireç/kil: 0,588 (28 gün yaşta).



Şekil 10. Numunenin X-ışınları difraktogramı, kireç/kil: 0,882 (28 gün yaşta).

Şekil 10'da basınç dayanımı en yüksek bulunan numunenin X-ışınları difraktogramı görülmektedir. Üretilen malzemede başlıca kristal fazlar olarak quartz, hematit, anortit, serbest kireç ve kilden ileri gelen illit-montmorillinite rastlanılmıştır. En yüksek pik noktası olarak tespit edilen quartz miktarının çokluğu uçucu kül miktarının numune içerisinde miktarca çokluğunu ve malzeme içerisinde dağılımını göstermektedir. Mukavemet artışının reaksiyon sonucu oluşan anortit fazından kaynaklandığı düşünülmektedir.

IV. SONUÇ

Türkiye'nin en büyük sektörlerinin başında bulunan çimento sektörünün çevreye olan etkileri tartışılmayacak kadar önemlidir. Çimentonun su ile hidratasyonu sonucunda doğaya verdiği CO₂ ve sera gazları çevresel sorun teşkil etmektedir. Bu çalışmada, puzolanik uçucu külün bağlayıcı olarak kullanılabilirliği üzerine çalışılmış, atık malzeme ve çevre kirlenici bir rol oynayan uçucu külün yapı malzemelerinde kullanılabileceği ve 28 günlük dayanımları arttığı görülmüştür. Kil oranları yüksek ve uçucu kül oranları düşük olan numunelerin düşük dayanımlarından dolayı kireç oranları sabit kalmak

şartı ile uçucu kül oranları arttırılıp kil oranları düşürülmüştür. Bu durum uçucu kül miktarının ve kireç oranının artması ile mekanik dayanımda artışa sebebiyet vermiştir.

Basınç dayanımında en yüksek sonuç 10,03 MPa, eğilme dayanımında en yüksek sonuç 2,39 MPa elde edilmiştir. Yoğurma suyu miktarı, kil oranı yüksek numunelerde daha fazla olduğundan, kilin su emme özelliğine bağlı olarak şişmesi ve yoğrulma esnasında kapilerite ile gözeneklere aldığı su miktarının doğal kurutma işlemi esnasında uçması sonucu bünyesinde boşluklar oluşturması mekanik dayanımlarda düşüşe neden olmuştur. Üretilen malzemenin ortalama yoğunluğu 3,167 g/cm³ bulunmuş, beton yoğunluğuna yakın bir değer elde edilmiştir. XRD difraktogramında görülen fazlar içerisinde çok güçlü bir seramik olan anortitin oluşması mukavemet artışına neden olmuştur. Bu yapının yanı sıra uçucu külden gelen quartz, hematit, serbest kireç ve illit-montmorrolinit fazlarına da rastlanmıştır.

Sonuç olarak uçucu kül katkılı hidrolik bağlayıcı malzemelerin yüksek basınç dayanımı nedeniyle, yapının basınç kuvveti yüksek olan noktalarında, tuğla duvar yerlerinde, kaset, nervürlü döşemelerde kullanımı düşünülmelidir. Eğilme dayanımlarının basınç dayanımlarına oranla düşük olması, taşıyıcı sistemlerde betona göre dayanım gösteremeyeceğinin ifadesidir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, 2001K120590 kod'lu DPT Projesi kapsamında yürütülmüş olup DPT yöneticilerine teşekkürlerimi sunarım.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Y. Aruntaş, “Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, s. 1, ss. 193-203, 2006.
- [2] T. Çiçek and Y. Çiçin, “Use of fly ash in production of light-weight building bricks,” *Construction and Building Materials*, vol. 94, pp. 521-527, 2015.
- [3] E. Şadoğlu ve Ü. Çalık, “Kireç ve perlitte stabilize edilen yüksek plastisiteli kil zeminin geçirimsizliği,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 35, s. 2, ss. 551-561, 2020.
- [4] P. Ö. Erdoğan ve H. M. Başar, “Deniz dibi tarama malzemesi, kömür uçucu külü ve atık döküm kumunun hafif agrega olarak geri kazanımı,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 34, s. 3, ss. 1377-1394, 2019.
- [5] Y. Yılmaz, “Beton üretiminde uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılmasının etkileri ve maliyet analizi,” Yüksek lisans tezi, Biyosistem Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 2014.
- [6] N. Nordin, M. M. A. B. Abdullah, M. F. M. Tahir, A. V. Sandu and H. Kamarudin, “Utilization of fly ash waste as construction material,” *International Journal of Conservation Science*, vol. 7, pp. 161-166, 2016.
- [7] M. Çavuş, M. Dayı, H. Ulusu ve H. Y. Aruntaş, “Sürdürülebilir Bir Yapı Malzemesi Olarak Kerpiç,” *2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapı Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 2015, ss. 184-192.
- [8] S. Abbas, M. A. Saleem, and M. J. Munir, “Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: Mechanical and durability properties,” *Journal of Building Engineering*, vol. 14, pp. 7-14, 2017.
- [9] *Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 197-1, 2012.

- [10] *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*, American Society for Testing and Materials ASTM C 618-19, 2019.
- [11] *Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 450-1, 2012.
- [12] P. Türker, B. Erdoğan, F. Katnaş ve A. Yeğınobalı, “Kimyasal, mineralojik ve morfolojik analiz sonuçları, Türkiye’deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri”, Ankara, Türkiye, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği ArGe Enstitüsü, Fersa Matbaacılık, 2009, ss. 19-89.
- [13] *Çimento Deney Yöntemleri-Bölüm 3: Priz Süreleri ve Genleşme Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 196-3, 2017.
- [14] *Sular-İnsanî Tüketim Amaçlı Sular*, Türk Standartları Enstitüsü TSE 266, 2010.
- [15] *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 2:Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-2, 2019.
- [16] *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TSEN 12390-5, 2019.
- [17] O. Şimşek, *Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri*, Ankara, Türkiye, Seçkin Yayıncılık, 2011.
- [18] *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 4: Basınç Dayanımı-Deney Makinelerinin Özellikleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-4, 2019.
- [19] B. Akkaya ve İ. Toroğlu, “Uçucu külün boyutu ile puzolanik aktivitesi arasındaki ilişkinin incelenmesi,” *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 412-418, 2017.
- [20] S. Naganathan, A. Y. O. Mohamed, S. Jamaliand K. N. Mustapha, “Performance of bricks made using fly ash and bottom ash,” *Construction and Building Materials*, vol. 96, pp. 576-580, 2015.
- [21] T. Çiçek and T. Tanrıverdi, “Lime based steam auto claved fly ash bricks,” *Construction and Building Materials*, vol. 21, no. 6, pp. 1295-1300, 2007.
- [22] A. Biçer, “Effect of fly ash particle size on thermal and mechanical properties of flyash-cement composites,” *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 8, pp. 78-82, 2018.
- [23] J. Yu, C. Lu, C. K. Y. Leung, G. Li, “Mechanical properties of green structural concrete with ultrahigh-volume fly ash,” *Construction and Building Materials*, vol. 147, pp. 510-518, 2017.
- [24] S. Jahanian and H. Rostami, “Alkali ash material, a novel material for infrastructure enhancement,” *Engineering Structures*, vol. 23, no. 6, pp. 736-742, 2001.
- [25] M. Gürü, S. Tekeli and E. Akın, “Manufacturing of polymer matrix composite material using marbledust and fly ash,” *Key Engineering Materials*, vol. 336-338, pp. 1353-1356, 2007.
- [26] F. Acar, “Kutlubey-Yazıcılar bölgesi killilerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin Çatalağzı uçucu külü ile stabilizasyon,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi, Bartın, Türkiye, 2019.

