



DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ
BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ

Düzce University
Journal of
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

Cilt
Volume

10

Sayı
Issue

4

Ekim/October
2022

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

Pınar GÜLTEKİN (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
Suat SARIDEMİR
Ümit AĞBULUT

Yardımcı Editörler

Assistant Editors

Ufuk ÇİFCİ
Vesile YALÇIN
Özlem ÖZKAN ÖNÜR
Nisa KAPLAN
Ahmet AYTEĞİN

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Pınar GÜLTEKİN

Yayın Kurulu

Editorial Board

Ahmet Bora KIRKLIKÇI, Karamanoğlu Mehmet Bey
Üniversitesi, Türkiye
Ahmet DEMİR, Düzce 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
Engin EROĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fatih TAŞPINAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Fatih YILMAZ, Bayburt Üniversitesi, Türkiye
Fuat KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
G. Alev ÖZKÖK, Hacettepe Üniversitesi, Türkiye

Hakan ARSLAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Harun BAYRAKDAR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hüseyin BUDAK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Hüseyin BAKIR, Doğu Üniversitesi, Türkiye
İrem DÜZDAR ARGUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Koray ŞARKAYA, Pamukkale Üniversitesi, Türkiye
Mecit AKSU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Melike ERDOĞAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mert YILDIRIM, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Metin TOZ, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi,
Türkiye
Mevlüt ERSOY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye
Muhammet GÜL, Munzur Üniversitesi, Türkiye
Murat EYVAZ, Gebze Teknik Üniversitesi, Türkiye
Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi, Türkiye
Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Mustafa DAYI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuray Benli YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Pınar GÜLTEKİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Revna ACAR VURAL, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Salih Tunç KAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Semih ÖZDEN, Milli Savunma Üniversitesi, Türkiye
Sercan SERİN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Türkiye
Serhat DUMAN, Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi,
Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Tikendra Nath VERMA, Maulana Azad National
Institute of Technology, Hindistan
Turgay BİRTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ümit AĞBULUT, 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 KİŞİOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Uluslararası Danışma Kurulu
International Advisory Board

Abdelilah SLAOUİ, Université 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,
Portugal
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

10

Sayı
Issue

4

Ekim / October
2022

Ürün Bilgisi

Product Information

Yayıncı
Publisher

Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Düzce University Institute of Graduate Programs

Sahibi

Pınar GÜLTEKİN (Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü)

Owner

(D. Ü. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü adına)
(On behalf of D. U. Institute of Graduate Programs)

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Publishing Manager

Pınar GÜLTEKİN

Web Sayfası
Web Page

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

Basım Tarihi
Date of Publication

Ekim 2022
October 2022

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

Sürekli 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

BIYOLOJİ / BİYOKİMYA / BİYOMEDİKAL / MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK / SU ÜRÜNLERİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1654-1663 *Malva neglecta* Wallr. (Ebegümeçi)'nin In vitro Biyoaktif ve Fitokimyasal Özellikleri
In vitro Bioactive and Phytochemical Properties of *Malva neglecta* Wallr. (Mallow)
Fatma KESER, Mustafa KARATEPE, Serhat KESER, Suat TEKİN, İsmail TÜRKOĞLU, Ömer KAYGILI, Ersin DEMİR, Ökkeş YILMAZ, Süleyman SANDAL, Sevda KIRBAĞ
- 1664-1669 Investigation of Genotoxic Effects of Imazamox Herbicide on Zebrafish (*Danio rerio*) Using Micronucleus Assay
İmazamoks Herbisidinin Zebra Balığı (*Danio rerio*) Üzerine Olan Genotoksik Etkisinin Mikronukleus Yöntemi Kullanılarak Araştırılması
Pinar GOC RASGELE, Guncha MEREDOVA, Serife Gulsun KIRANKAYA
- 1725-1735 Tıbbi Ortamlarda Kullanılan Portatif Hava Temizleme Sistemi
Portable Air Purification System Used in Medical Environments
Yiğit Ali ÜNCÜ, Onur KOÇAK
- 2067-2078 Yakın İlişkili Orkide Cinsleri *Anacamptis*, *Neotinea* ve *Orchis*'in Karşılaştırmalı Damar Morfometrisi
Comparative Vein Morphometry of Closely Related Orchid Genera *Anacamptis*, *Neotinea* and *Orchis*
Şenay SÜNGÜ ŞEKER
- 2093-2106 Hastane Aciline Gelenlerde Kalp Krizi Risk Olasılığının Belirlenmesi için Bir Karar Destek Sisteminin Oluşturulması
Establishment of a Decision Support System for Determining the Risk Probability of Heart Attack in Hospital Emergency Visitors
Gülizar ÖZDEMİR BAKIRHAN, Ömer BİLEN, Sezen CANIM ATEŞ
- 2144-2154 Impact of Some Entomopathogenic Fungi on the Growth of *Zea mays* L. and *Helianthus annuus* L.
Bazı Entomopatojenik Fungusların *Zea mays* L. ve *Helianthus annuus* L.'nin Büyümesi Üzerindeki Etkisi
Fadime DONBALOĞLU BOZCA, Ardahan ESKİ, Sema LEBLEBİCİ

BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1748-1762 Beyin Tümör Tespiti İçin Derin Öğrenme Temelli Bilgisayar Destekli Tanı Sistemi
Deep Learning Based Computer Aided Diagnostic System for Brain Tumor Detection
Tarıkcın DOĞANAY, Oktay YILDIZ
- 1793-1810 Türkçe YouTube Yorumları Üzerinde Spam Filtreleme
Spam Filtering on Turkish YouTube Comments
Sevinj SHİRZADOVA, Alper Kürşat UYSAL

CEVRE / ZİRAAT / JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1984-1997 İki Disazo Boyanın *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae) Üzerindeki Mortalite Etkisi ve Akut Toksisitesinin İncelenmesi
Evaluation of Mortality Effect and Acute Toxicity of Two Disazo Dyes on *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae)
Fikret SARI
- 1998-2014 Optimization of Hybrid Sonophotocatalytic Decolorization of Rhodamine B (RhB) Dye Using TiO₂ Nanocatalyst
TiO₂ Nanokatalizörü Kullanarak Rodamin B (RhB) Boyasının Hibrit Sonofotokatalitik Renk Giderimi Optimizasyonu
Gamze DOĞDU

ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1949-1959 Farklı En Boy Oranlarına Sahip Dikdörtgensel Prizmatik Cisimler Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Olarak İncelenmesi
Experimental Investigation of Flow Structure Around Rectangular Prismatic Bodies with Different Aspect Ratios
Cemre POLAT, Doğan Burak SAYDAM, Mustafa SÖYLER , Coşkun ÖZALP
- 2028-2038 Duvar Bloklarında Boşluk Geometrisinin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi
Analysis of the Effect of Hollow Geometry of Wall Blocks on Heat Transfer

Ersin HAYDARASLAN , Burhan ÇUHADAROĞLU

- 2107-2119 Bi-2223 Süperiletken Seramiklerde Peletizasyon Basıncının Yapısal, Elektriksel ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi
The Effect of Pelletization Pressure on Structural, Electrical, and Mechanical Properties of Bi-2223 Superconducting Ceramics
Emre KARA, Muhsin Uğur DOĞAN, Şenol KAYA, Rıfki TERZİOĞLU, Gürcan Yıldırım, Cabir TERZİOĞLU

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ / ENDÜSTRİYEL TASARIM MÜHENDİSLİĞİ

Derleme Makale / Review Article

- 2079-2092 Ahşap Yüzeylerde Boya/Vernikleri Temizlemek İçin Kullanılan Çevreci Yöntem ve Medyalar
Environmental Methods and Media Used to Clean Paint/Varnish on Wooden Surfaces
İzham KILINÇ, Mehmet BUDAKÇI, Mustafa KORKMAZ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1811-1825 Kenet Genişliğinin Yığma Taş Bloklarının Kayma Davranışı Üstündeki Etkisinin İncelenmesi
Investigation of the Effect of Clamp Width on the Sliding Behavior of Masonry Stone Blocks
Şükran TANRIVERDİ, Tülin ÇELİK, Ali URAL, Fatih Kürşat FIRAT
- 1826-1837 Farklı Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin Yapı Sismik Davranışına Etkileri
Effect of Different Friction Pendulum Bearings on Seismic Behavior of Structures
Muhamad ZULFAKAR, Ali İhsan KARAKAŞ
- 1926-1938 TBDY-2018 ve RYTEİE-2019 Kapsamında Tarihi Bir Yığma Binanın Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi
Assessment of Seismic Performance of a Historical Masonry Building within The Scope of TBEC-2018 and PDRS-2019
Akın TÜRKOĞLU, Hilal MEYDANLI ATALAY
- 2015-2027 SPT-N' den Hesaplanan Zeminin Kayma Dalgası (Vs)'nin Eskişehir Zemini için İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi
Statistical Evaluation of the Shear Wave (Vs) of Soil Calculated from SPT-N for the Eskisehir Ground
Ebru CİVELEKLER, Yücel GÜNEY

- 2052-2066 Binaların Deprem Risk Durumlarının Çok Faktörlü Bir Modelle Belirlenmesi
Determination of Earthquake Risk with A Multi Factor Model
Ercan ÖZGAN, Hüseyin BAYRAKTAR, Sinan GÜL
- 2155-2164 Sismik İzolatörlü Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi
Investigation of the Factors Affecting the Design of Seismic Isolated Structures
Esra ALASAF, Hakan ÖZTÜRK

KİMYA / FİZİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1715-1724 Effects of Mn-site doping on the magnetocaloric properties of La_{0.62}Bi_{0.05}Ca_{0.33}Mn_{1-x}Ru_xO₃ manganite system
Mn-bölgesi Katkılamasının La_{0.62}Bi_{0.05}Ca_{0.33}Mn_{1-x}Ru_xO₃ Manganit Sisteminin Manyetokalorik Özellikleri Üzerine Etkileri
Selda Kılıç ÇETİN, Gönül AKÇA, Ahmet EKİCİBİL
- 1736-1747 (1-x).Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃/x.Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ (x=0, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.0) Kompozit Malzemelerinin Yapısal, Morfolojik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi
Investigation of Structural, Morphological and Electrical Properties of (1-x).Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃/x.Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ (x=0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0) Composite Materials
Atilla COŞKUN, Benay PERK, Okan AVCI, Barış ALTAN
- 1763-1775 2,6-bis-benzimidazolpiridin Esaslı Çinko(II) Kompleksinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi
Synthesis, Characterization and Investigation of Electrochemical Properties of Zinc(II) Complex Based on 2,6-bis-benzimidazolepyridine
Fatih PEKDEMİR
- 2133-2143 Employing of 2-Acetylpyridine Based Chalcone as Hg²⁺ Sensing Material: Experimental and Theoretical Examination
2-Asetilpiridin Bazlı Kalkonun Hg²⁺ Sensör Malzemesi Olarak Kullanılması: Deneysel ve Teorik İnceleme
Ahmad Badreddin MUSATAT, Alparslan ATAHAN, Mecit AKSU, Mustafa ZENGİN
- 2178-2185 Elektro Eğirme Yöntemiyle ZnO Nanofiberlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu
Fabrication and Characterization of ZnO nanofibers by Electrospinning Technique
Deniz Kadir TAKCI

MAKİNE / MEKATRONİK / MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1631-1653 Investigation of Methods to Increase Energy Efficiency in Old Buildings: A Case Study on a School Building Constructed in 2007
Eski Binalarda Enerji Verimliliğini Artırma Yöntemlerinin Araştırılması: 2007'de İnşa Edilen Bir Okul Binası Üzerine Bir Vaka Çalışması
Esra AKGÜL , Erhan KAYABAŞI, Bülent ÖZDALYAN
- 1670-1688 Elektrikli Araçların Performanslarının CRITIC-EATWIOS ile Değerlendirilmesi
Evaluation of Electric Vehicles Performance via CRITIC-EATWIOS
Elif ÇALOĞLU BÜYÜKSELÇUK, Hakan TOZAN
- 1689-1700 Al6061 Talaşının Toz Metalurjisi ile Geri Kazanımı
Recycling of Al6061 Chip by Powder Metallurgy
Ümit Gencay BAŞCI, Hasan İsmail YAVUZ, Rıdvan YAMANOĞLU
- 1701-1714 Türkiye'de Üretilen Elektrikli ve İçten Yanmalı Motorlu Araçların Karşılaştırmalı Çevresel Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
Environmental Life Cycle Assessment of Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles Manufactured in Turkey
Fehmi Görkem ÜÇTUĞ
- 1776-1792 Experimental and Theoretical Study on Behaviour of Geometrically Asymmetric Composite Marine Sandwich Beams under Bending Load
Geometrik Olarak Asimetrik Kompozit Sandviç Kirişlerin Eğilme Yükü Altındaki Davranışı Üzerine Deneysel ve Teorik Çalışma
Fatih BALIKOĞLU, Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU
- 1865-1872 S-SBR (Solution Stiren Bütadien Kauçuk) Bazlı Kauçuk Karışımlarına Farklı Karbon Siyahlarının Etkisi
Effect of Different Carbon Blacks on S-SBR (Solution Styrene Butadien Rubber) Based Rubber Mixtures
Gasim ALTUNDAL, Tuğçe GÖRMÜŞER, Metin KURU, Esra ÇETİN, İlyas UĞUR
- 1873-1889 Gaz Tungsten Ark Kaynaklı 10 mm Kalınlığındaki AISI 316L Bağlantıların İyapı ve Mekanik Karakterizasyonu
Microstructural and Mechanical Characterization of Gas Tungsten Arc Welded 10 mm Thick AISI 316L Joints
H. Tarık SERİNDAĞ, Gürel ÇAM
- 1910-1925 Bir İşletmeye Ait Yardımcı Tesislerin Enerji Tüketimi ve Verimliliğinin İncelenmesi

Investigation of Energy Consumption and Efficiency an Enterprise's Auxiliary Facilities

Özge CURA, Elif ÖĞÜT

1910-1925 Fanların Performans Analizi İçin Amca 210-16 Standardına Göre Test Düzenegi Tasarımı ve Farklı Kanat Açılarının Fan Performansına Etkisinin Araştırılması
Design of Test Set Up According to Amca 210-16 Standard for Performance Analysis of Fans and Investigation of the Effect of Different Blade Angles on Fan Performance

Aziz Hakan ALTUN

2039-2051 Farklı Dispersiyon Tekniklerinin Elektroğirilmiş Karbon Nanotüp/ Termoplastik Poliüretan Nanokompozitlerin Elektromekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi
Experimental Investigation of The Effects of Different Dispersion Techniques on The Electromechanical Properties of Electrospun Carbon Nanotube/ Thermoplastic Polyurethane Nanocomposites

Abdulkadir ŞANLI

2120-2132 Industry 4.0 and Cybersecurity at Automobile Manufacturing in Smart Factories
Akıllı Fabrikalardaki Otomobil İmalatında Endüstri 4.0 ve Siber Güvenlik

Cevat ÖZARPA, İsa AVCI

Derleme Makale / Review Article

1890-1909 Doku Mühendisliğinde Yeni Tip Grafen Esaslı Kemik İskelesi Şablon A New Yype of Graphene Based Bone Scaffold in Tissue Enginnering

Mine Kırkbınar, Erhan İbrahimoglu, Fatih Çalışkan

MİMARLIK / PEYZAJ MİMARLIĞI / ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA

Araştırma Makalesi/ Research Article

1939-1948 Dijital Teknolojiler Aracılığıyla Kültürel Mirasa Erişim: Akdamar Kilisesi'nin Etkileşimli 3B Modeli
Access to Cultural Heritage Through Digital Technologies: Interactive 3D Model of Akdamar Church

Ahmet USLU

1960-1983 İyileştiren Hastane Yaklaşımı ve 21. Yüzyılın Sağlık Kampüslerine Yönelik Tasarım İlkeleri
Patient-Centered Healing Hospital Approach and Architectural Design Principles for 21st Century Health Campuses

Nazlıcan BİRİNCİ ERTÜRK, Gaye BİROL

TURİZM İŞLETMECİLİĞİ

Derleme Makale / Review Article

1838-1864

Dijital Sınırların Sonsuzluğu: Günlük Hayattan Somut Örnekler
The Infinity of Digital Borders: Concrete Examples from Daily Life
Yıldırım YILDIRIM, Hatice YILDIRIM



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Investigation of Methods to Increase Energy Efficiency in Old Buildings: A Case Study on a School Building Constructed in 2007

 Esra AKGÜL^a,  Erhan KAYABAŞI^{a*},  Bülent ÖZDALYAN^a

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: erhankayabasi@karabuk.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.924358

ABSTRACT

In this study, the energy efficiency study of the school building whose construction was completed in 2007 was conducted. First of all, information about energy consumption and the amount of CO₂ emission released into the atmosphere was obtained by measuring the building elements, heating system, piping and lighting system. Afterward, some suggestions were made in the areas where energy consumption is high and inefficient, in line with efficiency-increasing methods, considering the relevant standards and regulations. Finally, with these proposed improvements, the energy savings of the building, the economic value of this savings and the reduction in carbon emission are calculated. As a result of the study, 65.04 kWh/m² energy and 0.012 tonCO₂/m² carbon emission savings per unit area, 334 379 kWh/year energy and 66.18 tonCO₂/year carbon emission savings, the investment cost of 319 653 TL as 65.2 TL/m² per unit area., and 6.1 years payback period was calculated.

Keywords: Old buildings, energy efficiency, energy saving, CO₂ emissions, environment

Eski Binalarda Enerji Verimliliğini Artırma Yöntemlerinin Araştırılması: 2007'de İnşa Edilen Bir Okul Binası Üzerine Bir Vaka Çalışması

ÖZ

Bu çalışmada 2007 yılında inşaatı tamamlan okul binasının enerji verimliliği etüdü gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, yapı elemanları, ısıtma sistemi, boru tesisatı, aydınlatma sistemi üzerinde ölçümler gerçekleştirilerek enerji tüketimi ve atmosfere bıraktığı CO₂ emisyon miktarı hakkında bilgilere ulaşılmıştır. Sonrasında binada enerji tüketiminin fazla ve verimsiz olduğu bölümlerde, ilgili standart ve yönetmelikler de göz önünde bulundurularak verimlilik artırıcı yöntemler doğrultusunda birtakım öneriler sunulmuştur. Önerilen bu iyileştirmeler ile binanın enerji tasarrufu, bu tasarrufun ekonomik değeri ve karbon emisyonundaki düşüş hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda; birim alan başına 68.24 kWh/m² miktar enerji ve 0.0135 tonCO₂/m² miktar karbon emisyon tasarrufu ile 334 379 kWh/yıl miktar enerji ve 66.18 tonCO₂/yıl miktar karbon emisyon tasarrufu, birim alan başına 65,2 TL/m² olmak üzere 319 653 TL yatırım maliyeti ve 6,1 yıl geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Eski binalar, enerji verimliliği, enerji tasarrufu, CO₂ emisyonları, çevre

I. INTRODUCTION

The effect of petroleum originated fuel prices on macroeconomy is a popular topic in the economy [1]. Today, fossil fuels such as oil and natural gas still dominate global energy consumption. Energy consumption in buildings accounts for approximately 40% of global energy consumption and contributes about 30% to global CO₂ emissions [2]. In addition, it is predicted that the energy consumption in buildings will increase by approximately 1.5-2.4% annually until 2040. Therefore, it is critical to reducing energy consumption and CO₂ emissions in buildings [3], [4]. Energy consumption rates have paved the way for many studies to improve energy efficiency in buildings worldwide. In particular, studies on materials used in the construction of buildings, the use of thermal insulation materials and reflective paints, energy optimization and life-cycle analysis, research of energy efficiency areas for the renovation of existing buildings, optimization of heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems and lighting system management were intensified in recent years [2], [5]. In this context, Turkey aims to reduce energy intensity (energy consumed per national income) up to 2023, by at least 20% compared to the last 12 years by the Energy Efficiency Statute in 2007. In 2017 Turkey Statistical Institute (TSI) announced 9.1 million buildings and 22 million households in Turkey [6]. Accordingly, it is possible to save a high amount of energy by increasing energy efficiency in buildings. For this purpose, many studies have been carried out on reducing energy consumption in buildings. For instance, in a faculty building, Kırbaş showed that 4646 fluorescent lamps at 18W power and 686 luminaires with 8W are replaced with 8W LED fluorescent, and 5.5W LED bulbs, 3 154 006 kWh energy will be saved [7]. Ertürk et al., evaluated the optimum insulation thickness, total cost, payback period and energy savings according to fuel type in case the outer shell of the building is insulated with EPS, XPS and rock wool. They stated that approximately a 79% reduction in flue gas emission with this insulation could be achieved. In addition, he noted that the emissions per person in a 100 m² uninsulated house are 3483 kg CO₂ and 7 kg SO₂, and in an insulated house, 826 kg CO₂ and 5 kg SO₂, respectively [8]. Gürel and Daşdemir calculated optimum insulation thicknesses and energy savings according to heating and cooling loads in their study in four cities located in different climatic zones. They also showed that energy savings vary between 32.91 TL / m² and 58.28 TL / m² depending on the city [9]. Daşdemir determined the optimum insulation thickness in Ardahan by using XPS insulation material and three different fuel types. In addition, he investigated the effect of air gaps left in-wall components on energy saving, CO₂ and SO₂ emissions. As a result, they observed that 4 cm of air space left in the building component provided 81% energy savings and also reduced flue gas emissions by 80% [10]. Haksevenler et al. investigated the carbon footprint arising from housing, business, public buildings and transportation in a pilot area. As a result of the research, the carbon footprint consists of 43% residences, 35% commercial and public buildings [11]. Lanzarote et al. Analyzed the effect of insulating the exteriors and roofs of 324 uninsulated houses built in the '60s in Alicante, Spain and adding a new window on the existing windows on energy efficiency and greenhouse gas emissions. After the facade improvements, a 14% decrease was observed in the cooling demand, while a 45% decrease was observed in the heating demand. It was found that with the improvement of window and roof insulation, there was a decrease of approximately 20% and 13% in the heating and cooling demand, respectively. In total, 52% energy savings were achieved, while a 47% reduction was achieved in CO₂ emissions by 322 tCO₂ / year [12]. However, when the researches are examined, it is seen that energy studies in buildings focus on one or several areas. There is no study in which all heating, air conditioning, thermal insulation, the electricity consumption of buildings are addressed.