[27] K. Bitirim, "Termal santrallerden elde edilen uçucu kül tabanlı nanopartiküllerin türlerinin belirlenmesi, yapısal karakterizasyonu ve termoplastik nanokompozit dolgu malzemesi olarak kullanım potansiyellerinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Mikro ve Nanoteknoloji, Fen Bilimleri Enstitüsü, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Probiyotik Peynirlerle İlgili Araştırmalar ve Endüstrideki Uygulamaları

 Nilüfer Sena AYDOĞDU^a,  Tuğba KÖK TAŞ^{a*}

^aGıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: tugbakoktas@sdu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.874869

Öz

Günlük hayatımızda probiyotik, fonksiyonel gıdalar, nutrasötikler ve sağlıklı beslenme gibi kelimeleri daha bilinçli kullandıkça raflarda bunlara yönelik ürünlere olan talep de artmaktadır. Endüstri ise gelişen teknolojik uygulamalar, bilime ulaşma kolaylığı ve Ar-Ge çalışmalarına verilen önemle bu tarz ürünleri raflara koymakta yarışmaktadır. Probiyotiklerin gıda alanında özellikle süt ürünlerinde daha sık kullanımı dikkat çekicidir. Farklı probiyotik mikroorganizmaların kullanımı bu sayısal üstünlüğü sağlamada destekleyen unsurdur. Yanı sıra süt ürünleri yelpazesinin genişliği ve süt ürünlerinin bu mikroorganizmalar için uygun ortam oluşu probiyotik ürün çeşitliliğini sağlamaktadır. Süt endüstrisinde probiyotikler en çok yoğurt ürününde kullanılmaktadır, peynirde daha az kullanılmasının nedenlerinin en başında, uzun raf ömrü süresince probiyotik mikroorganizma sayısının korunamaması gelmektedir. Bu derlemede, probiyotikler, probiyotiklerle zenginleştirilmiş peynirler ile ilgili araştırmalar, kullanılan kültürlerin ürün kalitesindeki etkileri ve peynirlerin üretiminde probiyotik mikroorganizmaların canlılığını etkileyen faktörler ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. Ayrıca Türkiye ve dünyada probiyotik peynir üretimi değerlendirilmiştir. Probiyotik mikroorganizmaların biyoyararlılıkları sebebiyle alternatif ürün olarak probiyotik peynir üretiminin teşvik edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Probiyotik, Peynir üretimi, Alternatif ürünler

Research on Probiotic Cheese and Its Applications in Industry

ABSTRACT

As we use words such as probiotics, functional foods, nutraceuticals and healthy nutrition more consciously in our daily life, the demand for products for these on the shelves increases. The industry, on the other hand, competes in putting such products on the shelves with developing technological applications, ease of access to science and the importance given to R&D studies. It is noteworthy that probiotics are more frequently used in food, especially in dairy products. The use of different probiotic microorganisms supports this numerical advantage. In addition, the wide range of dairy products and the suitable environment for these microorganisms provide probiotic product diversity. In the dairy industry, probiotics are mostly used in yogurt products the main reason for less use in cheese is that the number of probiotic microorganisms can not be preserved during the long shelf life. In this review, probiotics, research on probiotic-enriched cheeses, the effects of the cultures used on the product quality and the factors affecting the viability of probiotic microorganisms in the production of cheeses were examined. It is also evaluated Turkey and the world in the production of probiotic cheese. Due to the bioavailability of probiotic microorganisms, it is recommended to encourage the production of probiotic cheese as an alternative product.

Keywords: Probiotic, Cheese production, Alternative products

I. GİRİŞ

Fonksiyonel gıdalar, doğal besin değeri dışında insan sağlığına fayda sağlayan gıdalardır [1]. Dünya çapında sağlık bilincine sahip tüketiciler arasında popülerlik ve besin açısından daha zengin gıda ürünlerine yönelik tercihlerin artması, spesifik olarak antibiyotiklerin dirençliliklerinin artması, artan yaşlı nüfus oranı ve çocuklar için probiyotik kullanımının öneminin artması probiyotiklere olan talebi de artırarak bu pazarın büyümesini desteklemektedir. Probiyotik mikroorganizmaların suş çeşitlerinin belirlenmesi ve çeşitli formlarda (sıvı, kuru, macun gibi) hazırlanmaları, çok farklı ürün türlerine (fonksiyonel yiyecek ve içecekler, tıbbi, diyet takviyeleri ve hayvan yemi gibi) uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Probiyotik bakteri en fazla farmakolojik alan için üretilirken ikinci sırada gıda sektörü gelmektedir [2]. Çünkü probiyotik kültürler gıdaya eklendiğinde, tüketicinin rutinini değiştirmeden günlük diyetine gireceğinden, tüketimi kolaylaştırabilir [3]. Bu segmentin büyük payı özellikle süt ürünlerinde (fermente süt, yoğurt ve peynir gibi) probiyotiklerin artan kullanımına bağlanmaktadır [2]. Ayrıca büyüyen gastrointestinal ve ekstraintestinal bozukluklar (antibiyotikle ilişkili ishalin önleme ve hafifletme semptomları, iltihaplı bağırsak hastalığı, laktoz intoleransı ve hassas/huzursuz bağırsak sendromu dahil) probiyotik tercihini artırmaktadır. Probiyotiklerin, serum kolesterolünü azaltma, gastrointestinal enfeksiyonlar üzerinde antimikrobiyal aktivite, antimutajenik, antikarsinojenik, bağırsak sağlığını düzenleyici özelliği, bağışıklık sistemini güçlendirme ve *Helicobacter pylori* enfeksiyonunun baskılanması gibi sağlık üzerine birçok olumlu etkileri belirtilmektedir [4]. Probiyotiklerin gıdalara eklenmesi olumlu sağlık etkilerinin yanında ürünün tadına, lezzetine, rengine, dokusuna, besin değerine ve raf ömrüne olumlu katkı da bulunmaktadır [5]. Probiyotik ile ilgili yapılan çok farklı araştırmaların yapılmasıyla, fonksiyonel gıdalar grubunda tanımlanan probiyotik ürünler de pazara hızla girmektedir [6,7]. Fonksiyonel gıda üreticileri de bu yararlı bakterileri farklı gıda ürünlerinde kullanarak ürün yelpazelerini artırmaya devam etmektedir [6].

II. PROBİYOTİKLER

Probiyotik kelime anlamı olarak “yaşam için” anlamında olup, “mikrobiyal dengesini geliştirerek konakçının sağlığını olumlu yönde etkileyen canlı mikroorganizmalar” olarak tanımlanan bir terimdir [8]. Bir bakterinin probiyotik olarak kabul edilmesi için çeşitli kriterlere sahip olması gerekmektedir [9]. Probiyotik olarak tanımlanacak bir mikroorganizmanın kriterleri arasında, suşun insan kaynaklı olması, insan kullanımı için güvenli olması, asit ve safrada stabil olması ve bağırsak mukozasına uyması bulunmaktadır [10]. Probiyotiklerin sağlık üzerine etkilerinden faydalanmak için probiyotik bakteriler, gıdaların raf ömrünün sonuna kadar depolama yoluyla bu canlılığı korumalı ve uygun organoleptik özellikleri sağlamalıdır [9]. Tüketilen üründe canlı probiyotik bakteriler 10^6 kob/g oranında mevcut olmalıdır [11].

Probiyotik olarak *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Bifidobacterium* ve *Enterococcus* türlerine ait farklı cinslerde ve suşlarda birçok bakteri ve maya kullanılır ancak probiyotik özelliklere sahip bakterilerin başında *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei* ve *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum* gelmektedir [4,10].

III. PEYNİRDE PROBİYOTİKLERİN KULLANIMI İLE İLGİLİ YAPILAN BAZI ARAŞTIRMALAR

Probiyotiklerin sağlık üzerine etkilerinden faydalanmak için tüketilen üründe uygun bileşenler, gıda matrisleri ve üretim yöntemleri seçilerek probiyotiklerin canlılıkları sağlanmalıdır [5]. Süt ürünleri probiyotik bakterilerin insan bağırsağına iletilmesinde önemli bir yere sahiptir çünkü bu oluşan fermente ürünler probiyotik bakterilere canlılıklarının devamlılığı için uygun bir ortam sağlar [12].

Fermente süt ürünlerinden peynir, sütün doğrudan ya da pastörize edildikten sonra asit veya enzim ile pıhtılaştırılması, pıhtıdan peyniraltı suyunun ayrılması ve pıhtının farklı şekillerde işlenmesi ile elde edilen bir süt ürünüdür [13]. Aynı zamanda peynirin besleyici yönü olması sebebiyle önemli gıda ürünlerinden biridir, çeşitliliğinin fazla olması tüketici kitlesi açısından zengin ve tüm yaş grupları için uygundur. Bu nedenle alternatif bir probiyotik gıda olarak birçok pazarlama stratejisi için fırsatlar sunmaktadır [14]. Probiyotik peynirlerin uygulamaları ile ilgili ele alınan süzme peynir [15], Crescenza peyniri [16], kaşar peyniri [17], taze peynir [18], yarı sert peyniri [19] ve beyaz salamura peynir [20] gibi çalışmalar bulunmaktadır. Araştırmalar bireylerin probiyotik mikroorganizma alımına alternatif olarak peynirin büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Milesi vd. [21] yaptıkları bir çalışmada, starter olarak *Streptococcus thermophilus* kültürü kullanılırken probiyotik olarak dört laktobasil suşunun (*Lactobacillus plantarum* I91, *L. casei* I90, *L. rhamnosus* I73 ve I75) yumuşak Cremoso peyniri ve yarı sert Pategrás peynirinde proteolize ve duyusal profile katkısı incelenmiştir. *L. plantarum* I91 ve *L. casei* I90 yumuşak ve yarı sert peynirlerde orta derecede artmış ikincil proteolize neden olduğu, aşırı asitleşmediği ve peynirlerin duyusal profillerini olumlu yönde değiştirdiği gözlenmiştir. *L. rhamnosus* I73 ve I75 suşu, peynirin ikincil proteolizinde daha güçlü bir artış sergilediği ancak peynir genel kalitesini iyileştirmede ve bazı durumlarda asidifikasyona neden olduğu gözlenmiştir. Uygulanan probiyotik bakterinin sayısal olarak artışı veya dengede oluşu, genel kaliteyi iyileştirmesi ile paralel olmadığı bilgisi, ürün kalitesi açısından önemlidir.

Probiyotik suşlar, gıda üretim süreci ile teknolojik olarak uyumlu olmalıdır. Probiyotik suşların peynire inokülasyon ile üretim ve olgunlaşma işlemi sırasında canlılığını koruyabilmesi ve/veya sayısının artması gerekmektedir [14].

Gardiner vd. [22] çalışmasında ise probiyotik *Lactobacillus paracasei* NFBC 338 (Rif^r) rifampisine dirençli bir kültür içeren yağsız süt tozu spreyle kurutulmuş Çedar peynirine ilave edilmiş, püskürtülerek kurutulmuş formdaki probiyotik kültür, soğutulmuş ve ya oda sıcaklığında depolama sırasında en az 7 hafta boyunca peynir kalitesini olumsuz etkilemeden stabil kalmıştır. Bu şekilde hazırlanan kültürler, ürünlere doğrudan ilave etmek için kullanılır böylece probiyotiklerin peynir kültürü ile ilgili etkileşim problemleri önlenebilir.

Bergamini vd. [23] çalışmalarında probiyotik kültür olarak *L. acidophilus* ve *L. paracasei* subsp. *Paracasei* Pategrás Argentino peynirinde kullanılmıştır. Kültürleri liyofilize ve aktif form olarak uygulamışlar ve liyofilize olarak probiyotiklerin doğrudan eklenmesi daha verimli olduğu tespit etmişler ve duyusal olarak olumsuzluk belirtmemişlerdir.

Gomes vd. [24] *L. acidophilus* LA-5 (0, 0.4 ve 0.8 g/L) farklı oranlarda ilavesi ile Minas taze peynirinin fizikokimyasal parametreleri ve duyusal kabulü üzerindeki etkisi araştırmıştır. Yüksek miktarda *L. acidophilus* eklenmesi, 20 gün boyunca 5 ve 7 °C'de depolanan Minas taze peynirinin raf ömrü boyunca ürünün probiyotik durumunu koruyan bu mikroorganizmanın sayısının artmasına (9.42 ve 9.11 logkob/g) neden olduğunu ancak bu araştırmada da organoleptik özelliklerinin azaldığı tespit etmişlerdir.

Bergamini vd. [25] Pategrás Argentino peynirinin sütüne iki farklı yöntemle probiyotik uygulaması, bu probiyotik kültürlerin olgunlaşma sırasında hayatta kalmalarını ve proteolize katkılarını karşılaştırmıştır. Üç farklı probiyotik kültür (*L. acidophilus*, *L. paracasei* ve *Bifidobacterium lactis*) hem tek kültür hem de üç türlü karışık kültür olarak peynir sütüne ilave edilmiştir. Üç suşlu karışık bir kültür olarak kullanıldığında sinerjik etki gözlenmiştir ve peynirin kabul edilebilirliği üzerinde olumlu etkisi olmuştur. Probiyotiklerin ön inkübasyonu, probiyotik mikroorganizma sayısını arttırmamıştır. Aynı zamanda *L. acidophilus*'un peynir uygulamalarında sekonder proteolizini arttırdığı gözlenmiştir.

Yapılan bir çalışma taze Arjantin peynirinin endüstriyel üretiminde *Lactobacillus paracasei* A13, *Bifidobacterium bifidum* A1 ve *L. acidophilus* A3 probiyotik bakterilerin canlılığını belirlemek için 5 °C ve 12 °C'de 60 gün buzdolabında depolanmışlardır. Sonuç olarak Arjantin taze peynirinde bulunan

L. paracasei A13, ürünün üretim süreci sırasında ve ürünün 5 °C'de 15. gün depolamada duyuşal olarak olumsuz etkilemeden sayısını önemli düzeyde artırmıştır ancak daha yüksek bir depolama sıcaklığı 12 °C'de 60. gün depolamada duyuşal özellikleri negatif etkilediğini belirtmişlerdir[26].

Fortin vd. [27], oksijene duyarlı olduğu bilinen probiyotik Bifidobakter suşları (*B. longum* R0175, *B. lactis* BB-12, *Bifidobacterium infantis* ATCC 15697 ve *B. longum* ATCC 15708) kullanılarak üretilen Çedar peynirinde çözünmüş oksijen seviyesinin, sıcaklığın ve tuzlamanın kültürlerin canlılığı üzerindeki etkisi inceleyen önemli bir araştırmadır. Bu çalışmaya göre, probiyotik bakterilerin suşları, inokülasyon miktarı ve uygulanan tuza göre peyniraltı suyu ve pıhtı kısmında probiyotik bakteri sayılarının %29-92 arasında değiştğini belirlemişlerdir. Tuzlama, işleme sırasında peynir altı suyu ile yaklaşık %13 bakteri kaybına, depolama ile de 3 log kob/g canlılığı kaybına neden olduğunu bulmuşlardır.

Scheller ve O'Sullivan [28], yaptıkları çalışmada anaerobik bir ortamda pH 5.75'e asitleştirilmiş BLIM+Fe (ortamblim+Fe) varlığında hazırlanan *B. longum* DJO10A ve *B. animalis* subsp. *lactis* Bb-12 Çedar peynirine ilave edilmiş ve raf ömrü boyunca kültürlerin canlılığı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Yalnızca Bb-12 kullanılan peynirlerde aşılamanın %133'ü kadar büyüyerek 8.00 logkob/g olduğu, olgunlaşma sırasında sayıların yüksek kaldığı ve 12 aylık bir dönemde bir log dan daha az azalma gösterdiği gözlenmiştir. Karışık Bb-12 ve DJO10A kültürü kullanan peynirlerde her iki suş daha düşük seviyelerde (%3.02 ve 1.11) ilave edilmiştir ve artarak sırasıyla 6.00 ve 5.04 logkob/g değerlerinde olduğu gözlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda öldürücü olmayan stres ortamında Bifidobakterilerin hazırlanmasının, peynire katılan canlı hücrelerin sayısını artırabildiği halde, peynir olgunlaşması sırasında canlılığı etkilemediği bildirmiştir.