II. MATERIALS AND METHOD

This study consists of determining the current state of energy management of a building, examining the building elements, heating system, lighting system, pipelines, presenting improvement suggestions and determining the amount of savings of a building was completed in 2007 in Karabük/TURKEY.

A. ENERGY MANAGEMENT

Energy management aims to utilize waste energy, increasing energy efficiency and minimizing energy losses. In addition, it ensures that energy consumption is minimized without hindering economic development and social welfare and without reducing quality and performance. In this context, the consumption values created according to the electricity and natural gas bills of the last three years for the building under investigation are listed in Table 1 regarding kWh and TEP.

Table 1. Electricity and natural gas consumption values by years.

Years	Consumption type	Quantity	Unit	TEP	Total (%)
2018	Electric	3 7812.6	(kWh)	3.26	7.9
	Natural Gas (Heating)	4 6182	(Sm ³)	38.1	92.1
	Total	41.36 TEP			
2017	Electric	43 427.9	(kWh)	3.7	10.6
	Natural Gas (Heating)	37 947	(Sm ³)	31.3	89.4
	Total	35 TEP			
2016	Electric	37 665.11	(kWh)	3.24	7.9
	Natural Gas (Heating)	45 812	(Sm ³)	37.8	92.1
	Total	41.04 TEP			

As seen in Table 1, most of the energy consumed in our current building, approximately 90%, is used in the heating system as natural gas.

B. STRUCTURAL ELEMENTS

The building subject to examination consists of 3 blocks in total. Block A is a single-story building with an 850 m² floor space and 9 m floor height to serve as a sports hall. There are dressing rooms, backstage volumes, and sinks. B and C blocks have a total floor area of 1 250 m² and B Block 19.7 m, C Block 10.2 m eave height. There is a boiler room, cafeteria and warehouses on the basement floor. The ground and upper floors consist of classrooms with an average area of 50 m², administrative units, music class, painting class, science laboratories, conference hall and washbasins. The building consists of approximately 4 900 m² closed areas, and its total closed volume is about 16 065 m³. The structure is reinforced concrete, and the total horizontal length of the beams in contact with the outside air in the x plane is 36.2 m. There is a 2 cm thick interior and exterior plaster on 20 cm brick on the outer wall. Approximately 18% of the 4 heat-losing facades of the B and C blocks, where the classrooms and administrative sections are taken as reference in the calculations, consisting of windows and doors, and 19% consists of reinforced concrete. Information on the building elements of the building is summarized in Table 2.

Table 2. Area table results of building elements.

Structural Element	School Building (B and C Block) (m ²)	Sports Hall (A Block) (m ²)
Brick wall	1507	824.4
Reinforced concrete wall	456.3	118.4
Soil contact flooring	275	850
Floor facing the unheated interior	975	-
Window	406.63	69.784
North	163.8	69.784
South	164.29	0
East	14.28	0
West	64.26	0
Door	17.25	0
Unused roof	1250	850

The roof of the sports hall was built with steel construction, and no heat insulation was applied. The sports hall is not included in the calculations since it is not operated continuously and is not air-conditioned depending on the central hot water boiler system. To determine the conformity of the building to TS 825 standards, the thermal conductivity coefficients of each building element were calculated using the SDL200 type indicator temperature meter calibrated by the Turkish Accreditation Agency (TÜRKAK). While T1 and T4 data from the four-probe outputs in the device give the external and internal temperatures, T2 and T3 data provide the structural element's external and internal surface temperatures. Probe connections during the measurement can be seen in Figure 1.

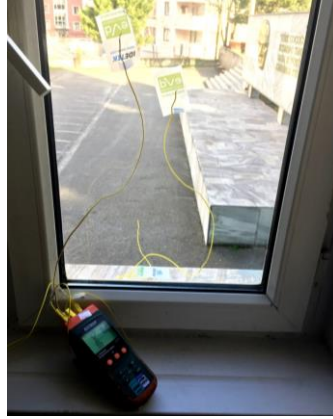


Figure 1. Temperature measurements in windows.

The total heat transfer coefficient U (W/m^2K) of a building component is shown in Equation 1. Here, R shows the thermal conductivity resistance of the building components, R_i shows the thermal conduction resistance of the inner surface and R_e the outer shell. In Equation 2, it is stated that the thermal permeability resistance R is found by summing the d_n (m) and λ_k (W/mK) parts of the individual thicknesses of each structural element to the thermal conductivity values [13].

$$\frac{1}{U} = (R_i + R + R_e) \quad (1)$$

$$R = \left(\frac{d_1}{\lambda_{k1}} + \frac{d_2}{\lambda_{k2}} + \dots + \frac{d_3}{\lambda_{k3}} \right) \quad (2)$$

The heat flux \dot{q} is calculated by Equation 3. Here T_i refers to indoor temperature, T_d refers to outdoor temperature [14].

$$\dot{q} = U(T_i - T_d) \quad (3)$$

Since the heat transfer from the indoor air to the wall is equal to the heat transfer from the wall to the outdoor air, Equation 4 is used in the heat flux calculation. Equation 5 is obtained using Equations 1-4 to calculate the temperature difference between indoor and outdoor environments [14].

$$(T_i - T_d) = \dot{q} \left(\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_d} \right) \quad (5)$$

The heating system's heat energy to the indoor environment is expressed in Equation 6 monthly [13]. It is shown in Equation 7 that there is an annual heating energy requirement by summing up the monthly heating energy needs covering the heating period. Where H is the specific heat loss of the building (W / K), θ_i monthly average internal temperature ($^{\circ}C$), θ_e monthly average external temperature ($^{\circ}C$), η monthly average usage factor for earnings, $\Phi_{i,m}$ monthly average internal gains (W), $\Phi_{g,m}$ month means monthly average solar energy gains (W), and t denotes time (s) [15], [16].

$$Q_{ay} = [H (\theta_i - \theta_e) - \eta (\phi_{i,m} + \phi_{g,m})] \cdot t \quad (6)$$

$$Q_y = \sum Q_m \quad (7)$$

The amount of carbon dioxide emission E (tonCO₂ / year) and fuel consumption FC (tj / year) is calculated with Equations 8 and 9. Here, EF CO₂ emission factor (tonCO₂ / tJ) means FA fuel amount (kg / year or m³ / year) and LCV expresses low calorific value (kcal / kg or kJ / m³) [17], [18].

$$E = FC \times EF \quad (8)$$

$$FC = FA \times LCV \quad (9)$$

C. HEATING SYSTEM

Two different systems provide heating in the building. In the teaching building where classrooms and administrative departments are located, the AKC3-500 type Alarko branded liquid/gas-fueled hot water boiler with a capacity of 500 000 kcal / h is operated continuously the months when it is needed to be heated. Hot water is provided by the circulation pumps in the boiler room. Thermal losses are reduced by insulating the central distribution system. However, since the valves in the installation do not have insulation jackets, heat losses occur. The boiler layout is given in Figure 2.



Figure 2. Existing hot water boiler.

Boiler feedwater is used directly from the network without softening and preheating. There are two circulation pumps, one of which is backup, to distribute the heated water in the boiler. The system is commissioned only in winter months when there is a need for heating. The catalog information of the boiler is given in Table 3.

Table 3. Liquid/gas-fired hot water boiler technical features.

Brand	Alarko
Type	AKC3-500
Capacity	500 000 Kcal/h
Capacity	582 kW
Operating pressure	3.0 bar
Operating temperature	90 °C
Production year	2010
Category	B ₂₃
Serial number	1732
Origin	TR

To determine the efficiency of the combustion in the boiler, MRU brand Optima 7 series flue gas analyzer and flue gas temperature probe were used. Flue gas measurements are shown in Figure 3.



Figure 3. Flue gas analysis probe connection point.

While measuring flue gas, it is necessary to wait for the boiler to come to stable operation at total capacity. When the flue gas temperature probe is placed at the sampling point, the effects of disrupting the waste gas flow are avoided. Care has been taken to keep the probe within the radius of the chimney on the straight line to get accurate measurements. To record the values such as gas temperature, air temperature, CO₂ amount in the analyzer, the measurement results on the analyzer screen were expected to reach a fixed value.

Equations 13-15 were used for the calculation of heat loss on the boiler surface. Here Q is the heat loss (W / m), U_c convection heat transfer coefficient (W / m²K), U_r radiation heat transfer coefficient (W / m²K), T_s surface temperature (K), T_a ambient temperature (K), d₁ pipe the outer diameter (m), A is the surface area (m²), B is the multiplication factor. The multiplication factor for vertical surfaces is 1.45 [19].

$$Q = (U_c + U_r) \times A \times (T_s - T_a) \quad (13)$$

$$U_c = B \times (T_s - T_a)^{0,25} \quad (14)$$

$$U_r = 5,67 \times \text{Ex}[(T_s/100)^4 - (T_a/100)^4] / (T_s - T_a) \quad (15)$$

Equations 16 and 17 are used to calculate the heat loss after insulation on the flat surface used on the boiler surface. Here T_s is the surface temperature (K), T_a is the ambient temperature (K), R_i is the thermal resistance of the insulation material (m²K / W), R_s is the thermal resistance of the surface (m²K / W) [19].

$$Q = A \times (T_s - T_a) / \sum R \quad (16)$$

$$\sum R = R_i + R_s \quad (17)$$

D. PIPELINE SYSTEM

There is only plumbing and heating installation in the building. The boiler hot water return regime operates at 90/70°C. Insulation was applied to the distribution line in the boiler room. However, there is no insulation in the auxiliary equipment in the system. Therefore, 60 cm high cast radiators are used in the spaces. For efficiency calculations, the boiler outlet, hot water distribution line, hot water collection line and radiators were imaged with Fluke brand Ti 10 type M101013 serial numbered thermal imager. Since one of the pumps is out of order, it was disassembled from the system, and its place was left empty.

Equation 18-20 is used in the calculation of heat losses in uninsulated pipe systems. Here Q is the heat loss (W / m), U_c convection heat transfer coefficient (W / m²K), U_r radiation heat transfer coefficient (W / m²K), T_s surface temperature (K), T_a ambient temperature (K), d_1 pipe the outer diameter (m), E refers to the emissivity coefficient [19].

$$Q = (U_c + U_r) \pi x d_1 x (T_s - T_a) \quad (18)$$

$$U_c = 1,15 x [(T_s - T_a) / d_1]^{0,25} \quad (19)$$

$$U_r = 5,67 x 10^{-8} x E x (T_s^2 + T_a^2) x (T_s + T_a) \quad (20)$$

The equation used in calculating heat loss in insulated pipe systems is given in Equation 21. Here, d_2 refers to the outer diameter (m) after insulation, λ refers to the thermal conductivity of the insulation material (W / mK), U_{so} refers to the surface heat transfer coefficient (W / m²K) depending on the air velocity [19].

$$Q = \frac{\pi x (T_s - T_a)}{\frac{\ln(d_2/d_1)}{2 x \lambda} + \frac{1}{U_{so} x d_2}} \quad (21)$$

D. LIGHTING SYSTEM

Most of the armature used in the lighting system in the building are fluorescent lamps (Figure 5). There are no photocell lamps in places such as WC that are not used continuously. There is no automation system for lighting in the building. In addition, there is a compensation panel in the building. The number of armatures in the system and their information are given in Table 4.

Table 4. Armature information of the lighting system

Armature type	Armature number	Number of lamps in the armature	Total number of lamps
2*40 W fluorescent	215	2	430
1*40 W fluorescent	142	1	142
C 60 W	36	1	144
L 100 W	16	1	16
3*40 W fluorescent	18	3	54

Lighting intensity in classrooms and corridors was measured with Extech SDL400 light intensity measurement and recording device. The data in the measurement locations were obtained by scanning the device at the height of approximately 90 cm from the ground, as shown in Figure 4.

Since there are reflections in the interior installations, the efficiency method is used when calculating the lighting. When calculating the room illumination efficiency, the room index was calculated by Equation 22. Here, a is the width of the room (m), b is the length of the room (m), and H is the distance (m) between the light source and the working plane [20].

$$k = \frac{axb}{Hx(a+b)} \quad (22)$$



Figure 4. Measurement of light intensity.

Faulty applications regarding the positions of the lighting armatures used in the school were observed. The lighting armatures of the first floor are installed on the beams, and the other lighting armatures are placed between the beams. As a result, incorrect positioning is shown in Figure 5b.



Figure 5. Location of lighting armatures: (a) 1st-floor corridor, (b) Ground floor corridor.

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

A. CONSTRUCTION ELEMENTS

More than one data was taken from each structural element during the measurement, and the arithmetic mean of these temperature data in the calculations is given in Table 5. In Figure 5, one of the values read by the temperature meter with the display while connected to the structural elements is shown.

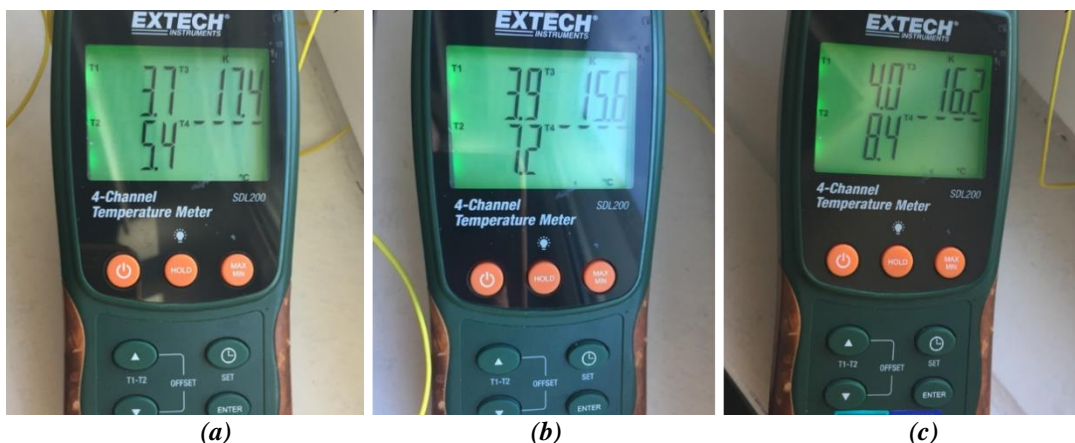


Figure 6. Temperature measurement: (a) brick wall, (b) reinforced concrete Wall, (c) window

Table 5. Temperature measurement values of building components used in calculations.

Temperature (°C)	Outdoor Air	External Wall	Internal Wall	Indoor Air
Brick wall	3.7	5.3	17.2	21.1
Reinforced Concrete Wall	3.8	7.0	15.6	21.1
Window	4.0	8.3	16.1	21.4

The Aerated Concrete Manufacturers Association of Turkey TS825 Thermal Insulation Calculator V 5.0 program was employed to calculate the heat conduction coefficient of other structural elements in the building. The data used in the program are given in Table 6. Using Equations 1 and 2, the program calculated the thermal permeability coefficients of the ground-contact floor, the floor facing the unheated indoor environment and the roofed ceiling as 1.595 W / m²K, 1.849 W / m²K, 0.61 W / m²K, respectively.

Table 6. Material list of building elements.

	Building Element Thickness	Thermal Conductivity Calculation Value	Thermal Conductivity Resistance
	(m)	(W/mK)	(m ² K/W)
Flooring (Earth Contact)			
Cement mortar screed	0.05	1.4	0.04
Reinforced-Normal concrete	0.5	2.5	0.2
Unreinforced - Normal concrete	0.2	1.65	0.12
Sand, sand-gravel	0.2	2.0	0.1
Flooring (Adjacent to the Non-Heated Indoor Environment)			
Artificial Gems	0.008	1.3	0.01
Cement mortar screed	0.05	1.4	0.04
Reinforced-Normal concrete	0.25	2.5	0.1
Plaster	0.03	0.51	0.06
Ceiling (With Roof)			
Plaster	0.03	0.51	0.06
Reinforced-Normal concrete	0.25	2.5	0.1
Cement mortar screed	0.03	1.4	0.02
Insulation Material	0.05	0.04	1.25

The annual heating energy need of the building was found to be 571 811 kWh when the monthly heating energies were calculated using Equation 6 in the calculation methodology given in the heat insulation rules standard (TS 825) in buildings. Since this value calculated in the existing building is more than the energy requirement limited to 307 163 kWh / year, it has been determined that the thermal insulation values of the building do not comply with the TS 825 standards. Likewise, when the heat demand identity document is issued, it cannot be included in the efficient building class in the energy efficiency index.

Using Equation 9, annual fuel consumption was found to be 1.86 Tj. Here, the lower calorific value of natural gas was taken as 8250 kcal / m³ and the CO₂ emission factor as 56.1 [21], [22]. Benefiting from Equation 8, the annual CO₂ emission amount was found to be 104.14 tons.

After the thermal imaging performed in the studied building, heat losses from the building surface and bridges are visualized in Figure 7. It is also understood from the surface temperature that the heat loss occurs on the column and beam surfaces, which are made of reinforced concrete and serve as the bearing

system of the building, is higher. It is seen in Figure 7b that the temperature value read in columns and beams where convection is intense is higher than other structural elements. The high heat transfer in these areas is the high heat transfer coefficient of the iron reinforcement and concrete in the reinforced concrete regions.

To reduce the annual energy need, which is calculated as 571 811 kWh, it is necessary to improve the insulation on the heat-losing surfaces to the limited energy need. Suppose it is assumed that the heat loss in the uninsulated wall is 100%. In that case, heat loss occurs at 40-60% levels with average heat insulation application and 15-35% when insulation is applied with sufficient status and quality craft [23]. With the correct thermal insulation, energy efficiency increases by 50%, and energy savings are achieved at high rates [24]. Therefore, considering the thermal insulation thickness and craft quality, priority should be given to the building elements with the highest heat loss.