Minervini vd. [29] yaptıkları bir çalışmada, pasta filata peynir grubunda olan Fiordi Latte peynirine ısıya dayanıklı probiyotik *Lactobacillus* türleri (*L. casei*, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *L. paracasei*, *L. plantarum*, *L. rhamnosus* ve *L. reuteri*) kullanılarak peyniri yapımı ve 14 gün depolanması sırasında probiyotik bakterilerin canlılığı araştırmıştır. Probiyotik suşların uygulanan ısı işlemlere dayanma kapasitesinin (65 veya 55 °C'de 10 dakika) önemli ölçüde değiştğini tespit edilmiştir. En yüksek canlılık 42°C'de 30 dakika boyunca adapte edildiğinde gözlenmiştir.

Mirzaei vd. [30] yaptıkları bir çalışmada, probiyotik İran beyaz salamura peynirine serbest veya kalsiyum aljinat jeli ve dirençli nişasta ile ekstrüzyon tekniği kullanılarak mikrokapsülasyonu ile ilave edilen *L. acidophilus* LA-5'in 182 günlük depolama süresince canlı hücre sayısı değerlendirilmiştir. İlk günde serbest bakteri içeren peynirdeki ortalama canlı hücre sayısı (10±0.58 log kob/g) mikrokapsüllenmiş bakteri (12.32±0.35 log kob/g) içeren peynirden daha az olduğu belirlenmiştir. Her iki peynir türünde de saklama süresinin 28. gününden 182. gününe kadar azalma gözlenmiştir. Ancak serbest hücreler içeren peynirdeki azalma (5.1 ± 0.67 log kob/g), mikrokapsüllenmiş hücreler içeren peynirden (11.00±0.58 log kob/g) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İran beyaz salamura peynirinde 6 aylık depolamadan sonra *L. acidophilus* LA-5'in canlı kalma oranını artırabildiği gözlenmiştir. Duyusal özellikleri değerlendirildiğinde mikrokapsül uygulamalı peynirlerin daha üstün olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırma probiyotik bakterinin mikrokapsülasyon ile canlı sayısına olumlu etkisi değerlendirilebilir.

Başka bir çalışmada *B. bifidum* BB-12 ve *L. acidophilus* LA-5ekstrüzyon veya bir emülsiyon tekniği ile mikrokapsülüne rek kaşar peynirine ilave edilmiş ve bakteri canlılığı incelenmiştir. 90 günlük depolama süresince iki kapsülleme tekniği arasında fark bulunmamıştır. Probiyotik bakterilerin canlılığı mikrokapsülleme ile büyük ölçüde korunduğu gösterilmiştir [31].

Özer vd. [12], *B. bifidum* BB-12 ve *L. acidophilus* LA-5'iekstrüzyon veya bir emülsiyon tekniği ile mikrokapsülüne rek beyaz salamura Türk peynirine ilave ederek canlılığı araştırmıştır. Probiyotik bakteri içerikli peynirlerde orta ve uzun zincirli serbest yağ asidi içerikleri, asetaldehit ve diasetil seviyelerinin kontrol peynirinden çok daha yüksek olduğu gözlenirken duyuşal özellikler açısından farklılık olmadığını belirlemişlerdir. Bu araştırmada probiyotiklerin fermentasyona ve oluşan metabolitlere katkı sağladığı, organoleptik özelliklerine zarar vermediği belirtilmektedir.

Ortakci vd. [9] yaptıkları çalışmada, düşük nemli yarı yağlı mozzarella peyniri üretimindeki pasta filata (peynir 55 °C'ye ısıtılma ve 70 °C sıcak tuzlu su içinde germe) işleminin ve depolanması sırasında aljinat mikrokapsüllerinde kapsüllemesinin, probiyotik *L. paracasei* LBC-1'in canlı kalma etkisi araştırılmıştır. Mozeralla peynirinin üretiminde haşlama işleminin serbest (~10¹⁰ kob/g) ve jel kapsüllemiş (~5×10⁸kob/g) *L. paracasei* LBC-1 sayısında sırasıyla 0.4 ve 0.2 logkob/g azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada peynirde şekil vermede uygulanan ısı işleminin bakteri düzeyinde olumsuz etkisi olduğunu, uygulanan kapsülasyon işleminde canlı oranının korunmada olumlu etkisi olduğunu belirtilmiştir.

Amine vd. [32] aljinat boncukları kullanılarak yapılan mikrokapsülasyonun (ME), Çedar peyniri üretimi ve 21 gün 4°C'de depolanması sırasında -80°C'de donmuş *B. longum* 15708'in simüle edilmiş gastrointestinal sistemde canlılığını araştırmıştır. Bu amaçla damlacık ekstrüzyon yöntemi (ADE) ve iki polimeri (doğal ve palmitoillenmiş aljinat) içeren emülsiyon yöntemi karşılaştırılmıştır. Damlacık ekstrüzyon yöntemi kullanılarak üretilenler boncuklar kullanılarak ME tekniği, emülsiyon tekniği ile üretilenlerden *B. longum* daha uzun süre canlı kaldığı belirtilmiştir.

Kasimoğlu vd. [33] yaptıkları çalışmada, *L. acidophilus* 593N' in vakumda veya tuzlu suda depolanan Türk beyaz peynirlerinin olgunlaşması sırasında *L. acidophilus* 593N' in canlılığına etkisini araştırmıştır. Vakum paketinde olgunlaşma yapılan peynirlerde *L. acidophilus* 593N sağlık üzerindeki olumlu etkiler için gerekli olan 10⁷ kob/g sayılarına ulaşmıştır. Vakumlu paketlenmiş probiyotik peynir, en yüksek proteoliz seviyelerine ve duyu skorlarına sahip olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, probiyotik Türk beyaz peynirlerini depolamak için vakum paketleme tercih edilebileceği belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, koyun sütü kullanılarak yapılan Scamorza peynirine probiyotik suşların (*L. acidophilus*, *B. longum* ve *B. lactis* karışımı) dahil edilmesi ve peynir yapımı sırasında probiyotik bakterilerin hayatta kalması araştırılmıştır. Peynirlerdeki olgunlaşma işlemi, kullanılan probiyotik suşa göre farklı şekilde etkilenmiştir. *B. longum* ve *B. lactis* suşlarının karışımı, peynirde daha fazla proteolizi gerçekleştirmiş ve daha karmaşık çözünür peptit oluşumuna yol açtığını belirtmişlerdir. *L. acidophilus* suşu ise lipolize sebep olmuş ve peynirde oleik asit ve konjüge linoleik asit içeriğini artırdığı gözlemlenmiştir [34].

Başka bir çalışmada, Cremoso peynirlerinde (yumuşak peynir çeşidi) başlangıç kültürü olmayan laktobasillerin ve iki ek kültürün probiyotik performansı incelenmiştir. Çalışmada laktobasil içermeyen bir kontrol peyniri ve *L. plantarum* I91 ve *L. paracasei* I90 içeren iki deneysel peynir hazırlanmıştır. Seçilmiş laktobasil suşlarının kullanılması teknolojik ve probiyotik bir rol oynadığı, peynir kalitesinin standartlaşmasına katkıda bulunduğu gözlenmiştir [35].

Yapılan bir çalışmada, probiyotik Çedar peynirlerinin 24 hafta boyunca olgunlaşması sırasında, farklı olgunlaşma sıcaklıklarının (4 ve 8°C) probiyotik bakterilerin (*B. longum* 1941, *L. casei* 279 ve *L. acidophilus* 4962) hayatta kalması ve proteoliz üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Probiyotik mikroorganizmalar 24 hafta boyunca hem 4 ve 8 °C'de olgunlaşma sırasında Çedar peynirlerindeki canlılıklarını korudukları gözlenmiştir. 8°C'de olgunlaşan *L. casei* 279 ve *L. acidophilus* 4962 ilavesi yapılan probiyotik peynirlerin daha yüksek proteoliz seviyesine sahip olduğu gözlenmiştir [36].