Heat losses in building elements are listed according to Table 7. Although the building element with the highest heat transfer coefficient value is the reinforced concrete wall, the heat loss occurs more in the brick wall and ceiling structural components due to the width of the surface area. Therefore, insulation application should be started from brick and reinforced concrete walls with external air contact. Then, it is predicted that it is more appropriate to perform insulation works on the roof and floors facing the unheated interior.

Table 7. Distribution of thermal losses and overall heat transfer coefficients according to structural elements.

Building element	Surface Area (m ²)	U (W/m ² K)	Heat loss (W/K)
Brick wall with external air contact	1507	1.827	2753.29
Roofed ceiling	1250	2.562	2562.00
External weather contact reinforced concrete wall	456.30	2.614	1192.77
Window	406.63	2.500	1016.58
Adjacent base with unheated interior	975.00	1.849	901.39
Ball contact sole	275.00	1.595	219.31
Door	17.25	3.500	60.38

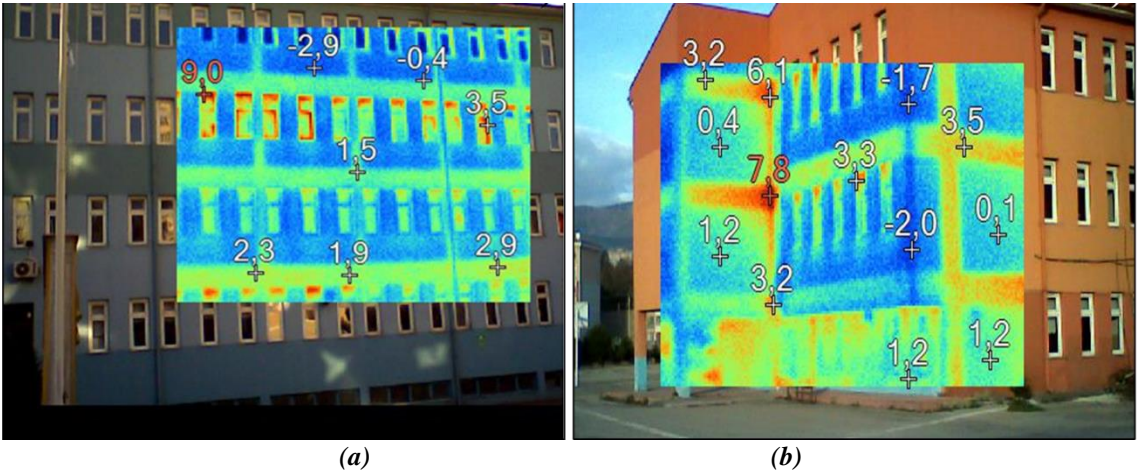


Figure 7. Thermal camera measurements: (a) front facade, classrooms block, (b) rear facade, administrative block.

Leak-proofing should be provided with suitable materials that prevent air passage in buildings, surfaces where heat loss occurs, ventilation gaps, shafts, including joints [24]. The heat loss from inside to outside through infiltration is seen at the window corners in Figure 7a, as the volumes left for windows and

doors on the wall do not fully coincide with the window frames. These heat leaks increase energy consumption and decrease energy efficiency.

B. HEATING SYSTEM

The values obtained in the flue gas analysis are listed in Table 8.

Table 8. Flue gas analysis results.

	Gas temperature	158.7 °C
	Air temperature	17.6 °C
	CO ₂	10.3%
	Loses	6.3%
Date: 29.03.2019	O ₂	3.2%
Time: 08:55:47	Pressure	-0.44 hPa
Fuel Type: Natural gas	CO	4 ppm
	Air ratio	1.18
	Efficiency	93.7%
	Excess air	18%

In natural gas and LPG fuel boilers, the chimney outlet temperature should be in the range of 130-150 °C [25]. As a result of the measurements made, the boiler efficiency was found to be 93.7%. Therefore, the operating efficiency of the boiler has been found suitable. It is stated in the catalog information of the Alarko ACK3-500 type hot water boiler that it is produced with body insulation. As can be understood from Figure 8, it has been observed that the temperature is around 95 °C on the surface where the burner fires and the surfaces where the chimney outlet is located, so it is predicted that the heat loss is high.

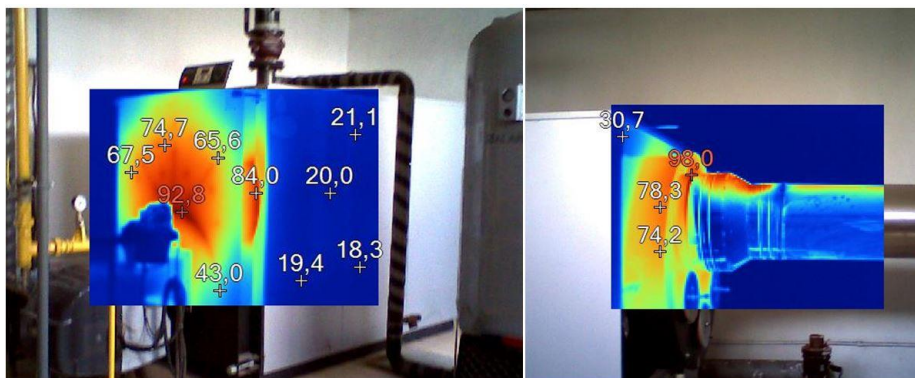


Figure 8. Hot water boiler temperature distribution.

The external temperature values are taken from the thermal camera measurements while calculating the heat losses on the front and back surfaces where the boiler insulation is insufficient. An outer surface temperature was obtained by taking the arithmetic average of the temperature values taken from 8 points. While determining the surface area of the boiler walls, catalog data were used. Heat losses occurring at the front and rear walls of the uninsulated boiler were found by using Equation 13-15. In the calculation, the areas of the surfaces are 1.985 m². The indoor temperature is 15 °C. The front wall surface temperature is 71.4 °C, and the rear wall surface temperature is 77.8 °C. A total of 1294 W loss is realized, 577.20 W on the front surface of the boiler and 716.76 W on the rear surface. When the system's operating time is 4320 hours, 5 589.9 kWh / year heat loss occurs from surfaces and equipment, and thus, 1.02 tons of CO₂ is released into the atmosphere annually.

C. PIPELINE

The pipes in the main distribution line starting from the boiler outlet are insulated in the heating installation. It is shown in Figure 9 that polyethylene material is preferred as insulation material in pipes, and the application thickness is 1 cm.



Figure 9. Insulation material and application thickness used in the heating system pipeline.

In Figure 10, it is seen that the circulation pump is about 70 ° C while the distribution and collection installation is at approximately 30 ° C. At the same time, it is seen that the valves in the distribution collector are not insulated, and the temperature is about 60 ° C.



Figure 10. Thermal images of the heating installation in operating conditions.

Figure 11 shows the images of the valves at the boiler outlet and connection points. Since the valves are not insulated, it has been observed that the temperature values are around 65 ° C. Considering that the indoor temperature is 15 ° C, high heat losses are predicted.



Figure 11. Thermal images of uninsulated valves.

There are 5 DN 100, 6 DN80 diameter gate valves and 1 DN 65 strainer in the installation, which does not have insulation and cause excessive heat loss. The equivalent lengths of various fittings and other devices in terms of straight lines are provided in Table 9.

Table 9. Equivalent pipe lengths of fittings and valves.

Equivalent pipe lengths of fittings and valves							
	(m)						
Fittings and valves	50	65	80	100	150	200	250
90° standard threaded elbow	1.5	1.9	2.4	3.0	4.3	5.7	7.4
90° welded elbow (r/d =1.5)	0.69	0.88	1.1	1.4	2.0	2.6	3.4
45° elbow	0.76	1.0	1.3	1.6	2.3	3.1	3.9
Te (90 ° turn in flow)	2.9	3.8	4.8	6.1	8.6	11.0	14.0
Gate valve	0.38	0.51	0.63	0.81	1.1	1.5	2.0
Alarm or check valve (swing type)	2.4	3.2	3.9	5.1	7.2	9.4	12.0
Alarm or check valve (mushroom type)	12.0	19.0	19.7	25.0	35.0	47.0	62.0
The butterfly valve	2.2	2.9	3.6	4.6	6.4	8.6	9.9
Globe valve	16	21	26	34	48	64	84

The total heat lost from uninsulated installation equipment is 2447.43 W. When the system's operating time is 4320 hours, 10572.91 kWh / year heat loss occurs from uninsulated equipment. With this heat loss, 1.92 tons of CO₂ is released into the atmosphere annually.

Installation insulations that seem insignificant in buildings are essential savings resources. Regardless of whether the purpose of the fluid in the installation is heating or cooling, insulating it to prevent heat transfer without being affected by external environment conditions provides energy savings and contributes to the environment's protection. Insulation of the installation equipment without insulation at appropriate thickness will prevent heat loss to a great extent.

D. ELECTRICAL SYSTEM

As a result of the lux measurements made in the ground floor and first-floor corridor, it was determined that the average illuminance level was around 55 lx and 115 lx, respectively. The most important reason for the low level of illumination on the ground floor compared to the first floor is that the luminaires in the ground floor corridor (Figure 5b) narrow the angle of light due to the beams running along the corridor, which are 50 cm high and cross the corridor.

Current luminaires, working periods and annual consumption are listed in Table 14 according to floors. Fluorescent lamps of 1 * 40 W are used in the corridors, 2 * 40 W in classrooms and 3 * 40 W in optional classes. There are 6 armatures in a classroom. The working times of the luminaires have been evaluated based on the direction of the classes, between classes, entry and exit times and seasons. As shown in Table 10, the annual energy used by the building for lighting is 32 179.2 kWh. Therefore, lighting has an essential share in the electricity consumption of the building. CO₂ emission is calculated by multiplying the estimated annual consumption amount by the emission factor of 0.472 kgCO₂ / kWh [26]. Thus, the CO₂ emission resulting from the building's lighting system is 15 188 tons of CO₂ / year.

Table 10. Building lighting usage and consumption information.

	Armature Type	Armature number	Number of lamps in the luminaire	Total lamp number	Operating time (hour/year)	Annual energy consumption (kWh/year)
Basement	2*40 W fluorescent	42	2	84	360	1 209.6
	1*40 W fluorescent	10	1	10	360	144
	C 60 W	4	1	4	1440	345.6
	L 100 W	16	1	16	0	0
Ground floor	1*40 W fluorescent	40	1	40	600	960
	2*40 W fluorescent	24	2	48	1440	2764.8
	3*40 W fluorescent	18	3	54	1440	3110.4
	C 60 W	8	1	8	270	129.6
1st floor	1*40 W fluorescent	20	1	20	540	432
	2*40 W fluorescent	79	2	158	1440	9100.8
	C 60 W	8	1	8	270	129.6
2nd floor	1*40 W fluorescent	16	1	16	540	345.6
	2*40 W fluorescent	56	2	112	1440	6451.2
	C 60 W	8	1	8	270	129.6
3rd floor	1*40 W fluorescent	16	1	16	540	345.6
	2*40 W fluorescent	56	2	112	1440	6451.2
	C 60 W	8	1	8	270	129.6
Total						32 179.2

IV. RECOMMENDATIONS

A. CONSTRUCTION ELEMENTS

As a result of the calculations, the annual heating energy need for the building was calculated as 571 811 kWh. This value is approximately 1.8 times greater than the energy need, which is limited to 307.163 kWh.

It is essential to insulate the reinforced concrete and brick walls with external air contact, where the heat loss occurs the most. They are the building elements that are also primarily effective in increasing the heating energy need. In addition to these building elements, the suggestion of renewal of the roof insulation, which has been deformed and lost its insulation feature, and the application of insulation for the floor facing the unheated interior environment was evaluated. Insulation thicknesses are selected in accordance with the climatic conditions of Karabük province to comply with the TS 825 standard.

The theoretical analysis of covering the specified building elements with insulation materials in accordance with standards has been made. Technical features of the materials to be used in insulation are given in Table 11.

Table 11. Technical characteristics of insulation materials.

Construction element	Material	Thickness (cm)	Density (kg/m ³)	Heat conductivity (W/mK)
Brick wall	Rock wool	6	250	0.035
	Plaster	1	900	0.35
Reinforced concrete wall	Rock wool	6	250	0.035
	Plaster	1	900	0.35
Roofed ceiling	Rock wool	12	250	0.035
Base facing the unheated interior	EPS	6	25	0.030
Earth contact base	EPS	5	25	0.030
	Handle	3	2 000	1.6

In line with the information given in Table 11, the U thermal permeability coefficient values were found in the insulated state of the building elements by using Equations 1 and 2. The thermal permeability coefficient value of the outer air contact brick wall is 0.437 (W / m²K), the thermal permeability coefficient value of the outer air contact reinforced concrete wall is 0.471 (W / m²K), the roofed ceiling thermal permeability coefficient value is 0.262 (W / m²K), the soil contact floor thermal permeability coefficient value was calculated as 0.432 (W / m²K) and the thermal permeability coefficient value of the floor facing the unheated indoor environment as 0.394 (W / m²K). When the data is entered into TS825 Thermal Insulation Calculation Program V 5.0, the annual heating energy need of the building is calculated as 268 250 kWh and the allowed annual heating energy as 307 163 kWh. When the recommended insulation improvements are made, since the calculated heat requirement for the building is lower than the limited energy requirement ($Q < Q'$), the thermal insulation project for this building has been determined in accordance with the TS 825 standard. By using Equation 8, the CO₂ emission realized in the improved building with insulation in accordance with the recommendations, and the annual CO₂ emission amount was found to be 48.85 tons.

In the proposed insulation improvements, an average cost of 243 660 TL was deducted according to the offers received from the market. Considering that the school building is 4900 m², the cost per m² is calculated as 49.72 TL/m². The building elements, insulation material, application thickness and surface area, unit price and total prices are given in Table 12. Shipping, auxiliary products (plaster, paint, adhesive, etc.) and labor prices are included in the unit prices shown.

Table 12. Insulation application cost list (in2019).

Construction element	Insulation material	Thickness (cm)	Surface area (m ²)	Unit cost (TL/m ²)	Total cost (TL)
Brick wall	Rock wool	6	1507	65	97 955
Reinforced concrete wall	Rock wool	6	457	65	29 705
Roofed ceiling	Rock wool	12	1250	50	62 500
Earth contact base	EPS	5	275	35	9 625
Base facing the unheated interior	EPS	6	975	45	43 875
Total					243 660

The consumption cost of 1 kWh natural gas is 0.105 TL + VAT. It is shown in Table 13 that the payback period of the proposed insulation application is 6.4 years. Labor costs are the main factor in the high calculated period.

Table 13. Facade insulation cost analysis (in2019).

Facade Insulation Cost Analysis	Cost	Unit
Current state energy consumption	571 811	kWh/year
Improved state energy consumption	268 250	kWh/year
The amount of energy saved	303 561	kWh/year
The amount of savings (including VAT)	37 705	TL
Investment cost	243 660	TL
Payback Period	6.4	Year

B. HEATING SYSTEM

The boiler efficiency in the heating system was determined to be 93.7% after measurements. Considering the insulation of the front surface of the boiler where the insulation is insufficient and the back surface where there is no insulation, the heat losses that will occur with the rock wool insulation material with a thermal conductivity value of 0.035 W / mK are calculated using Equation 16 and shown in Table 14.

Table 14. The state of insulation of the boiler (in2019).

Insulation thickness	Heat loss after insulation	Difference	Annual fuel cost	Unit investment cost	Annual Economical Input	Investment cost	Annual Saving
(cm)	(kWh)	(kWh)	(TL/year)	(TL)	(TL/year)	(TL/year)	(TL/year)
3	1127.62	4462.29	118.697	25	469.72	4.96353	464.753
4	857.53	4732.37	90.2668	29.4	498.15	5.83711	492.31
5	691.824	4898.08	72.824	36.1	515.59	7.16733	508.423
6	579.788	5010.12	61.0306	40.9	527.38	8.12033	519.263
7	498.981	5090.92	52.5246	52.9	535.89	10.5028	525.387
8	437.944	5151.96	46.0996	65.4	542.31	12.9846	529.33
9	390.211	5199.69	41.0751	70.65	547.34	14.0269	533.312
10	351.861	5238.04	37.0382	75.9	551.38	15.0693	536.307
11	320.375	5269.53	33.7238	81.15	554.69	16.1116	538.579
12	294.061	5295.84	30.9539	95.65	557.46	18.9904	538.47
13	271.741	5318.16	28.6045	100.9	559.81	20.0328	539.777
14	252.571	5337.33	26.5865	105.3	561.83	20.9064	540.921
15	235.927	5353.98	24.8345	112	563.58	22.2366	541.343
16	221.341	5368.56	23.2992	116.8	565.11	23.1896	541.925
17	208.453	5381.45	21.9426	128.8	566.47	25.5721	540.899
18	196.984	5392.92	20.7353	141.3	567.68	28.0538	539.625
19	186.711	5403.19	19.6539	146.55	568.76	29.0962	539.664
20	177.457	5412.45	18.6798	151.8	569.73	30.1385	539.596

When the fuel cost, investment cost and total costs are evaluated according to the data obtained from Table 14, it is shown in Figure 12 that the optimum insulation thickness for the boiler is 16 cm.

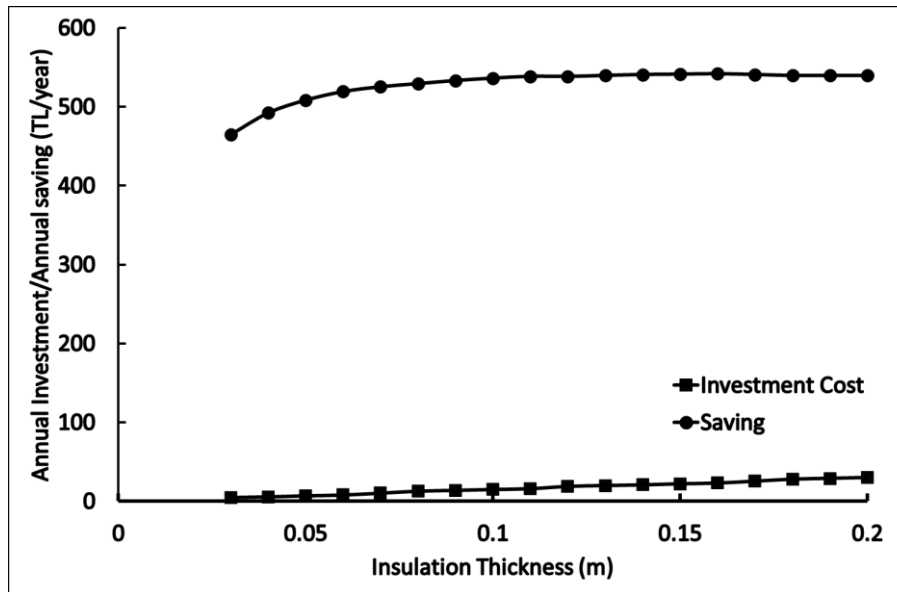


Figure 12. Optimum thickness in boiler insulation.

The heat loss from the existing boiler surfaces was found to be 1294 W. In the case of insulation, the heat loss is calculated as 51.24 W. In annual terms, before the insulation was made, only the heat loss on the front and rear surfaces of the boiler was calculated as 5590 kWh. After the insulation is made, the heat loss from the surfaces has been reduced to 221.3 kWh, and the amount of CO₂ emitted to the atmosphere to 0.04. The front surface and the back surface of the boiler do not have sufficient insulation; in Table 15, if the system is insulated with 16 cm thick rock wool with a thermal conductivity coefficient of 0.035 W / mK, the system pays off in 0.4 years.

Table 15. Boiler Surface Insulation Cost Analysis.

Boiler Surface Insulation Cost Analysis	Cost	Unit
Current state energy consumption	5.590	(kWh/year)
Improved state energy consumption	221.3	(kWh/year)
The amount of energy saved	4732.37	(kWh/year)
Saving	565.1	(TL)
Investment cost	231.9	(TL)
Payback Period	0.4	(Year)

C. PIPELINE

It was observed that the leading distribution and collection line in the heating system pipes were insulated, while the valves were not insulated. Therefore, images are given in Figures 10 and 11 by making necessary thermal shots.

Heat losses from uninsulated valves in the installation are 2447.43 W. To minimize the heat losses from the valves, the recommended thermal insulation thicknesses according to the pipe diameters are taken from the values given in Table 16.