Ong ve Shah [37], probiyotik mikroorganizmalar 24 hafta sonunda canlı kaldığını (> 7.50 log kob/g) ve yaşama kabiliyetleri olgunlaşma sıcaklıklarından etkilenmemiştir. Kullanılan probiyotik mikroorganizmaların türü, olgunlaşma süresi, olgunlaşma sıcaklıkları ve etkileşimlerinin laktik ve asetik asit konsantrasyonları üzerine önemli etkileri olmuştur (P <0.05). *Bifidobacterium* spp. ve/veya *L. casei* ile yapılan peynirlerin kontrol grubuna göre asetik asit konsantrasyonu önemli ölçüde daha yüksek olduğunu, peynirlerin sitrik, propiyonik ve süksinik asit içerikleri probiyotik mikroorganizma türü veya olgunlaşma sıcaklıklarından önemli ölçüde etkilenmediğini belirtmişlerdir.

Effat vd. [38] çalışmalarında farklı bakteriler (*Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus johnsonii* NRRL B-2178, *Lactobacillus hilgardii* NRRL B-

1843 ve *Lactobacillus curvatus* NBIMCC-3452) ile prebiyotik (dekstrin ve litesse) ilavesinin taze peynir üzerinde uygulamalarını değerlendirmişlerdir. *L. curvatus* NBIMCC-3452 ve prebiyotikler kullanılarak üretilen peynir uygulamasında canlılık oranı en yüksek, *S. thermophilus*- *L. johnsonii* NRRL B- 2178 ve dekstrin ile *S. thermophilus*-*L. curvatus* NBIMC 3452 ve litesse duyuşal açıdan en yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Yapılan bir çalışma da prebiyotik (*Lactobacillus rhamnosus* GG) kullanılarak pasta filata peynirlerde prebiyotik teknolojik parametreleri ayarlamak amaçlanmıştır. Farklı parametreler kullanılarak (pıhtının asitlenmesi (pH 5.25) ve süre (2, 5, 10 ve 20 dakika) ve gerdirme sıcaklığı (58, 62.5 ve 68 °C) prebiyotik bakteri sayısının 10^7 logkob/g'den daha yüksek seviyelerde prebiyotik peynir üretilmesi hedeflenmiştir. Sonuç olarak raf ömrü boyunca prebiyotik 3×10^7 'nin üzerinde kaldığı gözlenmiştir. Prebiyotik ilavesi ikincil proteolizi ve diasetil, asetoin, laktik ve asetik asitlerin üretimini arttırdığı, koku, burukluk, asit tadı gibi duyuşal özellikler de değıştirildiğı tespit edilmiştir[39].

Probiyotik peynirlerin teknolojik değerdirmeleri ile ilgili pekçok araştırma bulunmakta, bu derlemede bazılarına yer verilmiştir. Çalışmalar değerdendirildiğinde prebiyotik mikroorganizmaların canlı sayısındaki değerdlerin çoğunlukla sağlanabildiğini ancak özellikle bazı tür/suşların depolama ile birlikte genellikle glikoliz, lipoliz ve proteoliz olarak adlandırılan çeşitli biyokimyasal ve metabolik işlemlerin bir sonucunda organoleptik özelliklerin değışmesi olumsuzluk olarak belirtilmiştir [40].

IV. PEYNİR ÜRETİMİNDE PROBİYOTİK MİKROORGANİZMALARIN CANLILIĞINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Probiyotik mikroorganizmaların çoğı laktik asit bakterileri grubundadır. Laktik asit bakteriler süt ürünlerinde ürünün teknolojik, kalite ve organoleptik özelliklerine katkıları belirtilmesine rağmen, bu mikroorganizmaların uzun süreli canlı kalmaları çok kolay değildir [41]. Starter (başlatan/başlangıç) kültürler süte eklenip, laktik asit oluşumuyla jel sinerezisini etkinleştirir, peynir altı suyu ayırır ve pıhtı formu oluşur. Kültür için ilave edilen mikroorganizmaların yaklaşık %90'ı pıhtı içinde tutunur [42]. Jeanson vd. [43] çalışmasında jel kaset model sistemi ile peynir örneklerinde bakteri dağılımını özel mikroskoplar ile dağılımını araştırmışlar ve bakterilerin inokülasyon miktarlarının üretim ve depolamada etkili olduğunu belirlemişlerdir. Bunun sebebi ise bakteriyel enzimlerin peynirde kullandığı alandaki ilişkisi olduğu düşünölmektedir.

Küçük koloni büyüklüğüne sahip peynirlerde serbest yağ asidi seviyesi daha yüksek olduğunu, ayrıca ayırt edici peptitlerin ~%98'i küçük kolonili peynirlerde olduğunu, diasetil gibi aroma bileşenlerin yine küçük kolonili peynirlerde daha bol olduğunu belirtmiştir [44]. Yazarlara göre parçalanmayan hücrelerden kaynaklı metabolit üretimi peynirde koloni dağılımını etkilediğini, küçük koloni içeren peynirlerde proteaz ve laktosepin daha geniş alana sunulduğunu, substratın kullanılması koloni büyüklüğüne bağı görünmediğini belirtmişlerdir. Eski peynirlerde yüksek pH'da büyük koloniler protein matriksinde düzensiz bir dağılım gösterirken, düşük pH'ında küçük koloniler eşit olarak dağılım göstermiştir. Peynir matriksinde bakterilerin lokasyonu ve onların metabolik durumları peynir olgunlaşmasında değışime katkı sağlar.

Özellikle olgunlaşma işlemi uygulanan peynirlerin olgunlaşmanın başında 10^6 - 10^{10} kob/g seviyelerinde olan laktik asit bakterilerinin sayısı, laktozun metabolizması ile laktik asit oluşumu ve pH'nın azalması ile azalmaktadır. Uzun süre depolama ile (genellikle 2-16 °C'de) yani olgunlaşma süresince azalmaya devam etmektedir. Ayrıca peynirde kullanılan tuz ve düşük olgunlaşma sıcaklığı gibi faktörlerde bu etkiye katkı sağlamaktadır. Olgunlaşma süreci devam eden peynirlerde protein ve yağların metabolizması sonucu oluşan aroma bileşenleri (aldehitler, ketonlar, alkoller, hidrokarbonlar vs.) bakterileri inhibisyonu sağlamaktadır. Olgunlaşma sırasında meydana gelen birincil biyokimyasal

değişiklikler, artık laktoz ve sitrat metabolizmasının yanı sıra lipoliz ve proteoliz ile ilgilidir [45]. Daha yüksek bir olgunlaşma sıcaklığının peynirin olgunlaşmasını hızlandırdığı bildirilmiştir.

Peynirdeki probiyotiklerin hayatta kalmasını etkileyen faktörler; formülasyon faktörleri (probiyotik bakteri ve mikrobiyal etkileşimlerin suşları, pH ve titre edilebilir asitlik, moleküler oksijen, tuz, hidrojen peroksit ve gıda katkı maddeleri, mikrokapsülleme), proses faktörleri (inkübasyon sıcaklığı, inokülasyon türleri, ısı işlem, olgunlaşma faktörleri ve depolama sıcaklığı) ve kullanılan ambalaj malzemeleri ve sistemleridir [46]. Peynirin üretimi, kazein moleküllerinin oluşması ve süt pıhtılarının konsantrasyonunu artırmak için süte maya ve laktik asit bakterilerinin eklenmesini içerir. Çöken pıhtılar kalıplanır, preslenir ve tuzlama işlemine tabi tutulur. Peynirlerin karakteristik aromaları ve dokuları, olgunlaşma döneminde, peynirde bulunan bakterilerin lipolitik ve proteolitik aktivitesi ile gelişir [47].

Probiyotikler ile starter kültürler arasındaki etkileşimler olumsuz etkiye neden olabileceği için en uygun probiyotik ve starter kültür kombinasyonları yapılmalıdır [14].