Table 16. Recommended minimum insulation thickness according to nominal pipe diameters.

DN	Recommended thickness (mm)
20	20
22	30
35	30
40	Up to nominal diameter
100	Up to nominal diameter
>100	100

The insulation cost of 12 valves has been evaluated with the valve jackets available in the market. The recommended insulation thicknesses for the valves of DN 65 and DN 80 in the installation are the same as their nominal diameters. Valve jackets available in the market are commonly available in two thicknesses as 5 cm and 10 cm, while jackets in other thicknesses are produced as unique designs. The thermal conductivity coefficients of the 5 cm and 10 cm thick valve jacket are 0.044 W / mK and 0.021 W / mK.

Using Table 17 and Table 18, investment costs and annual fuel savings were examined for two insulation thicknesses. As the valve diameter increases, the unit price increases between three and six times. If a 10 cm thick valve jacket is preferred, the investment cost increases to 11 310 TL for 12 valves, while the annual savings increase to 180 TL. In the case of 10 cm insulation to the existing installation valves, the savings achieved is much less than the investment cost. Therefore, it is recommended to apply a 5 cm valve jacket to the valves in the system.

Table 17. 5 cm valve jackets cost analysis.

Diameter	Number of valve (-)	Heat loss before insulation (W)	Heat loss after insulation (W)	Unit cost (TL)	Total heat loss after insulation (W)	Heat loss after insulation (kWh)	Annual fuel cost (TL/year)	Annual Economic Input (TL/year)	Annual investment cost (TL/year)	Payback period (Year)
DN 100	5	2175.3	100.589	335	502.947	2172.73	228.710	760.516	167.5	2.2
DN 80	2	63.2	13.529	300	27.059	116.897	12.305	16.438	60	36.5
DN 80	4	173.2	8.065	300	32.262	139.375	14.671	64.109	120	18.7
DN 65	1	35.6	10.781	275	10.781	46.577	4.902	11.290	27.5	24.3

Table 18. 10 cm valve jackets cost analysis.

Diameter	Number of the valve (-)	Heat loss before insulation (W)	Heat loss after insulation (W)	Unit cost (TL)	Total heat loss after insulation (W)	Heat loss after insulation (kWh)	Annual fuel cost (TL/year)	Annual Economic Input (TL/year)	Annual investment cost (TL/year)	Payback period (Year)
DN 100	5	2175.3	29.9	1575	149.5	645.9	67.992	921.2	7875	8.5
DN 80	2	63.2	6.4	940	12.9	55.8	5.881	22.8	1880	82.2
DN 80	4	173.2	2.4	940	9.8	42.6	4.484	74.2	3760	50.6
DN 65	1	35.6	5.1	855	5.1	22.2	2.343	13.8	1545	111.5

The current heat loss of the valves was found to be 2 447 W. Therefore, the heat loss only from the valves before insulation is calculated as 10 573 kWh in annual terms. In the case of only 5 pieces DN100 insulation, the heat loss is calculated as 573 W, and the heat loss from the other 7 uninsulated valves is 272 W. After the insulation, the heat loss from the valves was reduced to 3348 kWh, and the amount of CO₂ released into the atmosphere was reduced to 0.61 tons.

Unit prices of 12 uninsulated valves of different diameters in the system are given in W and kWh heat losses. Investment costs and savings are calculated and listed in Tables 17 and 18.

D. ELECTRICITY

In the measurements, it was seen that although the window areas in the classrooms are suitable for natural lighting, the classrooms do not have sufficient illumination level due to the regional climatic conditions. Lighting is used intensely during the winter season and in the first lessons in the morning. Natural lighting is not sufficient in the corridors.

The minimum illuminance required in educational buildings is 300 lux in general education areas, 500 lux in libraries and laboratories, 150 lux in corridors and similar regions. In the measurements, the in-class illumination levels were measured between 100 lux and 150 lux, and in the corridors, between 20 lux and 150 lux.

While choosing the luminaire, the selection was made by paying attention to the required lighting intensity, luminous flux and number. Each classroom in the building has an area of approximately 49 m². There are 9 classrooms, 2 WCs and 1 corridor on the 2nd and 3rd floors. On the ground and first floors, there are classrooms, painting and music class, administrative offices. In Table 19, the data used in the lighting calculation of the classroom, WC and corridor and the calculated luminaire information are given. Equation 22 was used to calculate the K room index.

Table 19. Lighting calculation parameters.

Parameter	Classroom	Corridor	WC
Width (<i>m</i>)	7	3.7	3
Length (<i>m</i>)	7	47	6,5
Area (<i>m</i> ²)	49	173.9	19.5
Height (<i>m</i>)	2.9	2.9	2.9
Working Surface (<i>m</i>)	2.05	2.05	2.05
Room Index (<i>k</i>)	1.71	1.67	1
Actual Illumination Intensity (<i>lux</i>)	300	150	150
Fixture Type	2 x 19 W	1 x 19 W	1 x 20 W
Luminous Flux (<i>lumen</i>)	3550	3550	1900
Room Lighting Efficiency (%)	47	46	36
Number of Lights	9	16	4

Since the boiler room and storage in the basement are not used frequently, the armature has not been changed for these volumes. Therefore, in case the fixtures are renewed, 9 luminaires are sufficient for the classrooms. However, since the armatures are positioned in 2 pieces, the calculation was made to have 10 luminaires per classroom. Accordingly, the table of building lighting information given in Table 19 was updated and improved lighting information was shown in Table 20.

Table 20. Recommended LED luminaire information.

Location	Armature	Unit power (W)	Armature number	Number of lamps in the armature	Total number	Operating time (Hour/year)	Annual energy consumption (kWh/year)
Basement	2*40 W Fluorescent	40	42	2	84	360	1209.6
	1*40 W Fluorescent	40	10	1	10	360	144
	C 60 W	60	4	1	4	1440	345.6
	L 100 W	100	16	1	16	0	0
Ground floor	T8 LED Tupe	19	40	1	40	600	296.4
	T8 LED Tube	19	24	2	48	1440	1094.4
	T8 LED Tube	19	18	3	54	1440	1477.44
	LED Downlight	20	8	1	8	270	43.2
First floor	T8 LED Tube	19	20	1	20	540	184.68
	T8 LED Tube	19	79	2	158	1440	3556.8
	LED Downlight	20	8	1	8	270	43.2
Second floor	T8 LED Tube	19	16	1	16	540	164.16
	T8 LED Tube	19	56	2	112	1440	2571.84
	LED Downlight	20	8	1	8	270	43.2
Third floor	T8 LED Tube	19	16	1	16	540	164.16
	T8 LED Tupe	19	56	2	112	1 440	2571.84
	LED Downlight	20	8	1	8	270	43.2
Total							13 953.72

Currently, 86 % of electricity consumption is caused by lighting with 32 179 kWh. It is seen in Table 21 that it is possible to update to 13 953.72 kWh by using more efficient fixtures with the proposed improvement. With this calculated value, 3.72 kWh / m² energy saving is achieved for each unit area. When the annual consumption value is multiplied by the emission factor of 0.472 kgCO₂ / kWh, the yearly CO₂ emission amount resulting from the energy consumed in the improved status lighting is calculated as 6.58 tons / year. In the current situation, the energy consumption of the building due to lighting was calculated as 32 179.2 kWh / year. With these savings of 18 225.48 kWh, approximately 8.6 tons of CO₂ / year and 0.0018 tons of CO₂ / m² carbon emission is saved. Considering that the cost of 1 kWh electricity consumption is 0.7148 TL, the energy savings calculated from lighting will save 13028 TL per year for the building.

In case the existing fixtures are replaced with TP15-180-65T-3 type, 19.0 W power and 3550 lumens luminous flux T8 led tubes; A total of 488 T9 led tube luminaires are needed for 76 corridors and canteens, and 412 for use in classrooms and elective course classrooms. 32 recessed LED Downlights with 9502-120 type, 20 W power, 1900 lumens luminous flux is needed to build WC areas. Considering the unit prices, 19 W LED Tube luminaire 21.50 \$ / piece, 20 W Downlight 20.0 \$ / piece bid was received. While calculating a cost of 12.81 TL/m² per unit area, the total investment cost is 62 784.48

TL. (\$ 1.00 = 5.64 TL April 2019) It is shown in Table 21 that the payback period is 4.82 years by dividing the investment cost by the savings cost.

Table 21. Replacement cost analysis of lighting fixtures.

Replacement cost	Cost	Unit
Current state	32 179.20	<i>kWh / year</i>
Improved Condition	13 953.72	<i>kWh / year</i>
Energy-saving	18 225.48	<i>kWh / year</i>
Energy Saving Cost	13 027.57	<i>TL / year</i>
Investment Cost	62 784.48	<i>TL</i>
Payback Period	4.82	<i>year</i>

Suppose a total of 520 luminaires in the usage areas such as classrooms, corridors, canteens and WCs in the building are replaced with efficient LED luminaires. In that case, the new system will pay for itself in 4.82 years and save the building in the following years. It limited the payback period of efficiency-enhancing projects supported by the Ministry of Energy and Natural Resources to a maximum of 5 years. Taking these 5 years as reference, the calculated payback period of 4.82 years is within the appropriate range for the investment.

V. CONCLUSIONS

Due to climate change and the increase of greenhouse gases in the atmosphere, international action plans on energy efficiency are prepared. Specific regulations limit energy consumption in new buildings. Energy managers or energy management units work in the building and industrial sectors with high consumption. In this study, an education building designed and completed before 2007 has been examined regarding energy efficiency. Total annual energy consumption is 50 TEP, including 46 TEP natural gas and 4 TEP electricity. Within the scope of this study, by considering the departments with high energy consumption, efficiency-enhancing studies have been achieved while saving energy and reducing the CO₂ greenhouse gas emission released into the atmosphere without sacrificing comfort conditions. The results achieved in the study are listed below:

1. When the heating system with the highest consumption was examined, the annual heating energy need of the building was found to be 571 811 kWh. In the measurements made, it was seen that the thermal conductivity values of the building structure elements were above the TS 825 standards. Therefore, when the heat-losing surfaces of the building are insulated, the annual heating energy need is calculated as 268 250 kWh and 54.75 kWh/m² per unit area.
2. With this calculated 268 250 kWh energy savings, it has been calculated that 37 705 TL will be saved annually. Considering the average investment cost of 243 660 TL due to the requests for insulation, it is estimated that the system's payback period is 6.4 years.
3. With the insulation made on the building elements facing the unheated environment, 53% of energy was saved and a reduction of 55.28 tons of CO₂ / year and 0.011 tons of CO₂ / m² from greenhouse gases emitted into the atmosphere.
4. Valves and non-insulated areas that cause efficiency reduction in the heating installation are insulated with appropriate thicknesses, saving 12 593. 43 kWh / year of energy.
6. A reduction from 2,3 tons of CO₂ / year greenhouse gas emissions was achieved with the valve and heating installation insulation.
8. As a result of replacing the lighting fixtures with economic ones, a 13 028 TL electricity bill was reduced per year. It has been calculated that the luminaires to be used in the system will pay for themselves in 5,6 years.

9. With this electricity saving of 18 225 kWh, 8.6 tons of CO₂ carbon emission was saved annually.
10. This school building, which has 29 classrooms with an average usage area of 50 m² each, has been made according to the standards, saving 334 397 kWh / year from consumption.
11. Simultaneously, a reduction of 66.18 tons of CO₂ / year in other words 0.0135 tons of CO₂ /m², was achieved in greenhouse gas emissions from the building.

Educational buildings built before 2007 and did not improve renovations are buildings with high potential for increased efficiency. Considering that by saving energy, the rate of external dependency on energy will be reduced, it is predicted that these simple measures will contribute to the national economy.

V. REFERENCES

- [1] E. Mugaloglu, A. Y. Polat, H. Tekin, and A. Dogan, "Oil price shocks during the COVID-19 Pandemic : Evidence from United Kingdom energy stocks," *Energy Research Letters*, vol. 2, pp. 1–5, 2021.
- [2] Z. Chen, C. Jiang, and L. Xie, "Building occupancy estimation and detection: A review," *Energy Build.*, vol. 169, pp. 260–270, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.03.084.
- [3] D. K. Bui, T. N. Nguyen, A. Ghazlan, N. T. Ngo, and T. D. Ngo, "Enhancing building energy efficiency by adaptive façade: A computational optimization approach," *Appl. Energy*, vol. 265, no. March, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.114797.
- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, and C. Pout, "A review on buildings energy consumption information," *Energy Build.*, vol. 40, no. 3, pp. 394–398, Jan. 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2007.03.007.
- [5] L. Yang, H. Yan, and J. C. Lam, "Thermal comfort and building energy consumption implications - A review," *Appl. Energy*, vol. 115, pp. 164–173, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.10.062.
- [6] N. Gökçe, "Isı yalıtımı ile verimli enerji kullanımı modelinin ANFIS ile oluşturulması: Cumhuriyet Üniversitesi uygulaması," Yüksek Lisans tezi, Enerji Bilimi ve Teknolojisi Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2019.
- [7] İ. Kırbaş, "Binalarda enerji verimliliği uygulamaları: MAKU Mühendislik Mimarlık Fakültesi örneği," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, s. May, 2019, doi: 10.29048/makufebed.578340.
- [8] M. Ertürk, A. Keçebaş, Y. Çay, A. Daşdemir, C. Coşkun, ve E. Işık, "Binalardaki optimum yalıtım kalınlığının enerji tasarrufu ve kişi başı sera gazı emisyonlarına etkisi: İzmir’de bir durum çalışması," s. April, ss. 25–27, 2018.
- [9] A. E. Gürel and A. Daşdemir, "Economical and environmental effects of thermal insulation thickness in four different climatic regions of Turkey," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2011, doi: 10.20508/ijrer.08559.
- [10] A. Daşdemir, "Duvar bileşenleri arasına hava boşluğu uygulamasının ekonomik ve çevresel analizi" *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 2011, s. 3, ss. 49–61, 2011.
- [11] H. B. Gürsoy Haksevenler, N. G. Onat Çelik, G. N. Onat, B. Akpınar, ve T. Bedel, "Yerel yönetimler için karbon ayak izinin belirlenmesi: Ümraniye Belediyesi örneği," *Doğal Afetler ve Çevre Derg.*, ss. 319–333, 2020, doi: 10.21324/dacd.639370.

- [12] B. Serrano-Lanzarote, L. S. Francés, L. O. Madrigal, and A. G.-P. Ruiz, "Analysis of the environmental impact of the energy retrofitting carried out in a low-income residential neighbourhood. the case of Juan XXIII in Alicante, Spain," *Open Constr. Build. Technol. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 65–82, 2017, doi: 10.2174/1874836801711010065.
- [13] *Binalarda Isi Yalitim Kurallari*, Türk Standartlari Enstitüsü TS 825, 2008.
- [14] T. Kotan, İ. Fırat, M. Kaya, ve İ. Uluşu, "Binalarda kullanılan farklı ısı yalitim malzemelerinin isi iletkenlik katsayılarının Erzincan ili şartlarında termokupl ve termal kamera ile incelenmesi," *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, c. 23, s. 2, ss. 367–382, 2018, doi: 10.17482/uumfd.356648.
- [15] *Hesap Programı Kullanım Kılavuzu*, İZODER TS 825, 2007.
- [16] G. Weinberger and B. Moshfegh, "Techno-economic investigation of the potential for energy efficiency measures of multi-story apartment buildings at cluster level using different district heating tariffs," *Energy Build.*, vol. 236, pp. 110758, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.110758.
- [17] I. Arı and M. Aydınalp Koksall, "Carbon dioxide emission from the Turkish electricity sector and its mitigation options," *Energy Policy*, vol. 39, no. 10, pp. 6120–6135, 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.012.
- [18] C. S. Psomopoulos, I. Skoula, C. Karras, A. Chatzimpiros, and M. Chionidis, "Electricity savings and CO2 emissions reduction in buildings sector: How important the network losses are in the calculation?," *Energy*, vol. 35, no. 1, pp. 485–490, 2010, doi: 10.1016/j.energy.2009.10.016.
- [19] A. Güven, Enerji yöneticisi eğitimi, *Ders Notları 3*, Endüstriyel Yalitim Bölümü, TTMOB Makina Mühendisleri Kocaeli Şubesi, Kocaeli, Türkiye, 2011, ss. 269-284.
- [20] M. Mercan, R. Ongun, and M. Tosun, "Selçuk Üniversitesi koşullarında LED renklerinin aydınlatmada güneş enerjisi güç performansına etkisinin incelenmesi," *Selçuk-Teknik Derg.*, c. 12, s. 1, ss. 12–24, 2013.
- [21] H. Dulkadiroğlu, "Türkiye’de elektrik üretiminin sera gazı emisyonları açısından incelenmesi," *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, c. 7, s. 1, ss. 67–74, 2018, doi: 10.28948/ngumuh.369948.
- [22] E. Kiliñç *et al.*, "An energy efficiency analysis of an industrial reheating furnace and an implementation of efficiency enhancements methods," *Energy Explor. Exploit.*, vol. 32, no. 6, pp. 989–1003, 2014, doi: 10.1260/0144-5987.32.6.989.
- [23] T. U. Aksoy, "Sandviç ve gazbeton duvar uygulamalarının ortalama ısı geçirgenlik katsayısı ve ısı kaybı üzerindeki etkisinin incelenmesi," *Erciyes Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, c. 24, s. 1–2, ss. 277–290, 2008.
- [24] Binalarda enerji performansı yönetmeliği, *T.C. Resmî Gazete*, Sayı: 27075, 5 Aralık 2008.
- [25] O. Kon ve B. Yüksel, "Binaların ısı merkezlerinde bulunan kalorifer kazanlarının yanma havası ve hava fazlalık katsayılarına göre yanma gazlarının özelliklerindeki değişim," *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi*, c. 17, s. 2, ss. 15–27, 2015.
- [26] G. Özçelik, "Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü’nün enerji ve karbon ayak izi açısından değerlendirilmesi," Yüksek Lisans tezi, Enerji Kaynakları ve Yönetimi Anabilim Dalı, T.C. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Malva neglecta Wallr. (Ebegümece)'nin *In vitro* Biyoaktif ve Fitokimyasal Özellikleri

 Fatma KESER^{a,*},  Mustafa KARATEPE^a,  Serhat KESER^b,  Suat TEKİN^c,  İsmail TÜRKOĞLU^d,  Ömer KAYGILI^e,  Ersin DEMİR^f,  Ökkeş YILMAZ^g,  Süleyman SANDAL^c,  Sevda KIRBAĞ^g

^a Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

^b Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojisi Bölümü, EOSB MYO, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

^c Fizyoloji Anabilim Dalı, Tıp Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, TÜRKİYE

^d Biyoloji Eğitimi Bölümü, Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

^e Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

^f Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Tarım ve Doğal Bilimler Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^g Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fatma_arslan85@hotmail.com

doi: 10.29130/dubited.994161

ÖZ

M. neglecta çok yıllık otsu bir bitkidir ve Malvaceae familyasında yer almaktadır. Bu bitki ülkemizde her türlü toprakta kendiliğinden yetişir ve taze sürgünleri ile yaprakları sebze olarak tüketilir. Bu çalışmada *M. neglecta* toprak üstü kısımlarının su, etanol ve metanol ekstraktlarının antiradikal, antimikrobiyal, antikanser ve fitokimyasal içerikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, *M. neglecta* toprak üstü kısımlarının yüksek antiradikal, antimikrobiyal, antikanser aktiviteye ve fitokimyasal içeriğe sahip olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *M. neglecta*, ebegümece, antiradikal, fitokimyasal, antikanser, antimikrobiyal

In vitro Bioactive and Phytochemical Properties of *Malva neglecta* Wallr. (Mallow)

ABSTRACT

M. neglecta is a perennial herbaceous plant and belongs to the Malvaceae family. This plant grows spontaneously on any soil and its fresh shoots and leaves are consumed as vegetables. In this study, the antiradical, antimicrobial, anticancer and phytochemical contents of water, ethanol and methanol extracts of the aerial parts of *M. neglecta* were investigated. According to the results obtained, it was understood that the aerial parts of *M. neglecta* have high antiradical, antimicrobial, anticancer activity and phytochemical content.

Keywords: *M. neglecta*, mallow, antiradical, phytochemical, anticancer, antimicrobial

I. GİRİŞ

Bitkiler yaprak, çiçek, tohum, meyve, kabuk, gövde, kök vb. kısımlarında vitaminler, flavonoidler, karotenoidler, yağ asitleri glutasyon ve steroller gibi antioksidan özelliklere sahip bileşikler oluştururlar. Bu antioksidan bileşikler enzim inhibitörleri, peroksit yok edicisi, singlet ve triplet oksijen söndürücüsü olarak görev yapabilirler [1-4]. Geçmiş epidemiyolojik çalışmalar, sebze ve meyveyi bol miktarda tüketen kişilerin bazı hastalıklara yakalanma riskinin daha az olduğunu, ayrıca kalp-damar rahatsızlıkları, kanser ve ölüm oranlarının meyve-sebze tüketimi ile ters orantıya sahip olduğunu belirlemiştir. Meyve ve sebzelerin sağlık açısından oldukça önemli bu özelliklerinin içerdikleri tokoferoller, karotenoitler, askorbik asit, vitaminler, flavonoidler, fenolik bileşikler ve steroller gibi temel bileşik gruplarından kaynaklandığı iddia edilmektedir. Bitki ve bitkilerden elde edilen ürünlerin antioksidan, antiradikal, antimikrobiyal, antibakteriyel, antitümör, antikanser aktivitelerinin belirlenmesi ve fitokimyasal içeriklerinin, saptanması, izolasyonu ve karakterizasyonu ile ilgili çalışmalar son yıllarda hızlı bir şekilde artmış; özellikle tıbbi amaçlarla halk arasında tercih edilen bitkiler bu tür çalışmaların konusunu oluşturmaktadırlar [4-7].

Malva neglecta Wallr. (ebegümeci) Türkiye’de yol kenarı, tarlalar, ormanlar, su kenarları gibi güneş de alabilen yerlerde, her türlü toprakta, kendiliğinden yetişen çok yıllık otsu bir bitki olup Malvaceae familyasında yer almaktadır. Bakır, Demir, Kalsiyum, Fosfor elementleri, C ve B vitaminleri, sitrik asit, malik asit, tartarik asit, oksalik asit gibi bileşikler ve karbonhidratlar açısından zengin olan bu bitkinin yaprak ve taze sürgünleri protein açısından da zengindir ve halk arasında sebze olarak tüketilmektedir [8]. Ayrıca Doğu Anadolu’da halk tıbbında en çok kullanılan bitkiler arasında *M. neglecta* da yer almaktadır. Bu bitki ülser, astım, karın ağrıları, üriner problemlerin tedavisinde, soğuk algınlığı, diyare, sindirim problemleri, boğaz ve mide ağrılarına karşı da kullanılmaktadır [9]. *M. neglecta* bitkisinin antioksidan özellikleri, fenolik içerikleri [9-12], antiülserojenik [13] ve antibakteriyel aktiviteleri [14] incelenmeye çalışılmıştır.

Sunulan çalışmanın amacı *Malva neglecta* toprak üstü kısımlarının su, etanol ve metanol ekstraktlarının antiradikal (ABTS⁺, DPPH[•], OH[•]), antimikrobiyal (*Bacillus megaterium*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Listeria monocytogenes*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris*, *Staphylococcus aureus* bakterileri ve *Candida albicans* mantarı), antikanser (insan prostat kanseri (PC-3), insan yumurtalık kanseri (A2780), insan göğüs kanseri (MCF-7) ve insan kolon kanseri (HCT-116)) ve fitokimyasal içeriklerinin (toplam fenolik, toplam flavonoid, toplam proantosiyanidin, flavonoidler, fenolik asitler, fitosteroller, yağda çözünen vitaminler ve yağ asitleri) belirlenmesidir.

II. MATERYAL VE METOT

A. BİTKİ ÖRNEKLERİ VE EKSTRAKSİYON

Malva neglecta (Ebegümeci) örnekleri, 15.07.2015 tarihinde, Elazığ-Sivrice arası, Kuşakçı Dağı, Kürk Köyü, Eskibağlar mevki, dere kenarı, 1480 metre rakımdan toplandı. Numunelerin bir örneği Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü Herbaryumu’nda saklandı. Toplanan örnekler laboratuvar ortamında, oda sıcaklığında ve gölgede kurutuldu. Ekstraksiyondan önce kurutulmuş bitki kısımları blendırda öğütülüp ekstraksiyon için hazırlandı. Öğütülerek toz haline getirilmiş bitki örnekleri ağzı kapaklı 1 L’lik erlenlerde örneklerin yaklaşık 20 katı kadar çözücü ile manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Ekstraksiyon çözücü renksiz hale gelinceye kadar değiştirilerek karıştırılmaya devam edildi. Ekstraktlar süzgeç kağıdı ile süzülüp, çözücüleri uzaklaştırıldı. Son olarak elde edilen ekstraktlar analizlere uygun şekilde µg/mL konsantrasyonunda çözümlenerek kullanıldı.

B. RADİKAL YOK ETME AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ

DPPH, ABTS⁺ ve hidroksil (OH) radikal yok etme aktiviteleri sırasıyla Brand-Williams et al. [15], Re et al. [16] ve Halliwell et al. [17] metotlarına göre belirlendi. Bütün testler üç kez tekrarlandı ve

ortalama değerler hesaplandı. Her bir örneğin radikal yok etme aktivite yüzdeleri Eşt. 1'de gösterilmiştir;

$$\% = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100 \quad (1)$$

A₀: kontrol absorbansı; A₁: örnek absorbansı.

C. FİTOKİMYASAL İÇERİKLERİN BELİRLENMESİ

Toplam fenolik bileşik miktarı Slinkard ve Singleton [18] metoduna göre saptandı. Gallik asit standart olarak kullanıldı.

Toplam flavonoid içeriği Kim ve ark. [19] metoduna göre belirlendi. Kateşin standart olarak kullanıldı. Proantosiyanidin içeriğinin belirlenmesi Amaeze ve ark. [20] metoduna göre geręekleřtirildi. Kateşin standart olarak kullanıldı.

Flavonoid ve fenolik asit içerikleri Zu ve ark. [21] metoduna göre HPLC cihazıyla saptandı. Myrisetin, morin, kuersetin, kaempferol, naringin, naringenin, resveratrol, vanilik asit, gallik asit, kafeik asit, ferulik asit ve rosmarinik asit *M. neglecta* toprak üstü kısımlarında tespit edildi.

M. neglecta toprak üstü kısımlarında bulunan serbest yağ asitleri GC cihazıyla Christie [22] metoduna göre belirlendi. Örneklerin yağ asidi analizi sonuçları yüzde (%) cinsinden sunuldu.

M. neglecta toprak üstü kısımlarından ekstrakte edilen yağda çözünen vitamin ve fitosterol içerikleri Sánchez-Machado ve ark. [23] ile Lopez-Cervantes ve ark. [24] metodlarına göre HPLC cihazıyla belirlendi. Analiz sonuçları µg/g olarak ifade edildi. Retinol, δ-tokoferol, α-tokoferol, vitamin K, vitamin D, ergosterol ve stigmasterol *M. neglecta* toprak üstü kısımlarında saptandı.

D. ANTİMİKROBİYAL ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

E. coli ATCC 25922, *B. megaterium* DSM 32, *B. subtilis* IMG 22, *P. vulgaris* FMC 1, *P. aeruginosa* DSM 50071, *L. monocytogenes* SCOTTA, *K. pneumoniae* FMC 5, *S. aureus* COWAN 1 bakterileri ve *C. albicans* FMC 17 maya-mantarı test mikroorganizmaları olarak kullanıldı. Antimikrobiyal aktivite testi, Collins ve Lyne [25]'a göre disk difüzyonu metodu ile belirlendi. Streptomisin sülfat (10 mg/disk) ve nystatin (30 mg/disk) standart antibiyotikler olarak kullanıldı.

D. ANTİKANSER ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

D. 1. Hücre Kültürü

İnsan prostat kanseri (PC-3), insan kolon kanseri (HCT-116), insan yumurtalık kanseri (A2780) ve insan göğüs kanseri (MCF-7) hücre serileri Amerikan Tipi Kültür Koleksiyonunda (ATCC) alındı ve bu çalışmada kullanıldı.

D. 2. MTT Testi

M. neglecta toprak üstü kısımlarının etanol, su ve metanol ekstraktları, farklı kanser hücre serilerine (PC-3, HCT-116, A2780 ve MCF-7) karşı antikanser özellikleri açısından incelendi. Hücrelerin yaşayabilirliği, %0.4 tripan mavisi kullanılarak belirlendi. *M. neglecta* ekstraktlarının % hücre canlılığının etkileri 3-(4,5-dimetiltiyazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolyum bromür (MTT) testi ile değerlendirildi [26,27].

E. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

İstatistiksel analizler için SPSS Statistics 22.0 yazılım programı kullanıldı. Antiradikal analiz sonuçları varyans analizi (ANOVA) ve Duncan'ın çoklu aralık testi (DMRT) ile değerlendirildi. Antikanser

aktivite testleri için Kolmogorov Smirnov testi kullanılarak normal dağılım elde edildi ($p<0.05$). Ekstraktların % hücre canlılığı kullanılarak IC_{50} değerleri hesaplandı.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

A. ANTİRADİKAL ÖZELLİKLER

M. neglecta su, etanol ve metanol ekstraktlarının 500 $\mu\text{g/mL}$ 'lik konsantrasyonda antiradikal aktivite sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Buna göre ABTS ve DPPH radikali yok etme aktivitelerinde standart antioksidan BHT, *M. neglecta* ekstraktlarından daha yüksek aktivite gösterirken, OH radikali yok etme testinde *M. neglecta* etanol ve metanol ekstraktları (%76.69, %80.58, sırasıyla) BHT'den (%75.77) daha yüksek aktivite göstermiştir.

Tablo 1. *M. neglecta* ekstraktlarının ABTS⁺, OH[•], DPPH[•] radikalleri yok etme aktiviteleri, toplam flavonoit, toplam proantosiyanidin, toplam fenolik bileşik değerleri

Örnekler	ABTS ⁺ Yok Etme (%)	OH [•] Yok Etme (%)	DPPH [•] Yok Etme (%)	Toplam Flavonoit ($\mu\text{g CE/g}$)	Toplam Proantosiyanidin ($\mu\text{g CE/g}$)	Toplam Fenolik (mg GAE/g)
<i>M. neglecta</i> Su	74.54 \pm 1.45 ^b	72.81 \pm 0.74 ^c	26.11 \pm 2.31 ^d	2117.54 \pm 5.85	668.89 \pm 3.76	37.57 \pm 0.88
<i>M. neglecta</i> Etanol	41.03 \pm 2.59 ^d	76.69 \pm 0.89 ^a	54.23 \pm 1.66 ^c	1957.65 \pm 3.25	397.45 \pm 2.22	53.33 \pm 1.02
<i>M. neglecta</i> Metanol	68.08 \pm 1.26 ^c	80.58 \pm 0.71 ^b	62.77 \pm 0.99 ^b	857.44 \pm 1.37	251.99 \pm 1.67	74.97 \pm 1.24
BHT	93.24 \pm 0.20 ^a	75.77 \pm 0.12 ^a	95.21 \pm 0.33 ^a	-	-	-

Aynı sütundaki farklı harfler istatistiksel olarak farkı göstermektedir ($p<0.001$). Antiradikal aktivite sonuçları 500 $\mu\text{g/mL}$ ekstrakt konsantrasyonu için hesaplanmıştır. Toplam flavonoit ve toplam proantosiyanidin sonuçları μg kateşin/g ekstrakt, toplam fenolik bileşik sonucu ise mg gallik asit/g ekstrakt şeklinde ifade edilmiştir.

M. neglecta ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; Türker ve Dalar [9] *M. neglecta* meyve ekstraktlarının yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu ileri sürmüşlerdir. Başka bir çalışmada ise *M. neglecta* çiçek ve yaprak ekstraktlarının H_2O_2 ve $\text{O}_2^{\cdot-}$ radikalleri giderme aktivitelerinde ve lipid peroksidasyonun (LPO) inhibisyonunda BHA, BHT ve α -tokoferolden daha yüksek aktivite gösterdikleri belirlenmiştir [12]. Sunulan çalışmada *M. neglecta* su ekstraktı %26.11 oranında DPPH[•] radikali yok etmişken Mavi vd. [10] *M. neglecta* su ekstraktının %55.7 oranında DPPH[•] radikali yok ettiğini saptamışlardır. Bu farklılık bitkinin yetiştiği bölgeyle alakalı olabilir. Çünkü farklı bölgelerde yetişen aynı türe ait bitkilerin içerdiği etken maddelerin hem nicelik hem de nitelik olarak farklı olabileceği bilinmektedir. Pinela vd. [28] *M. neglecta* su ve su/metanol ekstraktlarının standart antioksidanlardan daha düşük DPPH[•] radikali giderme aktivitesine sahip olduklarını, yapılan başka bir çalışmada Khan vd. [29] *M. neglecta* metanol ekstraktının DPPH[•] radikali gidermede standart antioksidan vitamin E'den çok daha düşük aktivite gösterdiğini saptamışlardır. Bizim çalışmamızda da benzer sonuçlar gözlenmiştir. Çünkü *M. neglecta*'nın hem su hem de metanol ekstraktları (%26.11, %62.77, sırasıyla) DPPH[•] radikalini standart antioksidan BHT'den (%95.21) daha düşük oranda yok etmiştir. Saleem vd. [30] *M. neglecta* metanol ekstraktının %24 DPPH radikali yok ettiğini saptamışlardır.

B. FİTOKİMYASAL KOMPOZİSYON

M. neglecta su, etanol ve metanol ekstraktlarının fitokimyasal içerik sonuçları incelendiğinde toplam fenolik bileşik miktarları sırasıyla, 37.57 mg GAE/g ekstrakt, 53.33 mg GAE/g ekstrakt ve 74.97 mg GAE/g ekstrakt şeklinde, toplam flavonoit miktarları sırasıyla, 2117.54 $\mu\text{g CE/g}$ ekstrakt, 1957.65 $\mu\text{g CE/g}$ ekstrakt ve 857.44 $\mu\text{g CE/g}$ ekstrakt şeklinde, toplam proantosiyanidin miktarları ise sırasıyla,

668.89 µg CE/g ekstrakt, 397.45 µg CE/g ekstrakt ve 251.99 µg CE/g ekstrakt şeklinde saptanmıştır (Tablo 1). Bu sonuçlara göre *M. neglecta* su ekstraktının toplam flavonoit ve proantosiyanidin bakımından, metanol ekstraktının ise toplam fenolik bileşik bakımından zengin olduğu görülmektedir. *M. neglecta* ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; Güder ve Korkmaz [12] *M. neglecta* çiçeklerinin 136.1 µg CE/mg toplam fenolik, 46.7 µg CE/mg toplam flavonoit, yapraklarının ise 106.1 µg CE/mg toplam fenolik, 22.9 µg CE/mg toplam flavonoit içerdiğini göstermişlerdir. Mavi vd. [10] *M. neglecta* su ekstraktının 7.6 mg/kg toplam fenolik içerdiğini belirlemişlerdir. Sunulan çalışmada *M. neglecta* su ekstraktının (37.57 mg GAE/g) daha yüksek toplam fenolik bileşik içerdiği gözlenmiştir. Dalar vd. [11] ise *M. neglecta*'nın metanol ekstraktının 17.4 mg GAE/g toplam fenolik, 7.21 mg Rutin E/g toplam flavonoit, 0.027 mg Katesin E/g toplam proantosiyanidin ihtiva ettiğini göstermişlerdir. Bu sonuçların bizim çalışmamızda elde edilen *M. neglecta* metanol ekstraktı değerlerinden daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Khan vd. [29] *M. neglecta* metanol ekstraktının 25.6 µg/g toplam fenolik bileşik içerdiğini saptamışlardır. Pinela vd. [28] ise *M. neglecta* su ve su/metanol ekstraktlarının toplam fenolik bileşik ve toplam flavonoit miktarlarını incelemişler ve su ekstraktının 91.05 mg GAE/g toplam fenolik, 25.14 mg CE/g toplam flavonoit, su/metanol ekstraktının ise 69.54 mg GAE/g toplam fenolik, 22.85 mg CE/g toplam flavonoit içerdiğini göstermişlerdir. Bu sonuçlar su ekstraktı sonuçlarımızla karşılaştırıldığı zaman toplam fenolik miktarının bizim değerlerimizden düşük olduğu, toplam flavonoit miktarının ise bizim değerlerimizden yüksek olduğu görülmektedir. Hasimi vd. [31] *M. neglecta* metanol ekstraktının 68.29 µg PE/ mg ekstrakt toplam fenolik bileşik, 15.58 µg QE/ mg ekstrakt toplam flavonoit içerdiğini belirlemişlerdir.

M. neglecta'nın flavonoit ve fenolik asit içerikleri incelendiğinde flavonoit içeriği olarak myrisetin (0.15 µg/g), morin (0.05 µg/g), kuersetin (0.05 µg/g), kaempferol (0.05 µg/g), naringin (0.05 µg/g), naringenin (0.05 µg/g), resveratrol (0.05 µg/g) ihtiva ettiği belirlenmiştir. Fenolik asit olarak ise vanilik asit (1.95 µg/g), gallik asit (13.65 µg/g), kafeik asit (3.10 µg/g), ferulik asit (12.45 µg/g) ve rosmarinik asit (0.05 µg/g) içerdiği belirlenmiştir (Tablo 2). Türker ve Dalar [9] *M. neglecta*'nın 6.4 mg/g kaempferol, 0.9 mg/g kuersetin içerdiğini göstermişlerdir. Hasimi vd. [31] *M. neglecta* metanol ekstraktının 70.38 µg/g kafeik asit içeriğine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Saleem vd. [30] *M. neglecta* metanol ekstraktının 2.35 mg/g ferulik asit, 118.7 mg/g kuersetin türevleri, 66.8 mg/g kaempferol türevleri ihtiva ettiğini saptamışlardır.

M. neglecta'nın yağda çözünen vitamin olarak retinol (0.10 mg/kg), α-tokoferol (2.45 mg/kg), δ-tokoferol (0.35 mg/kg), D (3.20 mg/kg) ve K vitamini (3.35 mg/kg) içerdiği, fitosterol olarak ise ergosterol (9.15 mg/kg) ve stigmasterol (41.50 mg/kg) ihtiva ettiği saptanmıştır. Yağ asidi içeriği olarak ise %18.34 palmitik asit (16:0), %7.75 palmitoleik asit (16:1), %8.93 stearik asit (18:0), %21.49 oleik asit (18:1), %27.11 linoleik asit (18:2), %9.51 linolenik asit (18:3), %6.87 eikosapentaenoik asit (20:5), %27.27 toplam doymuş yağ asitleri, %72.73 toplam doymamış yağ asitleri içerdiği belirlenmiştir (Tablo 2). Bu sonuçlar ışığında *M. neglecta* bitkisinin vitamin ve omega-3 ile doymamış yağ asitleri bakımından zengin olduğu söylenebilir. Saleem vd. [30] *M. neglecta* metanol ekstraktının %30.73 oranında oleik asit (18:1) içerdiğini belirlemişlerdir. Hasimi vd. [31] *M. neglecta*'nın %36.8 palmitik asit (16:0), %6.8 stearik asit (18:0), %4.6 oleik asit (18:1), %17.8 linoleik asit (18:2), %13.2 linolenik asit (18:3), %55.5 toplam doymuş yağ asitleri, %42.4 toplam doymamış yağ asitleri içerdiğini saptamışlardır. Nengroo vd. [32] ise *M. neglecta*'nın %25.6 palmitik asit (16:0), %8.1 stearik asit (18:0), %3.7 oleik asit (18:1), %57.4 linoleik asit (18:2), %0.7 linolenik asit (18:3), %34.2 toplam doymuş yağ asitleri, %62.6 toplam doymamış yağ asitleri ihtiva ettiğini belirlemişlerdir.