Yeni Zelanda'da 1960-1970'lerde araştırmacılar tek türün olgunlaşmaya etkisi ile ilgili araştırma sonucunda olgunlaşma süresinin türlerin canlılık farklılıklarıyla ilgili olduğunu belirtiyorlar. Düşük canlılığın acı aroma oluşumunu sağlamadığını ve starter suş çeşidinin acı yada acısız oluşmada faktör olduğunu belirtiyorlar. Martley ve Lawrence [48] ile Lowrie vd. [49] peynirde yaptıkları araştırmada pişirme sıcaklığı ve tuz oranında bu suşların cevabını oluşturuyor. Lowrie ve Lawrence [50], *L. lactis* subsp. *cremoris* acı tat oluşturmadığını, *L. lactis* subsp. *lactis*'in ise acı tat oluşturduğunu belirtiyor. Sebebi de şu şekilde açıklanıyor "ısıya ve tuza toleranslı başlangıç suşlarının aktif bir hücre duvarı proteinazına sahip olmasıyla olgunlaşma sırasında acılığın gelişmesine yol açmaktadır". CEP III enzimine sahip suşlar olgunlaşma süresince α S1-CN and κ -CN fragmentlerine hidrolize ederler CEP-I enzimine sahip suşlar ise β -CN'ni hidrolize ederler. İkincil kazein fragmentleri acı tat oluşumunu sağlar. Olgunlaşma boyunca tek suşun canlılığının azalması, karışık kültüre göre daha kolay olduğunu, klasik mikroorganizma sayım yöntemine göre belirtilmektedir. Wilkinson vd. [51] Çedar peynirinin olgunlaştırılmasında 2-tür olarak G11/C25 kombinasyonu ile AM2 ve HP tek suşları karşılaştırmışlar ve karışık kültürün canlılığının yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Suşlar arasındaki farklılıklar ve substrat düzeyindeki değişimlerin belirlenmesi için çok fazla araştırmalar yapılması gerekmektedir. Bunun için klasik yöntemler haricinde kültüre bağlı ve kültürden bağımsız yöntemleri kullanan yaklaşımlar ile suşların karşılaştırılmaları sağlanmalıdır. Peynir üretiminde ise starter kültürlerin otoliz açıklamaları ise oldukça önemlidir; hücrelerin intraselüler enzimleri ve otoliz mekanizmaları gibi [52].

Starter laktik asit bakterileri peynir üretiminde olgunlaştırma ile tipik tekstür ve aroma gelişimi için kullanılması zorunlu bakterilerdir. Probiyotik bakterilerin kullanılması ise olgunlaştırma dönemi için hem sayısal değerinin azalarak amaca uymaması hem de enzim içeriği ile farklı aromaların oluşumuna katkı sağlayacak niteliktedir. Peynirde tüm kullanılacak tür ve suşların pişirme sıcaklığına, tuz hassasiyetine ve faj oluşumuna karşı cevabına bağlı karakteristik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Geliştirilecek peynir için kullanılan mikroorganizmanın tüm resmini görebilmek için fenotipik, genotipik karakterlerinin bilinmesi ve üretimde oluşturduğu aroma yollarının da belirlenmesi gerekmektedir. Peynir içinde canlılık oranlarının ve morfolojik değişimleri ile ilgili araştırmalarda mikroyapısal özellikleri de belirlenebilir. Ayrıca genomik ve proteomik araştırmalar hücrenin tüm ilişkisi belirlenebilir. Gelecekte akış sitometrisi, tüm genom dizilimi, enzimoloji ve aroma kimyası gibi bilimsel yaklaşımlar ile kullanılan kültürlerin evrimleşmesi hakkında bilgileri sunacaktır. Peynir ortamında otoliz, proteoliz ve nitrojen arasındaki bağlantıların metabolizması bir suşun hayatta kalma stratejisi daha güçlü açıklanacaktır. Tüketicinin yararına yapılan bu uygulamalar akademik ve endüstri açısından önemli olanaklar oluşturacaktır.

V. DÜNYA VE TÜRKİYE'DE ENDÜSTRİYEL AŞAMADA PROBİYOTİK PEYNİR ÜRETİM DURUMU

Fonksiyonel gıdalar, içecekler ve diyet takviyeleri için pazardaki canlılık ve yenilikçilik, mikroorganizmaların sağlığı geliştirmedeki rolü, sürekli klinik araştırma ve probiyotiklerin sunabileceği faydalar hakkında daha fazla farkındalıkla desteklenmektedir. Dünya çapında, probiyotiklere talep olmasının sebebi, son zamanlarda çok sayıda ürün lansmanına ve artan satışlara tanıklık eden fonksiyonel yiyecek/içecek ve tamamlayıcı pazarlar oluşmasıdır. Probiyotik ürünler pazarı, probiyotik yiyecekler ve içecekler, probiyotik takviyeler ve probiyotik hayvan yemlerini içermektedir.

Küresel probiyotik pazarı 2019'da yaklaşık 46.20 Milyar ABD Doları değerindeydi ve 2020 ile 2026 arasında yaklaşık 7.35'lik bir birleşik büyüme oranı ile 75.90 Milyar ABD Dolarına ulaşacağı tahmin ediliyor [53].

Son dört yılda (2017-2020) genel probiyotik pazarında faaliyet gösteren kilit oyuncular Probi AB (İsveç), BioGaia AB (İsveç), Nestle SA (İsviçre), Chr. Hasen Holding A / S (Danimarka), Danone SA (Fransa), Yakult Honsha Co., Ltd. (Japonya), Lallemand Inc. (Kanada), Lifeway Foods Inc. (ABD), Dupont de Nemours, Inc. (ABD), Kerry Group PLC (İrlanda), Archer Daniels Midland Co. (ABD), Deerland Probiotics & Enzymes Inc. (ABD), PepsiCo Inc. (ABD), Evolve Biosystems (ABD), Cell BiotechCo., Ltd. (Kore) ve Probiotal SpA (İtalya)'dır [53]. Ülkemizde de 2010 yılından beri Ar-ge firması olan ve kültür üretimi ile perakende satışta yer alan Danem Ltd.Şti. yer almaktadır.

Gıda alanında probiyotiklerin çok farklı ürünlerde kullanımı elbette vardır. Dr. Mark R. Windt (New Hampshire) peynire olan tutkusunu ve tıbbi uzmanlığını, aynı zamanda laktöz ve şeker içermeyen pastörize, probiyotik bir peynir (8-9 log kob/g) geliştirmiş ve Probiotic CheeseCo. (North Hampton)'da canlı kültürler içeren sağlıklı bir probiyotik çedar peynirlerini sade ve farklı aromalı peynirleri Kuzey Atlantik Bölgesi'nde Whole Foods market zincirlerinde pazara sunmaktadır [54]. Family Food Fiesta ve Nancy's firmaları cottage probiyotik peyniri üreten başka bir firmalarıdır. Finger Lakes Dexter Creamery, kefir kullanarak probiyotik peynir yapımı ile 80-90 güne kadar probiyotik canlılığını sağladığını belirtmişlerdir. Bunker Hill Cheese Company firması farklı probiyotik kültür kullanarak sekiz farklı aromada peynirler üretmektedir. 2007'de atılım yapan Kraft'dan Live Active doğal peynir atıştırılabilirliğini üretmiştir. Koliforniya'da 50 yıldan fazladır doğal ürünler üreten bir firma olup 2017'de probiyotik yumuşak krem peynir ürünü ile ürün yelpazesine dahil etmiştir. Bunlar bu pazarda yer alan birkaç probiyotik peynir üreticileridir [55].

Faydalı bağırsak bakterileri olarak bilinen probiyotikler global sıçraması Türkiye'ye de taşıdı, ekmekten bebek mamalarına, dondurmadan yoğurda kadar günlük beslenme alışkanlıklarının tüm süreçlerine yapılan farklı Ar-Ge çalışmalarıyla girmektedir. Bu pazar önümüzdeki 5 yılda 2 kat büyümeye devam edeceği düşünülmektedir.

Türkiye'de peynir tüketimi, 2020 Temmuz ayı verilerine göre yaklaşık 6 milyon ton süt üretiminin inek ve diğer peynirlerin grubundaki üretim miktarı 450 bin ton olarak belirtilmektedir. Süt ürünleri arasında yoğurt ürününden sonra ikinci olarak peynir ürünü yer almaktadır [56]. Ülkemizde probiyotik peynir üretimini Bahçivan ve Köklü süt ve süt ürünleri yapmaktadır. Ticari olarak kullandıkları probiyotik kültür ile ilgili bilgi verilmemektedir.