Tablo 2. *Malva neglecta* 'nın flavonoid, fenolik asit, vitamin, fitosterol ve yağ asitleri içerikleri

Flavonoid ve Fenolik Asitler	($\mu\text{g/g}$)
Myrisetin	0.15 \pm 0.00
Morin	0.05 \pm 0.00
Kuersetin	0.05 \pm 0.00
Kaempferol	0.05 \pm 0.00
Naringin	0.05 \pm 0.00
Naringenin	0.05 \pm 0.00
Resveratrol	0.05 \pm 0.00
Vanilik Asit	1.95 \pm 0.10
Gallik Asit	13.65 \pm 0.35
Kafeik Asit	3.10 \pm 0.20
Ferulik Asit	12.45 \pm 0.25
Rosmarinik Asit	0.05 \pm 0.00
Vitamin ve Fitosteroller	($\mu\text{g/g}$)
Retinol	0.10 \pm 0.00
δ -Tocopherol	0.35 \pm 0.05
α -Tocopherol	2.45 \pm 0.10
Vitamin K	3.35 \pm 0.15
Vitamin D	3.20 \pm 0.25
Ergosterol	9.15 \pm 0.20
Stigmasterol	41.50 \pm 1.55
Yağ Asitleri (YA)	(%)
16:0	18.34 \pm 0.19
16:1	7.75 \pm 0.32
18:0	8.93 \pm 0.40
18:1	21.49 \pm 0.34
18:2	27.11 \pm 0.71
18:3	9.51 \pm 0.16
20:5	6.87 \pm 0.12
Doymuş YA	27.27
Doymamış YA	72.73

C. ANTİMİKROBİYAL ÖZELLİKLER

M. neglecta su, etanol ve metanol ekstraktlarının antimikrobiyal aktivite sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Buna göre *M. neglecta* su ekstraktının sadece *B. subtilis*, *B. megaterium* ve *S. aureus* bakterileri üzerinde, etanol ve metanol ekstraktlarının ise *E. coli*, *P. vulgaris*, *P. aeruginosa*, *L. monocytogenes*, *K. pneumoniae*, *B. subtilis*, *B. megaterium* ve *S. aureus* bakterileri ve *C. albicans* maya-mantarı üzerinde antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. *M. neglecta* metanol ekstraktının *E. coli*, *L. monocytogenes* ve *B. subtilis* üzerinde (sırasıyla, 11 mm, 9 mm, 10 mm) standart antibiyotikten (sırasıyla, 10 mm, 8 mm, 9 mm) daha yüksek antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir. *M. neglecta* ile ilgili antimikrobiyal çalışmalar incelendiğinde Seyyednejad vd. [14] bu bitkinin etanol ekstraktının *Bacillus anthracis*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *L. monocytogenes* ve *P. aeruginosa* bakterileri üzerinde, Khan vd. [29] ise aynı bitkinin metanol ekstraktının *E. coli*, *Salmonella typhimurium*, *Streptococcus pneumoniae* ve *P. vulgaris* bakterileri üzerinde antimikrobiyal aktivite gösterdiğini belirlemişlerdir. Hasimi vd. [31] *M. neglecta*'nın metanol ve aseton ekstraktlarının *E. coli*, *S. pyogenes*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* ve *C. albicans* mikroorganizmalarına karşı antimikrobiyal aktiviteye sahip olduklarını saptamışlardır. Bu çalışmaların sonuçlarının bizim çalışma sonuçlarımızla uyumlu olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 3. *Malva neglecta* ekstraktlarının antimikrobiyal aktiviteleri (mm zone)

Mikroorganizma	<i>M. neglecta</i> Su	<i>M. neglecta</i> Etanol	<i>M. neglecta</i> Metanol	Standart Antibiyotikler
<i>Escherichia coli</i>	-	9	11	10
<i>Proteus vulgaris</i>	-	8	9	10
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	8	11	15
<i>Listeria monocytogenes</i>	-	8	9	8
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	8	9	9
<i>Bacillus subtilis</i>	8	9	10	9
<i>Bacillus megaterium</i>	8	9	10	12
<i>Staphylococcus aureus</i>	9	9	10	12
<i>Candida albicans</i>	-	8	9	10

Streptomisin sülfat (10 mg/disk) ve Nystatin (30 mg/disk) standart antibiyotik diskler olarak kullanılmıştır. Kağıt disklerin çapı 6 mm alınmıştır.

D. ANTİKANSER ÖZELLİKLER

PC-3, A2780, MCF-7 ve HCT-116 kanser hücre serilerine karşı *M. neglecta* ekstraktlarının antikanser aktivitelerinin IC₅₀ değerleri Tablo 4'de sunulmaktadır. Buna göre *M. neglecta* etanol ekstraktının (42.15 µg/mL, 4.30 µg/mL, 13.62 µg/mL, sırasıyla) PC-3 insan prostat kanseri, A2780 insan yumurtalık kanseri ve MCF-7 insan göğüs kanseri hücrelerine karşı diğer ekstraktlardan daha yüksek antikanser aktivite gösterdiği; *M. neglecta* metanol ekstraktının ise (46.95 µg/mL) HCT-116 insan kolon kanseri hücrelerine karşı daha yüksek antikanser aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Prostat kanseri gibi erkeklerde en sık görülen ve akciğer kanserinden sonra en fazla ölüme sebep olan bir kanser türüne karşı; tüm dünyada ve ülkemizde kadınlarda en sık görülen kanser türleri olan göğüs ve yumurtalık kanseri türlerine karşı ve son olarak dünya genelinde akciğer kanserinden sonra en fazla ölüme sebebiyet veren kanser türü olan kolon kanserine karşı bu kadar etkili sonuçlar elde edilmiş olması *M. neglecta*'nın etkili bir antikanser aktivite potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir [33-36]. *M. neglecta* ile ilgili literatür araştırmasında bu bitkinin antikanser özelliğiyle ilgili herhangi bir çalışma bulunamadı. Bu yüzden bu çalışma sonuçlarının *M. neglecta*'nın antikanser özelliğiyle ilgili ilk rapor olduğu söylenebilir.

Tablo 4. *M. neglecta* ekstraktlarının PC-3, A2780, MCF-7 ve HCT-116 kanser hücre serileri üzerindeki antikanser aktivite testlerinin IC₅₀ değerleri

Örnekler (µg/mL)	PC-3	A2780	MCF-7	HCT-116
<i>M. neglecta</i> Su	54.01	5.29	14.73	55.90
<i>M. neglecta</i> Etanol	42.15	4.30	13.62	52.40
<i>M. neglecta</i> Metanol	46.79	4.80	13.96	46.95

IV. SONUÇ

Bu çalışmada *M. neglecta* toprak üstü kısımlarının su, etanol ve metanol ekstraktlarının antiradikal, antimikrobiyal, antikanser ve fitokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma sonunda bu bitkinin etkili antiradikal, antimikrobiyal ve antikanser özelliklere sahip olduğu, fitokimyasal içerik bakımından zengin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sunulan çalışma ile ilk defa *M. neglecta*'nın *in vitro* antikanser özellikleri incelenmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 115Z056 numaralı proje ile desteklenmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] R.A. Larson, "The antioxidants of higher plants," *Phytochemistry*, vol. 27, pp. 969–978, 1988.
- [2] N. Ramarathnam, T. Osawa, M. Namiki, and S. Kawakishi, "Chemical studies on novel rice hull antioxidants. 1. Isolation, fractionation, and partial characterization," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 36, pp. 732–737, 1988.
- [3] D.E. Pratt and B.J.F. Hudson, "Natural antioxidants not exploited commercially in food antioxidants," Ed. B.J.F. Hudson, Netherlands: Elsevier, 1990, pp. 171–192.
- [4] F. Keser, "Bazı yenilebilir bitkilerin antiradikal, antibakteriyel ve antikanser özellikleri ile içerdikleri fitokimyasal bileşiklerin saptanması," Yüksek Lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2018.
- [5] B.M. Ames, M.K. Shigena, and T.M. Hagen, "Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of ageing," *Proceedings of National Academy of Sciences USA*, vol. 90, pp. 7915–7922, 1993.
- [6] L.O. Dragsted, M. Strube, and J.C. Larsen, "Cancer-protective factors in fruits and vegetables: Biochemical and biological background," *Pharmacological Toxicology*, vol. 72, pp. 116–135, 1993.
- [7] İ. Gülçin, "Isırgan otunun (*Urtica dioica*) antioksidan aktivitesinin belirlenmesi, oksidatif enzimlerin karakterizasyonu ve bazı *in vivo* etkilerinin incelenmesi," Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2002.
- [8] A. Güder, "*Urtica dioica* L. ve *Malva neglecta* Wallr. bitkilerinin ve karışımlarının antioksidant aktivitesinin belirlenmesi," Yüksek Lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 2008.
- [9] M. Türker, and A. Dalar, "*In vitro* antioxidant and enzyme inhibitory properties and phenolic composition of *M. neglecta* Wallr. (Malvaceae) fruit: A traditional medicinal fruit from Eastern Anatolia," *Industrial Crops and Products*, vol. 51, pp. 376–380, 2013.
- [10] A. Mavi, Z. Terzi, U. Özgen, A. Yildirim, and M. Coşkun, "Antioxidant properties of some medicinal plants: *Prangos ferulacea* (Apiaceae), *Sedum sempervivoides* (Crassulaceae), *Malva neglecta* (Malvaceae), *Cruciata taurica* (Rubiaceae), *Rosa pimpinellifolia* (Rosaceae), *Galium verum* subsp. *verum* (Rubiaceae), *Urtica dioica* (Urtiaceae)," *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, vol. 27, pp. 702–705, 2004.
- [11] A. Dalar, M. Türker, and I. Konczak, "Antioxidant capacity and phenolic constituents of *Malva neglecta* Wallr. and *Plantago lanceolata* L. from Eastern Anatolia Region of Turkey," *Journal of Herbal Medicine*, vol. 2, pp. 42–51, 2012.
- [12] A. Güder, and H. Korkmaz, "Evaluation of *in vitro* antioxidant properties of hydroalcoholic solution extracts *Urtica dioica* L., *Malva neglecta* Wallr. and their mixture," *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 11, pp. 913–923, 2012.
- [13] I. Gürbüz, A.M. Özkan, E. Yesilada, and O. Kutsal, "Anti-ulcerogenic activity of some plants used in folk medicine of Pinarbasi (Kayseri, Turkey)," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 101, pp. 313–318, 2005.

- [14] S.M. Seyyednejad, H. Koochak, E. Darabpour, and H. Motamedi, "A survey on *Hibiscus rosasinensis*, *Alcea rosea* L. and *Malva neglecta* Wallr. as antibacterial agents," *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, vol. 3, pp. 351–355, 2010.
- [15] W. Brand-Williams, M.E. Cuvelier, and C. Berset, "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 28, pp. 25–30, 1995.
- [16] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay," *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 26, pp. 1231–1237, 1999.
- [17] B. Halliwell, J.M.C. Gutteridge, and O. Aruoma, "The deoxyribose method: a simple test tube assay for determination of rate constants for reactions of hydroxyl radicals," *Analytical Biochemistry*, vol. 165, pp. 215–219, 1987.
- [18] K. Slinkard, and V.L. Singleton, "Total phenol analysis-automation and comparison with manual methods," *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 28, pp. 49–55, 1977.
- [19] D.O. Kim, O.K. Chun, Y.J. Kim, H.Y. Moon, and C.Y. Lee, "Quantification of polyphenolics and their antioxidant capacity in fresh plums," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 51, pp. 6509–6515, 2003.
- [20] O.U. Amaeze, G.A. Ayoola, M.O. Sofidiya, A.A. Adepoju-Bello, A.O. Adegoke, and H.A.B. Coker, "Evaluation of antioxidant activity of *Tetracarpidium conophorum* (Mull. Arg) Hutch & Dalziel leaves," *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, vol. 2011, 2011, Art. no. 976701.
- [21] Y.G. Zu, C.Y. Li, Y.J. Fu, and C.J. Zhao, "Simultaneous determination of catechin, rutin, quercetin, kaempferol and isorhamnetin in the extract of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaf by RP-HPLC with DAD," *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, vol. 41, pp. 714–719, 2006.
- [22] W.W. Christie, "Gas chromatography and lipids," Glasgow, Scotland: The Oil Press, 1992, pp. 302–320.
- [23] D.I. Sanchez-Machado, J. Lopez-Hernandez, and P. Paseiro-Losado, "High performance liquid chromatographic determination of alpha-tocopherol in macroalgae," *Journal of Chromatography A*, vol. 976, pp. 277–284, 2002.
- [24] J. López-Cervantes, D.I. Sánchez-Machado, and N.J. Ríos-Vázquez, "High performance liquid chromatography method for the simultaneous quantification of retinol, α -tocopherol, and cholesterol in shrimp waste hydrolysate," *Journal of Chromatography A*, vol. 1105, pp. 135–139, 2006.
- [25] C.M. Collins, and P.M. Lyne, *Microbiological Methods*, London, England: Butterworths-Heinemann, 1989, pp. 3–126.
- [26] T. Mosmann, "Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: Application to proliferation and cytotoxicity assays," *Journal of Immunological Methods*, vol. 65, pp. 55–63, 1983.
- [27] F. Denizot, and R. Lang, "Rapid colorimetric assay for cell growth and survival. Modifications to the tetrazolium dye procedure giving improved sensitivity and reliability," *Journal of Immunological Methods*, vol. 89, pp. 271–277, 1986.
- [28] J. Pinela, L. Barros, A.L. Antonio, A.M. Carvalho, M.B.P.P. Oliveira, and I.C.F.R. Ferreira, "Quality control of gamma irradiated dwarf mallow (*Malva neglecta* Wallr.) based on color, organic acids, total phenolics and antioxidant parameters," *Molecules*, vol. 21, pp. 1–13, 2016.

- [29] H. Khan, S.A. Jan, M. Javed, R. Shaheen, Z. Khan, A. Ahmad, S.Z. Safi, and M. Imran, "Nutritional composition, antioxidant and antimicrobial activities of selected wild edible plants," *Journal of Food Biochemistry*, vol. 40, pp. 61–70, 2016.
- [30] U. Saleem, S. Khalid, S. Zaib, F. Anwar, B. Ahmad, I. Ullah, A. Zeb, and M. Ayaz, "Phytochemical analysis and wound healing studies on ethnomedicinally important plant *Malva neglecta* Wallr.," *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 249, 112401, 2020.
- [31] N. Hasimi, A. Ertaş, E. Varhan Oral, H. Alkan, M. Boğa, M.A. Yılmaz, İ. Yener, I. Gazioğlu, C. Özaslan, M. Akdeniz, and U. Kolak, "Chemical profile of *Malva neglecta* and *Malvella sherardiana* by LC-MS/MS, GC/MS and their anticholinesterase, antimicrobial and antioxidant properties with aflatoxin-contents," *Marmara Pharmaceutical Journal*, vol. 21, pp. 471-484, 2017.
- [32] Z.R. Nangroo, A. Rauf, M. Danish, and M.S. Dar, "Evaluation of fatty acid composition and antimicrobial activity of eight medicinal plants from Kashmir," *Oriental Journal of Chemistry*, vol. 36, pp. 44–53, 2020.
- [33] G.G. Eskiler, A.D. Özkan, S. Kaleli, "Metastatik prostat kanserinde nobiletinin sitotoksik ve apoptotik etkisinin belirlenmesi," *Sakarya Tıp Dergisi*, c. 8, ss. 766-774, 2018.
- [34] R. Siegel, J. Ma, Z. Zou, A. Jemal, "Cancer Statistics, 2014," *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 64, pp. 9–29, 2014.
- [35] S.C. Williamson, A.E. Hartley, R. Heer, "A review of tasquinimod in the treatment of advanced prostate cancer," *Drug Design, Development and Therapy*, vol. pp. 167–174, 2013.
- [36] D. Coşkun, "HCT 116 ve HT 29 Kolon karsinoma hücrelerinde epibrassinolid tarafından tetiklenen apoptotik süreçte poliaminlerin rolü," Yüksek Lisans tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Investigation of Genotoxic Effects of Imazamox Herbicide on Zebrafish (*Danio rerio*) Using Micronucleus Assay

 Pinar GOC RASGELE ^{a,*},  Guncha MEREDOVA ^b,  Serife Gulsun KIRANKAYA ^c

^a Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Duzce University, Duzce, TÜRKİYE

^b Department of Biology, Graduate School, Düzce University, Duzce, TÜRKİYE

^c Department of Biology, Faculty of Science and Arts, Duzce University, Duzce, TÜRKİYE

* Corresponding author e-mail: pinarrasgele@duzce.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.1050245

ABSTRACT

Imazamox is an imidazolinone herbicide; it is an acetalactetase (ALS) / acetylhydroxyacid (AHAC) inhibitor and is widely used for weed control. In this study, the genotoxic effect of the commercial formulation of imazamox was investigated in zebrafish peripheral blood cells *in vivo* using the micronucleus (MN) method. Fishes were treated at three different concentrations of imazamox (3, 6, 12 mg L⁻¹) for 24, 48, 72 and 96 hours. At the highest concentration (12 mg L⁻¹), it was observed that all fish died in all treatment periods. According to 24, 48 and 96 h treatment results; compared to the negative control, it was determined that the MN frequency increased as the concentration increased. These results show us that imazamox herbicide may have genotoxic potential for aquatic organisms. Further studies should be conducted to investigate the mechanisms that are effective in the genotoxicity of imazamox.

Keywords: Imazamox, Imidazolinon herbicide, Micronucleus formation

İmazamoks Herbisidinin Zebra Balığı (*Danio rerio*) Üzerine Olan Genotoksik Etkisinin Mikronukleus Yöntemi Kullanılarak Araştırılması

ÖZ

İmazamoks (IMA), imidazolinon grubunda yer alan, asetalaktatsentaz (ALS) / asetilhidroksiasit (AHAS) inhibitörü olan ve yabancı ot kontrolü için yaygın olarak kullanılan bir herbisittir. Bu çalışmada imazamoks'un ticari formülasyonunun genotoksik etkisi zebra balığı periferel kan hücrelerinde *in vivo* olarak mikronukleus yöntemi kullanılarak araştırıldı. Balıklar imazamoks'un üç farklı konsantrasyonuna (3, 6, 12 mg L⁻¹) 24, 48, 72 ve 96 saatlik boyunca muamele edildiler. En yüksek konsantrasyonda (12 mg L⁻¹) tüm muamele sürelerinde balıkların tamamının öldüğü gözlemlendi. 24, 48, 72 ve 96 saatlik muamele sonuçları; negatif kontrole karşılaştırıldığında, konsantrasyon arttıkça MN(mikronukleus) frekansında artış olduğu belirlendi. Bu sonuçlar bize imazamoks herbisitinin sucul canlılar için genotoksik potansiyele sahip olabileceğini göstermektedir. İmazamoks'un genotoksikite oluşturmada etkili olan mekanizmaların araştırılmasına yönelik ileri çalışmalar yapılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: İmazamoks, İmidazolinon herbisiti, Mikronukleus oluşumu

I. INTRODUCTION

Excessive human population growth has increased the need for food since the last century. Therefore, the use of pesticides has become necessary in recent modern agricultural activities in order to increase product yield. However, uncontrolled pesticide use causes environmental pollution in addition to potentially reaching excessive levels that lead to toxic effects in both human and animal populations. Additionally, pesticides such as insecticides, herbicides can poison and kill a wide range of non-target organisms by contamination of irrigation and natural waters, and thus are considered a threat for aquatic ecosystems [1].

Herbicides are chemicals that are used to kill or control weeds. Since herbicides prevent the synthesis of leucine, isoleucine and valine amino acids from branched amino acid chains in sensitive plant species, plant growth stops and then death occurs [2]. There are many studies on the genotoxicity of herbicides on different test systems [3-8].

Imazamox (IMA) is an imidazolinone group herbicide widely used for weed control in the cultivation of foods such as soybeans, peas, alfalfa, beans, corn and peanuts. The environmental protection agency (EPA) has identified a family of pesticides, including IMA, as a potential water pollutant. Because IMA dissolves well in water, it is a prime factor for water pollution. In *in vivo* and *in vitro* investigations, USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) [9], FAO (Food And Agriculture Organisation)/WHO(World Health Organisation) [10] and EFSA (European Food Safety Authority) [11] stated that IMA was neither mutagenic nor genotoxic. Contrary to these statements', previous studies' conducted on IMA have shown it to have positive results on mutagenic and recombinogenic activity on *Drosophila melanogaster* [12] and hepatic and pancreatic toxic effects in rats [13]. While it has been demonstrated that IMA poses a low risk to aquatic invertebrates [11], there is however no data regarding its genotoxicity effect on zebrafish.

There are many methods used to investigate the genotoxic effects of chemicals. One of them is theMN method, which is widely used to evaluate both aneugenic and clastogenic effects together. Micronuclei occur due to chromosome breakage and gene differentiation during mitosis; they are small nucleolus-like formations in the cytoplasm consisting of whole chromosomes or irregular chromosome pieces and have the same characteristics as the nucleus. The numerical increase in the amount of MN is the most important indicator of genetic damage. Due to this feature, the MN test is a widely used test to detect DNA damage in aquatic organisms.

Although there are many studies on the genotoxic effects of polluted environments, bivalves and fish are frequently used in these studies. The use of fish is appropriate because of their role in the aquatic food chain and bioindicators. Zebrafish, *Danio rerio*, is a freshwater fish species belonging to the family Danionidae. Recently, their use has increased greatly in scientific research due to their suitability to serve as a functional model, with subsequent advantages for aquatic toxicity studies. First of all, they are easy to feed and are sensitive to chemicals. They also have a short reproductive cycle and rapid development. Therefore, they are an ideal ecotoxicological model to observe the effects of chemicals on survival, growth and reproduction [14].

In this study, we aimed to reveal the genotoxic effects of IMA on peripheral blood cells of *Danio rerio* by using the MN assay.

II. MATERIAL AND METHODS

A. TEST CHEMICALS

In the present study, trade formulation of IMA (Simirna^{®-X}) (CAS No: 114311-32-9) was used as the test material. The chemical structure of IMA is given in Figure 1. Giemsa (CAS no. 51811-82-6) and Methanol (CAS no. 67-56-1) were purchased from Merck[®] and Sigma[®], respectively.

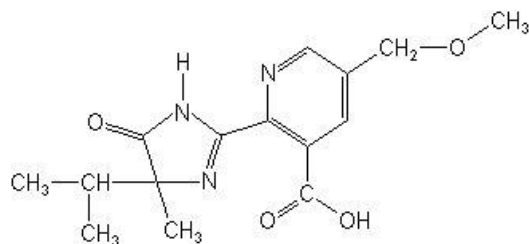


Figure 1. Imazamox Chemical Structure [15]

B. ANIMALS AND EXPOSURE PROTOCOL

D. rerio used in the study were obtained from a licensed commercial company. Before the experiment, the fish were kept in the experimental conditions for 2 weeks without any IMA application for them to acclimate to the experimental environment. During the study, the fish were kept in a 50 L glass aquarium with a light period of 12:12 hours day and night, the water and ambient temperature was fixed at 27 ± 1 °C with thermostats, and aquariums were continuously oxygenated with air motors. Fish food was given once a day and filtered tap water (rested for 24 hours prior administration) was used. The experiment was approved by the Ethics Committee of Duzce University in Turkey (No: 2021/03/10).

The LC_{50} value of IMA for fish is $>122 \text{ mg L}^{-1}$ [16]. Therefore, in our study, 3 different doses of IMA ($LC_{50}/10$, $LC_{50}/20$, and $LC_{50}/40$) were administered to fish for 24, 48, 72 and 96 hours. Dechlorinated tap water was used as the negative control.

C. MICRONUCLEUS ASSAY

At the end of the 24, 48, 72 and 96 treatments, blood samples were taken from the ventral main artery with heparinized syringes under anesthesia. Blood samples from each sample were dripped onto clean numbered slides and spread rapidly to form a thin layer on the surface. Three blood preparations were prepared for each sample and left to dry. Dried blood preparations were fixed in 98% ethanol for 20 minutes, and then the dried slides were stained in 5% Giemsa solution for 15 minutes. The dried preparations were turned into permanent preparations and examined under light microscope. In the evaluation of micronucleus formation, a total of 3000 cells were counted for each sample. The micronucleus percentage was calculated according to the formula $\% \text{ MN} = \text{number of cells containing MN} / \text{total number of cells}$.

D. STATISTICAL ANALYSIS

The normal distribution of the data obtained from the micronucleus test was checked with the Kolmogorov-Smirnov test. Evaluation of normally distributed data groups was done with one way ANOVA.

III. RESULTS AND DISCUSSION

When the MN frequencies obtained from the treatment groups were compared with the negative control, it was seen that the MN formation increased depending on the concentration. After 24, 48 and 96 hours of IMA exposure, MN frequencies in the treatment groups were found to increase compared to the negative control group (Table 1). Accordingly, the highest MN frequency was found to be 4.75 for 24 h treatment and at 6 mg L^{-1} concentration of IMA ($p < 0.05$).

Table 1. Frequency of micronucleus in peripheral blood cells of *D. rerio* exposed to IMA

	MN-24	MN-48	MN-72	MN-96
Negative control	0.50±0.22	0.33±0.21	0.16±0.16	0.16±0.16
IMA (3 mg L ⁻¹)	1.00±0.36	1.00±0.70	1.16±0.47	1.16±0.33
IMA (6 mg L ⁻¹)	4.75±0.70***	3.00±1.51	1.00±0.26	2.50±0.50**
IMA (12 mg L ⁻¹)	ND	ND	ND	ND

ND: Not determined due to death

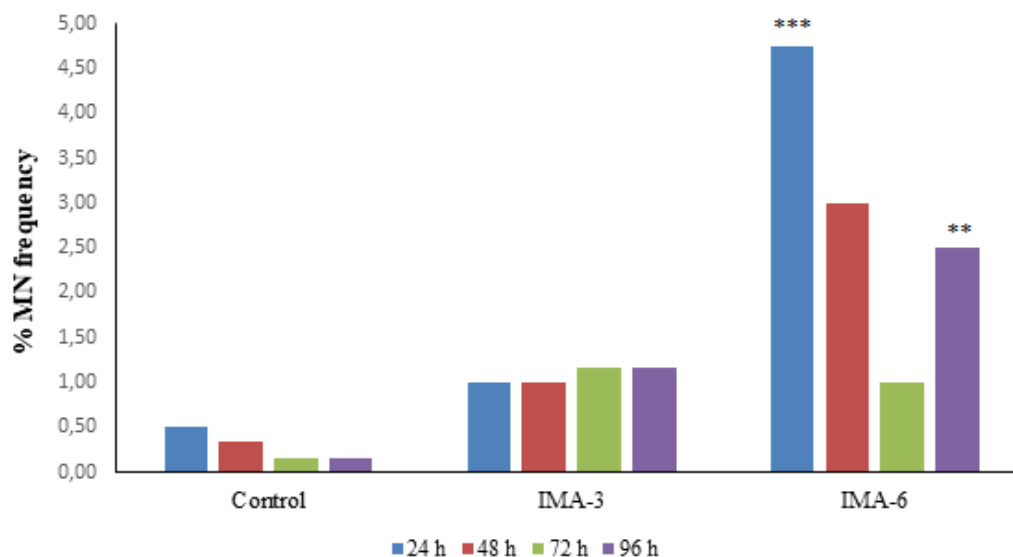


Figure 1. Percentage of micronucleated erythrocytes after exposure to different concentrations of IMA for 24, 48, 72 and 96 hours in peripheral blood cells of *D. rerio*.

The frequency of MN is shown in Figure 1 according to the concentrations and exposure periods. In the negative control, a decrease was observed according to the exposure time. At 3 mg L⁻¹ concentration of IMA, the frequency of MN increased at 72 and 96 hours, but these increases were not significant. The frequency of MN peaked at 24 hours at the 6 mg L⁻¹ concentration of IMA, but it decreased at 48 and 72 hours and then increased again at 96 hours. These reductions at 48 and 72 h were not statistically significant. It was determined that the increase at the 96 h was significant. The increases at 24 and 96 hours differ significantly from the same exposure at 48 and 72 hours. At the highest concentration of IMA (12 mg L⁻¹), it was observed that all fish died in all treatment periods.

Our study is the first report to reveal the genotoxicity of IMA on peripheral blood cells of *Danio rerio* and IMA was genotoxic at 6 mg L⁻¹ concentration for 24 and 96h, and at 12 mg L⁻¹ for all treatment periods. There are a few studies on the genotoxicity of IMA. Demirci et al. [17] indicated that IMA cleaved plasmid DNA in the presence and absence of Cu(II) ions. Additionally, EFSA [11] reported that IMA has a low risk to soil and aquatic organisms. Fragiorgio et al. [12] stated that high doses of IMA (10.0 and 20.0 mM) have a genotoxic potential in *D. melanogaster*. These results are in agreement with results of our present study on the positive genotoxicity of IMA.

Imazamox (IMA) is an imidazolinone group herbicide. Imidazolinone group herbicides are effective as they block the acetolactate synthase (ALS) and acetohydroxy synthase (AHAS) enzymes in chlorophyll. When they are applied to a plant, the synthesis of isoleucine, leucine and valine amino acids in the plant stops, and since this amino acid is not present, many proteins cannot be synthesized and the plant dies.

The results show that high concentrations of commercial formulation of IMA increased micronucleus frequency in erythrocytes of *Danio rerio* and induced genotoxic effects. Excessive use of herbicides can

cause serious ecotoxicological problems by causing undesirable effects on humans and the environment in the short or long term through soil and water resources.

IV. CONCLUSION

In conclusion, the present study used micronucleus assay to evaluate that a commercial formulation of IMA may be genotoxic to zebrafish peripheral blood cells. Therefore, dose selection should be considered when using this herbicide. The genotoxic and cytotoxic activity of imazamox on different test systems needs to be investigated using molecular methods.

ACKNOWLEDGEMENTS: We thank Mr. Julian Johnson for checking the language of the text as a native speaker.

V. REFERENCES

- [1] S. Ogut, G. N. Cetin, ve E. Kucukoner, "İsparta ve çevre ilçelerde tarımsal üretimde kullanılan pestisitlerin uygulayıcılar üzerindeki akut etkileri," *Toksikoloji Dergisi*, c. 6, s. 1–2, ss. 69-72, 2008.
- [2] A. Zulet, M. Gil-Monreal, J. G. Villamor, A. Zabalza, R. A. L. van der Hoorn, and M. Royuela, "Proteolytic pathways induced by herbicides that inhibit amino acid biosynthesis," *Plos One*, vol. 8, no. 9, 2013.
- [3] X. Ma., Y. Zhang, M. Guan, W. Zhang, H. Tian, C. Jiang, X. Tan and W. Kang, "Genotoxicity of chloroacetamide herbicides and their metabolites in vitro and in vivo," *International Journal of Molecular Medicine*, vol. 47, no. 103, pp. 1-10, 2021.
- [4] P. Gupta and S. K. Verma, "Evaluation of genotoxicity induced by herbicide pendimethalin in fresh water fish *Clarias batrachus* (linn.) and possible role of oxidative stress in induced DNA damage," *Drug and Chemical Toxicology*, pp. 1-10, 2020.
- [5] K. Nagy, R. Argaw, T. Lygia, T. Budnik and B. Ádám, "Comparative cyto- and genotoxicity assessment of glyphosate and glyphosate-based herbicides in human peripheral white blood cells," *Environmental Research*, vol. 179, 2019.
- [6] R. Liman and S. Ozkan, "Cytotoxicity and genotoxicity in *Allium cepa* L. root meristem cells exposed to the herbicide penoxsulam," *Celal Bayar University Journal of Science*, vol. 15, no. 2, pp. 221-226, 2019.
- [7] B. Ulus, M. Celiksoz and G. Ozhan, "Cytotoxicity and genotoxicity of fenoxaprop-p-ethyl and fluzifob-pbutyl herbicides," *Istanbul J Pharm*, vol. 47, no. 1, pp. 5-8, 2017.
- [8] J. M. Pérez-Iglesias, S. Soloneski, N. Nikoloff, G. S. Natale and M. L. Larramendy, "Toxic and genotoxic effects of the imazethapyr based herbicide formulation Pivot H[®] on Montevideo tree frog *Hypsiboas pulchellus* tadpoles (Anura, Hylidae)," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 119, pp. 15-24, 2015.
- [9] U.S. Environmental Protection Agency. (2021, Dec 19). *Imazamox; notice of filing a pesticide petition to establish a tolerance for a certain pesticide chemical in or on food. Federal register* [Online]. Available: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2002-12-23/pdf/02-32260.pdf>.

- [10] FAO/WHO. (2021, Dec 19). *Pesticide residues in food. Report 2014, FAO plant production and protection paper* [Online]. Available: [/https://www.fao.org/3/CB2741EN/bookmarks.pdf](https://www.fao.org/3/CB2741EN/bookmarks.pdf)
- [11] European Food Safety Authority (EFSA), “Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance imazamox.” *EFSA Journal*, vol. 14, no. 4:4432, pp. 116, 2016.
- [12] E. J. Fragiorge, A. A. A. Rezende, U. Graf and M. A. Spano, “Comparative genotoxicity evaluation of imidazolinone herbicides in somatic cells of *Drosophila melanogaster*,” *Food and Chemical Toxicology*, vol. 46, pp. 393–401, 2008.
- [13] C. Sevim, S. Comakli, A. Taghizadehghalehjoughi, M. Özkaraca, R. Mesnage, L. Kovatsi, T. I. Burykina, A. Kalogeraki, M. N. Antoniou and A. Tsatsakis, “An imazamox-based herbicide causes apoptotic changes in rat liver and pancreas,” *Toxicology Reports*, vol. 6, pp. 42-50, 2019.
- [14] Y. Liu, Y. Zhang, S. Tao, Y. Guan, T. Zhang, and Z. Wang, “Global DNA methylation in gonads of adult zebrafish *Danio rerio* under bisphenol A exposure,” *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 130, pp. 124-132, 2016.
- [15] Massachusetts Department of Agriculture Division of Crop and Pest Services and Massachusetts Department of Environmental Protection Office of Research and Standards. (2021, Dec 19) *Imazamox* [Online]. Available: <https://www.mass.gov/doc/imazamox/download>.
- [16] Thurston County Health Department (2021, Dec 19), *Assessment, acute toxicity hazard-ecotoxicity, hand,* [Online]. Available: [https://www.co.thurston.wa.us/Health/ehipm/pdf_terr/terrestrial%20actives/imazamox%20\(terrestrial\).pdf](https://www.co.thurston.wa.us/Health/ehipm/pdf_terr/terrestrial%20actives/imazamox%20(terrestrial).pdf)
- [17] Ö. Demirci, B. C. Toptanci and M. Kizil, “In vitro studies on pesticide-induced oxidative DNA damage,” *JOTCSA*, vol. 3, no. 3, pp. 479-490, 2016.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Elektrikli Araçların Performanslarının CRITIC-EATWIOS ile Değerlendirilmesi

 Elif ÇALOĞLU BÜYÜKSELÇUK^{a,*},  Hakan TOZAN^b

^a Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Fenerbahçe Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul Medipol Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: elif.buyukselcuk@fbu.edu.tr
doi: 10.29130/dubited.1002851

Öz

Küresel ısınma neticesinde tüm uluslar birtakım önlemler almak üzere harekete geçmişlerdir. Bu önlemler çerçevesinde ülkeler elektrikli araçların üretimi ve satışı üzerine yoğunlaşmışlardır. Ülkemizde de son yıllarda bu araçların kullanımı giderek yaygın hale gelmektedir. Bu çalışma, piyasada mevcut araçların performanslarını değerlendirerek alıcılara karar verme süreçlerinde destek olmayı amaçlamaktadır. Literatürde elektrikli sportif çok amaçlı araçların (Electric Sports Utility Vehicles, e-SUV) verimliliğini bütünlük Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önemi (CRITIC) ve Girdi-Çıktıların Tatminine Dayalı Etkinlik Analizi Tekniği (Efficiency Analysis Technique with Input Output Satisficing-EATWIOS) yöntemlerini kullanarak değerlendiren bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma bu boşluğu doldurarak, e-SUV'ların verimliliklerini değerlendirmektedir. CRITIC yönteminden elde edilen ağırlıklar EATWIOS yönteminde kullanılarak e-SUV'ların verimlilikleri değerlendirilmiştir. Belirlenen yedi tane girdi ve dört tane çıktı faktörüne göre Türkiye'de satılan beş farklı markaya ait e-SUV'lar performans açısından değerlendirilmiştir. e-SUV satın alma sürecinde enerji tüketiminin, fiyatın ve araç ağırlığının önemli faktörler olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak İngilizler tarafından üretilen e-SUV'un en iyisi olduğu sonucuna ulaşılmış ancak verimliliğin çok yüksek olmadığı, verimliliğin artırılması için çalışmalar yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Performans ölçümü, CRITIC, EATWIOS, Elektrikli araç, Çok kriterli karar verme

Evaluation of Electric Vehicles Performance via CRITIC-EATWIOS

ABSTRACT

As a result of global warming, all nations have taken action to take some precautions. Within the framework of these measures, countries have focused on the production and sale of electric vehicles. In our country, the use of these tools has become increasingly common in recent years. This study aims to support the buyers in their decision-making processes by evaluating the performance of the vehicles available in the market. In the literature, the efficiency of electric sport utility vehicles (Electric Sports Utility Vehicles, e-SUV) and the Efficiency Analysis Technique with Input Output Satisficing-EATWIOS) methods were not found in a study evaluating it. This study fills this gap and evaluates the efficiency of e-SUVs. The weights obtained from the CRITIC method were used in the EATWIOS method to evaluate the efficiency of e-SUVs. According to the determined seven input and four output factors, e-SUVs of five different brands sold in Turkey were evaluated in terms of performance. It was concluded that energy consumption, price and vehicle weight are important factors in the e-SUV purchasing process. As a

result, it has been concluded that the e-SUV produced by the British is the best, but it has been emphasized that the efficiency is not very high and studies should be done to increase the efficiency.

Keywords: Performance measurement, CRITIC, EATWIOS, Electric vehicle, Multi criteria decision making

I. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, plansız kentleşme ve sanayileşme, doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı ve benzeri etkenlere bağlı olarak çevre kirliliği insanoğlunun çözmesi gereken en önemli problemlerden biri haline gelmiştir. Tüm dünyayı tehdit eden bu etkenler arasında kullanılan enerji kaynaklarının da yeri önemlidir. Küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden olan sera gazlarının %23'ü kullanılan enerji kaynaklarından kaynaklanmaktadır. Tüm dünyada kullanılan bu enerjinin neredeyse çeyreği de ulaşım için harcanmaktadır [1], [2]. Ulaşım araçları denilince ilk olarak otomobil, midibüs, minibüs, otobüs, kamyon, tren ve uçaklar akla gelmektedir. Bu araçlarda kullanılan yakıtlardan kaynaklanan kirleticilerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için ülkeler önlemler almak amacıyla yeni birtakım stratejiler geliştirmişlerdir.

Dünya Sağlık Örgütü'nün yaptığı açıklamalara göre hava kirliliği insan sağlığını ciddi anlamda tehdit eden bir unsurdur. Dünya çapında yaklaşık iki milyon insanın erken ölümüne neden olmaktadır [1]. Son yıllarda çevreye karşı olan duyarlılık ve çevre bilincinin artması ile otomobil üreticisi firmalar yeşil ve sürdürülebilir çevre için birtakım önlemler almak amacıyla harekete geçmişlerdir [3]. Teknoloji ile, otomobillerde içten yanmalı motorlar kullanmak yerine yeni nesil enerji kaynaklarını kullanarak ürettikleri otomobillerde elektrikli motorları tercih etmektedirler. Sıfır CO₂ emisyonlu elektrikli araçların üretimi ile hava kirliliği azaltılması sağlanmaktadır [4]. Bu nedenle birçok ülke benzin ve dizel yakıt kullanan araçların satışını yasaklayacağını duyurmuştur. 2016 yılında Norveç, benzin ve dizel yakıt kullanan araçların 2025 yılından itibaren satışının yasaklanacağını ilan ederken aynı tarihlerde Almanya'da 2030 yılından itibaren benzer uygulamayı yürürlüğe koyacağını bildirmiştir. Bu karar ile ülke 2050 yılına kadar CO₂ emisyonlarını %95 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Bu ülkeleri takiben Fransa, İngiltere, İskoçya, Hollanda ve Avrupa'nın pek çok ülkesi de aynı politikayı izleyeceklerini duyurmuşlardır [5], [6]. Bu tür politikalar, Avrupa başta olmak üzere tüm dünyada elektrikli araçların üretilerek satılmasını ve kullanılmasını gündeme getirmiştir.