V. SONUÇ

İnsanların yaşayış şekilleri değiştikçe beslenme alışkanlıkları da değişmektedir. Özellikle genç ve çocuk yaştaki bireyler mikroorganizma içeren fermente ürünleri oldukça az tüketmektedirler. Toplumumuzda tüketilecek -başta bağırsak sağlığımız ve dolaylı olarak bağışıklık sistemimizin

ihtiyacı olan- yararlı probiyotiklerin alımına alternatif ürünler geliştirmek biz araştırmacılara düşen bir görevdir. Probiyotik mikroorganizmaların alternatif olarak geliştirilecek peynir ürünlerinde kullanılması ile ilgili literatürler ve sektördeki durumu bu derlemede detaylı olarak sunulmuştur.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Gıda Müh. Bölümü yüksek lisans programında öğrenci olan Nilüfer Sena Aydoğdu'nun seminer çalışmasıdır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] M. Afzaal, A. U. Khan, F. Saeed, A. Ahmed, M. H. Ahmad, A. A. Maan and S.Hussain, "Functional exploration of free and encapsulated probiotic bacteria in yogurt and simulated gastrointestinal conditions," *Food Science & Nutrition*, vol. 7, no. 12, pp. 3931-3940,2019.
- [2] R. Saxena and N. Gupta, "Health benefits of probiotic fermented foods," *Journal of Critical Reviews*,vol.7, no. 9, pp. 1344-1348,2020.
- [3] F. R. Rolim, O. C. F. Neto, M. E. G.Oliveira, C. J. Oliveira and R. C. Queiroga, "Cheeses as food matrixes for probiotics: In vitro and in vivo tests,"*Trends in Food Science & Technology*,vol. 100, pp. 138-154, 2020.
- [4] N. P. Shah, "Functional cultures and health benefits," *International Dairy Journal*, vol.17, no.11, pp. 1262-1277,2007.
- [5] S. D. Forssten, C. W. Sindelar and A. C. Ouwehand, "Probiotics from an industrial perspective," *Anaerobe*, vol. 17, no. 6, pp. 410-413, 2011.
- [6] R. Agrawal, "Probiotics: an emerging food supplement with health benefits," *Food Biotechnology*, vol. 19, no. 3, pp. 227-246, 2005.
- [7] Q. G. S. Meira, M. Magnani, F. C. de Medeiros Júnior, R. D. C. R. do Egito, M. S. Madruga, B. Gullón and E. L. de Souza, "Effects of added *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* probiotics on the quality characteristics of goat ricotta and their survival under simulated gastrointestinal conditions," *Food Research International*, vol. 76, pp. 828-838, 2015.
- [8] J. Burgain, C. Gaiani, M. Linder and J. Scher, " Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications," *Journal of Food Engineering*, vol. 104, no. 4, pp. 467-483, 2011.
- [9] F. Ortakci, J. R. Broadbent, W. R. McManus and D. J. McMahon, "Survival of microencapsulated probiotic *Lactobacillus paracasei* LBC-1e during manufacture of Mozzarella cheese and simulated gastric digestion," *Journal of Dairy Science*, vol. 95, no. 11, pp. 6274-6281, 2012.
- [10] E. Isolauri, Y. Sütas, P. Kankaanpää, H. Arvilommi and S. Salminen, "Probiotics: effects on immunity," *The American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 73, no. 2, pp. 444s-450, 2001.
- [11] Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinin Genel Etiketleme ve Beslenme Yönünden Etiketleme Kuralları Tebliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Tebliği. (2006, 17 Aralık). heTarım ve Köyişleri Bakanlığı. [Online]. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/07/20060707-14.htm>.
- [12] B. Özer, H. A. Kirmaci, E. Şenel, M. Atamer and A. Hayaloğlu, "Improving the viability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in white-brined cheese by microencapsulation," *International Dairy Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 22-29, 2009.

- [13] T. Erkaya, "Probiyotik kültürlerle üretilen beyaz peynirlerin olgunlaşma süresince bazı kalite özellikleri ve oluşan peptitlerin biyoaktivitesinin belirlenmesi," Doktora tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2014.
- [14] A. G. da Cruz, F. C. A. Buriti, C. H. B. de Souza, J. A. F. Faria and S. M. I. Saad, "Probiotic cheese: health benefits, technological and stability aspects," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 20, no. 8, pp. 344-354, 2009.
- [15] L. Blanchette, D. Roy, G. Belanger and S. F. Gauthier, "Production of cottage cheese using dressing fermented by bifidobacteria," *Journal of Dairy Science*, vol. 79, no. 1, pp. 8-15, 1996.
- [16] M. Gobbetti, A. Corsetti, E. Smacchi, A. Zocchetti and M. DeAngelis, "Production of Crescenza cheese by incorporation of Bifidobacteria," *Journal of Dairy Science*, vol. 81, pp. 37-47, 1997.
- [17] M. Phillips, K. Kailasapathy and L. Tran, "Viability of commercial probiotic cultures (*L. acidophilus*, *Bifidobacterium* sp., *L. casei*, *L. paracasei* and *L. rhamnosus*) in cheddar cheese," *International Journal of Food Microbiology*, vol. 108, no. 2, pp. 276-280, 2006.
- [18] F. C. Buriti, J. S. Da Rocha and S. M. Saad, "Incorporation of *Lactobacillus acidophilus* in Minas fresh cheese and its implications for textural and sensorial properties during storage," *International Dairy Journal*, vol. 15, no. 12, pp. 1279-1288, 2005.
- [19] C. V. Bergamini, E. R. Hynes and C. A. Zalazar, "Influence of probiotic bacteria on the proteolysis profile of a semi-hard cheese," *International Dairy Journal*, vol. 16, no. 8, pp. 856-866, 2006.
- [20] B. Özer, H. A. Kirmaci, E. Şenel, M. Atamer and A. Hayaloğlu, "Improving the viability of *Bifidobacterium bifidum* BB-12 and *Lactobacillus acidophilus* LA-5 in white-brined cheese by microencapsulation," *International Dairy Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 22-29, 2009.
- [21] M. M. Milesi, G. Vinderola, N. Sabbag, C. A. Meinardi and E. Hynes, "Influence on cheese proteolysis and sensory characteristics of non-starter lactobacilli strains with probiotic potential," *Food Research International*, vol. 42, no. 8, pp. 1186-1196, 2009.
- [22] G. E. Gardiner, P. Bouchier, E. O'Sullivan, J. Kelly, J. K. Collins, G. Fitzgerald and C. Stanton, "A spray-dried culture for probiotic Cheddar cheese manufacture," *International Dairy Journal*, vol. 12, no. 9, pp. 749-756, 2002.
- [23] C. V. Bergamini, E. R. Hynes, A. Quiberoni, V. B. Suárez and C. A. Zalazar, "Probiotic bacteria as adjunct starters: influence of the addition methodology on their survival in a semi-hard Argentinean cheese," *Food Research International*, vol. 38, no. 5, pp. 597-604, 2005.
- [24] A. A. Gomes, S. P. Braga, A. G. Cruz, R. S. Cadena, P. C. B. Lollo, C. Carvalho and H. M. A. Bolini, "Effect of the inoculation level of *Lactobacillus acidophilus* in probiotic cheese on the physicochemical features and sensory performance compared with commercial cheeses," *Journal of Dairy Science*, vol. 94, no. 10, pp. 4777-4786, 2011.
- [25] C. V. Bergamini, E. R. Hynes, S. B. Palma, N. G. Sabbag and C. A. Zalazar, "Proteolytic activity of three probiotic strains in semi-hard cheese as single and mixed cultures: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus paracasei* and *Bifidobacterium lactis*," *International Dairy Journal*, vol. 19, no. 8, pp. 467-475, 2009.

- [26] G. Vinderola, W. Prosello, F. Molinari, D. Ghiberto and J. Reinheimer, "Growth of *Lactobacillus paracasei* A13 in Argentinian probiotic cheese and its impact on the characteristics of the product," *International Journal of Food Microbiology*, vol. 135, no. 2, pp. 171-174, 2009.
- [27] M. H. Fortin, C. P. Champagne, D. St-Gelais, M. Britten, P. Fustier and M. Lacroix, "Effect of time of inoculation, starter addition, oxygen level and salting on the viability of probiotic cultures during Cheddar cheese production," *International Dairy Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 75-82, 2011.
- [28] M. Scheller and D. J. O'Sullivan, "Comparative analysis of an intestinal strain of *Bifidobacterium longum* and a strain of *Bifidobacterium animalis* subspecies lactis in Cheddar cheese," *Journal of Dairy Science*, vol. 94, no. 3, pp. 1122-1131, 2011.
- [29] F. Minervini, S. Siragusa, M. Faccia, F. Dal Bello, M. Gobetti and M. De Angelis, "Manufacture of Fior di Latte cheese by incorporation of probiotic lactobacilli," *Journal of Dairy Science*, vol. 95, no. 2, pp. 508-520, 2012.
- [30] H. Mirzaei, H. Pourjafar and A. Homayouni, "Effect of calcium alginate and resistant starch microencapsulation on the survival rate of *Lactobacillus acidophilus* La5 and sensory properties in Iranian white brined cheese," *Food Chemistry*, vol. 132, no. 4, pp. 1966-1970, 2012.
- [31] B. Özer, Y. S. Uzun and H. A. Kirmaci, "Effect of microencapsulation on viability of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 and *Bifidobacterium bifidum* BB-12 during Kasar cheese ripening," *International Journal of Dairy Technology*, vol. 61, no. 3, pp. 237-244, 2008.
- [32] K. M. Amine, C. P. Champagne, Y. Raymond, D. St-Gelais, M. Britten, P. Fustier and M. Lacroix, "Survival of microencapsulated *Bifidobacterium longum* in Cheddar cheese during production and storage," *Food Control*, vol. 37, pp. 193-199, 2014.
- [33] A. Kasımoğlu, M. Göncüoğlu and S. Akgün, "Probiotic white cheese with *Lactobacillus acidophilus*," *International Dairy Journal*, vol. 14, no. 12, pp. 1067-1073, 2004.
- [34] M. Albenzio, A. Santillo, M. Caroprese, D. Ruggieri, F. Napolitano and A. Sevi, "Physicochemical properties of Scamorza ewe milk cheese manufactured with different probiotic cultures," *Journal of Dairy Science*, vol. 96, no. 5, pp. 2781-2791, 2013.
- [35] P. Burns, F. Cuffia, M. Milesi, G. Vinderola, C. Meinardi, N. Sabbag and E. Hynes, "Technological and probiotic role of adjunct cultures of non-starter lactobacilli in soft cheeses," *Food Microbiology*, vol. 30, no. 1, pp. 45-50, 2012.
- [36] L. Ong and N. P. Shah, "Release and identification of angiotensin-converting enzyme-inhibitory peptides as influenced by ripening temperatures and probiotic adjuncts in Cheddar cheeses," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 41, no. 9, pp. 1555-1566, 2008.
- [37] L. Ong and N. P. Shah, "Probiotic Cheddar cheese: Influence of ripening temperatures on survival of probiotic microorganisms, cheese composition and organic acid profiles," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 42, no. 7, pp. 1260-1268, 2009.
- [38] B. A. Effat, A. M. Mabrouk, Z. I. Sadek, G. A. Hussein and M. N. Magdoub, "Production of novel functional white soft cheese," *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, vol. 2021, pp. 1259-1278, 2021.
- [39] F. Cuffia, G. George, P. Renzulli, J. Reinheimer, C. Meinardi and P. Burns, "Technological challenges in the production of a probiotic pasta filata soft cheese," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 81, pp. 111-117, 2017.

- [40] N. Y. Farkye, "Cheese technology," *International Journal of Dairy Technology*, vol. 57, no. 2-3, pp. 91-98, 2004.
- [41] P. de Vos, M. M. Faas, M. Spasojevic and J. Sikkema, "Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components," *International Dairy Journal*, vol. 20, no. 4, pp. 292-302, 2010.
- [42] I. A. Doolan, A. B. Nongonierma, K. N. Kilcawley and M. G. Wilkinson, "Partitioning of starter bacteria and added exogenous enzyme activities between curd and whey during Cheddar cheese manufacture," *International Dairy Journal*, vol. 34, no. 1, pp. 159-166, 2014.
- [43] S. Jeanson, J. Chadoeuf, M. N. Madec, S. Aly, J. Floury, T. F. Brocklehurst and S. Lortal, "Spatial distribution of bacterial colonies in a model cheese," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 77, no. 4, pp. 1493, 2011.
- [44] C. Le Boucher, V. Gagnaire, V. Briard-Bion, J. Jardin, M. B. Maillard, G. Dervilly-Pinel and A. Thierry, "Spatial distribution of *Lactococcus lactis* colonies modulates the production of major metabolites during the ripening of a model cheese," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 82, no. 1, pp. 202, 2016.
- [45] P. L. H. McSweeney and P. F. Fox, "Metabolism of residual lactose and of lactate and citrate," *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, vol. 1, pp. 361-371, 2004.
- [46] R. Karimi, A. M. Mortazavian and A. G. Da Cruz, "Viability of probiotic microorganisms in cheese during production and storage: a review," *Dairy Science & Technology*, vol. 91, no. 3, pp. 283-308, 2011.
- [47] T. D. Boylston, C. G. Vinderola, H. B. Ghodducci and J. A. Reinheimer, "Incorporation of bifidobacteria into cheeses: challenges and rewards," *International Dairy Journal*, vol. 14, no. 5, pp. 375-387, 2004.
- [48] F. G. Martley and R. C. Lawrence, "Cheddar cheese flavour. II. Characteristics of single strain starters associated with good or poor flavour development," *NZJ Dairy Technol*, vol. 7, pp.38, 1972.
- [49] R. J. Lowrie, R. C. Lawrence and L. E. Pearce, "Cheddar cheese flavour. III. The growth of lactic streptococci during cheesemaking and the effect on bitterness development." *NZJ Dairy Technol*, vol. 7, pp. 44, 1972.
- [50] R. J. Lowrie and R. C. Lawrence, "Cheddar cheese flavour. IV. A new hypothesis to account for the development of bitterness," *NZJ Dairy Technol*, vol. 7, pp. 52, 1972.
- [51] M. G. Wilkinson, T. P. Guinee, D. M. O'Callaghan, P. F. Fox, "Autolysis and proteolysis in different strains of starter bacteria during Cheddar cheese ripening," *Journal of Dairy Research*, vol.61, no. 2, pp. 249-262, 1994.
- [52] M. G. Wilkinson, G. LaPointe, "Invited review: Starter lactic acid bacteria survival in cheese: New perspectives on cheese microbiology," *Journal of Dairy Science*, vol. 103, no. 12, pp. 10963-10985, 2020.
- [53] "Global Probiotics Market (2020 to 2025) - by Product Type, Strain, Form, Sales Channel, and Geography," (2020, 17 Aralık). [Online]. Available: <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/10/08/2105400/0/en/Global-Probiotics-Market-2020-to-2025-by-Product-Type-Strain-Form-Sales-Channel-and-Geography.html>.

[54] The Probiotic Cheese Company, Think USA Dairy Site, (2018, 17 Aralık). [Online]. Available: <https://www.thinkusadairy.org/us-specialty-cheese-gallery/new-hampshire/the-probiotic-cheese-company>.

[55] S. Zonis, “ Probiotic Foods-Part IV: Foods Containing Probiotics, Prebiotics Or Both ~ Lassi, Cheese & Kefir,” (2020, 15 Aralık).[Online]. Available:<http://76.12.135.232/reviews/nutri/probiotic-foods4.asp>.

[56] Süt ve Süt Ürünleri Üretim İstatistikleri, *TUİK, Sayı:33701*, (2020, 10 Aralık) [Online]. Available: <https://tuikweb.tuik.gov.tr/HbPrint.do?id=33701>.