Günümüzde tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de farklı markaların ürettikleri elektrikli araçlar satışa sunulmuştur. Mevcut elektrikli araçların performanslarının ölçülmesi farklı çok sayıda girdi ve çıktı parametrelerinin birlikte dikkate alınarak değerlendirilmesi sonucunda elde edilebilir. Aslında bu problem literatürde sıklıkla karşılaşılan çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için geliştirilen teknikler kullanılarak çözülebilir. Elektrikli araçlar içerisinde performans değerlendirmesine göre en iyisinin belirlenmesi hem kullanıcı hem de ülke ekonomisi ve çevre kirliliği açısından olumlu katkılar sağlayacaktır.

Bu çalışmada, piyasada mevcut olan e-SUV'ların performanslarına göre değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece, e-SUV almak isteyen tüketicilere karar verme sürecinde destek sağlanmıştır. Performans ölçümünde kullanılacak olan girdi ve çıktı parametrelerinin ağırlıklarının belirlenmesinde, objektif bir yöntem olan CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation-Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriterlerin Önemi) tekniği kullanılmıştır. Girdi ve çıktı parametreleri için ağırlıklar belirlendikten sonra, EATWIOS (Efficiency Analysis Technique with Input Output Satisficing-Girdi Çıktı Tatminine Dayalı Etkinlik Analizi) tekniği kullanılarak mevcut araçların performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Birleştirilmiş CRITIC-EATWIOS yöntemleri, uygulama kolaylığı ve objektif sonuçlar elde etmemizi sağlayan yöntemler olduğundan tercih edilmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, konunun önemine ve amacına değinilmiştir. İkinci, üçüncü bölümlerde ise konu ile ilgili yapılan bilimsel yayınlar irdelenmiş ve bu çalışmada kullanılan yöntem ve tekniklere değinilmiştir. Dördüncü bölümde mevcut e-SUV'lar için belirlenen girdi ve çıktı parametrelerine göre

araçların performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları ise beşinci bölümde özetlenmiştir.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür taraması sonucunda tamamen elektrikli olan araçların performanslarının değerlendirilmesi üzerine çok kısıtlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalardan biri elektrikli araçların menziline yönelik yapılan bir çalışmadır. Laurikko ve arkadaşları İskandinavya'daki hava koşullarına bağlı olarak Citroen C-Zero aracının gerçek menzilin belirlenmesi üzerine testler yapmışlardır. Araç içerisindeki ısıtma sisteminin kapalı olması durumunda, yollardaki kar ve buzlanmaya bağlı olarak enerji tüketiminin artmasından dolayı menzilin azaldığı sonucuna varmışlardır. Hatta araç içerisindeki ısıtma sisteminin devreye girmesi ile şehir içi kullanımında menzilin %50 daha azaldığını göstermişlerdir [7].

Baghdadi ve arkadaşları [8], Peugeot iOn ve Ford Transit Connect gibi iki farklı markanın elektrikli araçlarını incelemişler ve gerçek yol ve laboratuvar koşullarında mevcut batarya kapasiteleri ile gittikleri menziller ve batarya şarj sürelerini test etmişlerdir. Laboratuvarında, farklı sabit hız ve torklar için testler yapılarak araç içi ısıtma ve soğutma sistemleri ile bataryanın etkinliği değerlendirilmiştir. Şehir içi ve şehir dışı belirlenen rotalarda ise aynı testler yapılarak sonraki simülasyonlarda kullanılmıştır. Başka bir çalışmada ise, elektrikli araçlarda kullanılan farklı altı türdeki motor, maksimum hız, maliyet, iklimlendirme sistemi, güvenlik, ağırlık ve verimlilik gibi pek çok faktöre göre değerlendirilmiştir. Verimlilik açısından bakıldığında sabit mıknaatıslı DC motorların diğer motor türlerine göre daha verimli olduğu sonucu elde edilmiştir.

Polonya'da yürürlüğe giren Elektromobilite ve Alternatif Yakıtlar Yasası ile sera gazlarının azaltılması ve elektrikli araçların kullanımının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Bu yasa, hükümet ve yerel yönetimlerin filolarını elektrikli araçlar ile genişletmesini ekonomik şartları da dikkate alarak öngörmektedir [9]. Bu bağlamda; Ziembra [9], 2020 yılında hükümet ve yerel yönetimlere elektrikli araç filolarının oluşturulmasında destek sağlamak üzere bir araştırma yapmıştır. Çalışmada farklı kategorilerde yer alan farklı marka ve modellerdeki elektrikli araçların farklı kriterlere göre değerlendirilmesinde Monte Carlo simülasyonu ile bütünleştirilmiş PROSA-C (PROMETHEE for Sustainability Assessment-Criteria) yöntemi kullanılmıştır.

Kentsel yük taşımacılığı kentlerde atmosferik emisyonları arttıran önemli etkenlerden biridir. Bu sebeple özellikle son yıllarda elektrikli veya alternatif yakıtları kullanan taşıma araçlarının yaygınlaştırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Değerlendirmelerin Zenginleştirilmesi için Tercih Sıralaması Örgütü (Preference ranking organization method for enrichment evaluation II-PROMETHEE II) ve bulanık İdeal Çözüme Benzerlik Bakımından Sıralama Performansı Tekniği (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution-TOPSIS) yöntemleri ile elektrikli yük taşıyıcıları değerlendirilmiştir [10].

Erbaş ve arkadaşları [11] yaptıkları çalışmada, elektrikli araçların sıfır karbondioksit salınımı, fiyat avantajı ve az gürültülü çalışmaları sonucunda tercih edilebileceklerini ancak yeniden şarj etme konusunda problemleri olabileceklerinin altını çizmişlerdir. Bu noktada uygun şarj istasyonlarının kuruluş yer seçimi problemini ele almışlardır. Problemin çözümünde bulanık analitik hiyerarşi proses (AHP) ve TOPSIS yöntemleri temeline dayanan coğrafi bilgi sistemini (Geographic Information System-GIS) kullanmışlardır. Uygulama Ankara'da gerçekleştirilmiş 12 farklı alternatif yer 15 farklı kriterlere göre değerlendirilmiştir.

Park ve arkadaşları [12] yaptıkları çalışmada; sürücülerin, elektrikli araçları kullanma niyetlerini etkileyen potansiyel faktörleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Yapısal eşitlik modelini (Structural Equation Modelling-SEM) kullanarak 998 örneği incelemişler ve maliyeti olumsuz bir faktör, memnuniyet, kullanılabilirlik ve tutumu üç olumlu faktör olarak tespit etmişlerdir. Bu potansiyel faktörlerin niyet üzerindeki toplam etkilerini hesaplamışlardır.

Artan hava kirliliği sonucunda, zamanla tüm dünyada sadece dizel yakıtlı araçların değil aynı zamanda tüm içten yanmalı araçların şehir merkezlerinde kullanımı yasaklanacaktır. Bu yasaklamayla elektrikli araçların kullanımı yaygınlaşacaktır [13]. Bir çalışmada, sürdürülebilir şehir ulaşımında en uygun araçların tespit edilmesi amacıyla Characteristics Objects Method (COMET) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada 6 farklı kriter ve 9 alternatif belirlenmiştir. Güç, maksimum tork, batarya kapasitesi, şarj süresi, menzil ve fiyat kriterlerine göre farklı marka ve modellerdeki araçlar değerlendirilmiştir [13].

Barfod ve arkadaşları [14], Danimarka'da ticari elektrikli araçların satışına yönelik pazarda yaşanan zorluklar, fırsatlar ve politika önlemlerine odaklanan bir çalışma yapmışlardır. Özel bir Güçlü Yönler, Zayıf Yönler, Fırsatlar, Tehditler (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats-SWOT) analizi vakasını ve çok kriterli karar analizi (MCDA) yöntemlerini birleştirerek çevre dostu teknolojilerin pazardaki yayılmasını değerlendirmek için COPE-SMARTER adını verdikleri yeni dört adımlı uzman tabanlı bir teknik önermişlerdir. Konu hakkında yasal çalışmalara imza atan politikacılar için en büyük zorluğun finansal, işlemsel ve teknolojik olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Yüksek satın alma maliyetleri başta gelen zorluktur. Aracın menzili ve kış şartlarında işletilmesi diğer zorluklardır. Algılanan promosyon gücü en yüksek olan fırsatlar, finansal ve çevreseldir; en yüksek promosyon gücüne sahip fırsat olarak uzun vadede genel tasarruflar, bunu enerji maliyeti tasarrufları ve uzun vadeli çevresel faydalar izlemiştir. En etkili olarak algılanan politika önlemleri, elektrikli ticari araçlar için düşük kayıt ücretleri, elektrikli ticari araçların satın alınması veya kullanılması için devlet sübvansiyonları ve araçlarda emisyon dayalı vergilerdir.

2013 yılında yapılan bir çalışmada Fortune Türkiye Dergisinin açıkladığı ilk 500 firma içerisinde yer alan 10 adet lojistik firmasının performanslarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kriter ağırlıklarının belirlenmesinde CRITIC tekniği kullanılırken, firmaların performanslarının değerlendirilmesinde Basit Toplam Ağırlıklandırma (Simple Additive Weighting-SAW), TOPSIS ve Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm (VIŞeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje-VIKOR) teknikleri kullanılmıştır. Geliştirilen bu bütünleşik model ile farklı çok kriterli karar verme (ÇKKV) tekniklerinin avantaj ve dezavantajları birlikte değerlendirilerek Borda Sayım Tekniği ile firmaların nihai sıralaması yapılmıştır [15].

Aytaç Adalı ve Tuş Işık [16] tarafından yapılan çalışmada fason üretim yapacak bir işletmenin belirlenmesi problemi ele alınmıştır. Değerlendirmede zamanında teslimat, güvenilirlik, lokasyon, malzeme kalitesi, maliyet, ekipman ve üretim kapasitesi gibi kriterler dikkate alınmış ve bu kriterlerin ağırlıkları CRITIC metodu ile belirlenmiştir. Bu kriter ağırlıklarına göre Çok Nitelikli Fayda Teorisi (Multi-Attribute Utility Theory-MAUT) kullanılarak dört alternatif arasından en iyisinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Yalçın ve Ünlü [17] tarafından yapılan çalışmada, araştırmacılar belli kriterler altında halka arz öncesi ve sonrası periyotlar için firmaların halka arz performanslarını bütünleşik CRITIC-VIKOR yöntemleri kullanarak analiz etmişlerdir. Bu çalışma yalnızca halka arzların geleneksel performans ölçütleri ile değil modern performans ölçütlerini de dikkate alarak çok karmaşık problemlere etkin ve doğru sonuçlar üretilmesine katkıda bulunmuştur.

Odu [18], ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemleri gruplandırarak çalışmasında incelemiştir. Yaptığı çalışma ile bu teknikleri birbirleriyle kıyaslayarak literatüre katkıda bulunmuştur. Krishnan ve diğerleri [19] yaptıkları çalışmada CRITIC metodundan uyarladıkları yöntemi (Distance Correlation based CRITIC, D-CRITIC) akıllı telefonlar için belirlenen kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında test etmişlerdir. Hem CRITIC hem de D-CRITIC yöntemleri farklı testler uygulanarak analiz edilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Aldring ve Ajay [20] yaptıkları çalışmada bulanık ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesi amacı ile CRITIC ve Entropi yöntemlerini kullanmışlardır. Sonrasında ise farklı alternatif sıralama tekniklerini kullanarak (Evaluation based on Distance from Average Solution-EDAS, COmbinative Distance-based Assessment-CODAS, Weighted Sum Method-WSM, Weighted Product Method-WPM, TOPSIS, Weighted Aggregated Sum Product Assessment-WASPAS, VIKOR) problemi

çözmüşlerdir. Yatırım yapmak üzere dört farklı sektörde yer alan işletme, risk, çevresel faktör ve büyüme hızı kriterlerine göre farklı teknikler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Shi ve arkadaşları [21] tarafından yapılan çalışmada, bölgesel küçük ölçekli enerji üretim ve dağıtım sistemlerinde enerji kalitesi göstergeleri belirlenmiş ve bu göstergeler CRITIC yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Yük kapasitesinin en fazla ağırlığa sahip olduğu sonucuna varılmıştır. 2021 yılında yapılan bir çalışmada, sürdürülebilir enerji kaynaklarının farklı kriterlere göre, çeşitli ÇKKV teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada ağırlıkların belirlenmesi için CRITIC, Entropy, AHP gibi farklı ağırlıklandırma yöntemleri kullanılırken alternatiflerin sıralamasında ise, The Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation (PROMETHEE), Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE), TOPSIS, VIKOR, Organisation, Rangement et Synthèse de Données Relationnelles (ORESTE) gibi teknikler kullanılmıştır [22].

Yüksekyıldız [23], Türkiye'deki konteyner limanlarını farklı girdi ve çıktı parametrelerine göre değerlendirmiş ve bu limanların verimliliklerini ölçmüştür. Belirlediği girdi ve çıktıların ağırlıklarını Entropi yöntemini kullanarak hesaplarırken, limanların performans ölçümlerinde girdi ve çıktı gibi değişkenlerin bir arada ele alınmasına imkân tanıyan EATWIOS performans ölçüm yöntemini kullanmıştır. Türkiye limanlarının en verimli olanlarının Marmara ve Ege Bölgesinde yer aldığı sonucuna ulaşmıştır. Görçün [24] aynı teknikleri kullanarak sadece Karadeniz Bölgesi'nde yer alan konteyner limanlarının verimlilik analizini yapmıştır. Yapılan çalışmaya göre, girdiler içerisinde en önemli ağırlığa sahip kriter limanların rıhtım uzunluğudur. Çıktılar içerisinde ise, yıllık gelir en önemli faktör olarak belirlenmiştir. En verimli Karadeniz konteyner limanı Constanza Limanı olarak belirlenmiştir.

Ilıkkın Özgür ve arkadaşları [25] yaptıkları çalışmada, 2002-2019 yılları arasında Türkiye'de bulunan 25 adet kamu şeker firmalarının verimliliklerinin ölçülmesi amacıyla CRITIC ve EATWOS bütünleşmiş metodlarını kullanmışlardır. Üretilen şeker miktarı ve melas çıktı olarak belirlenirken, pancar işleme kapasitesi, daimî ve geçici işçi sayısı, yakıt tüketimi girdiler olarak tespit edilmiş ve bu parametrelerin ağırlıkları CRITIC yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Yıllara göre ağırlıklar farklılık gösterse de en önemli girdi yakıt tüketimi, çıktı ise şeker miktarı olarak belirlenmiştir. EATWOS yöntemi ile de belirlenen yıllar arasında şeker firmalarının verimlilikleri değerlendirilmiştir. Hammaddeye yakınlık, üretim kapasitesi ve şeker kalitesi için iklimin daha elverişli olması nedeniyle, İç Anadolu Bölgesi'ndeki şeker fabrikalarını daha verimli olduğu belirlenmiştir.

2019 yılında yapılan bir çalışmada, EATWIOS ve Operational Competitiveness RAting (OCRA) yöntemleri kullanılarak tedarikçi değerlendirme süreci ele alınmış ve tedarikçiler verimliliklerine göre sıralanmışlardır. Farklı altı tedarikçi firma, fiyat gibi girdi ve zamanında teslimat gibi çıktı kriterlerine göre değerlendirilmiş ve sonuç olarak iki farklı yöntem içinde aynı sıralama elde edilmiştir [26].

Türkiye ve Avrupa Birliğine (AB) üye olan ülkelerde gerçekleştirilen AR-GE faaliyetlerinin verimliliklerinin ölçülmesi için Entropi ve EATWOS yöntemleri kullanılmıştır. 2014 ile 2016 yılları arasında Türkiye ve 26 AB üyesi ülke için yapılan çalışmada, AR-GE yoğunluğu ve araştırmacı sayısı girdi olarak alınırken, yayın sayısı, ileri teknoloji ihracatı ve toplam patent başvuru sayısı çıktı değişkenleri olarak tespit edilmiştir. Belirlenen yıllar için yapılan değerlendirme sonucunda, AR-GE faaliyetleri konusunda en verimli ülke olarak Almanya tespit edilmiştir. Birleşik Krallık, Fransa, İtalya ve Hollanda ise Almanya'yı sırasıyla takip eden ülkelerdir [27].

Özbek [28] tarafından yapılan çalışmada, Kırıkkale'de bulunan bir sivil toplum kuruluşunun 2005-2014 yılları arasında verimliliğinin ölçümü için Veri Zarflama Analizi (Data Envelopment Analysis-DEA) ile EATWOS yöntemleri kullanılmıştır. Girdi ve çıktı faktörlerinin ağırlıkları ise, puanlama yöntemi ile elde edilmiştir. 2007 ve 2011 yılları derneğin verimliliğinin en düşük olduğu yıllar olarak tespit edilmiştir.

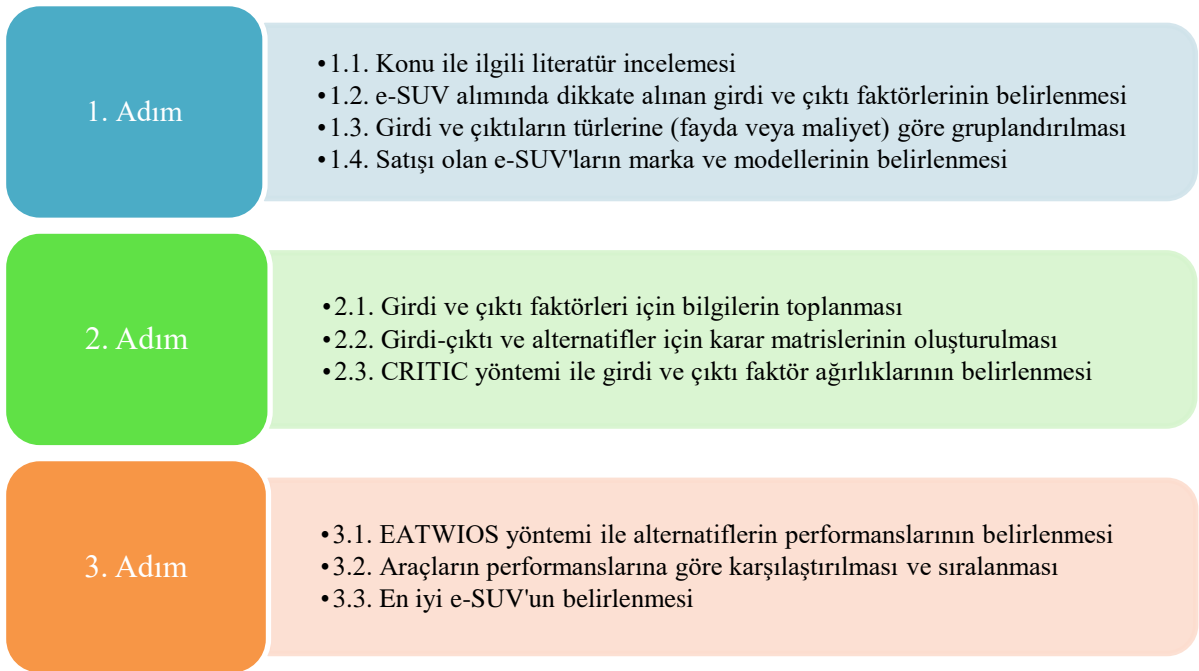
Sağlık Bakanlığına bağlı eğitim ve araştırma hastanelerinin performanslarının ölçümlerinde farklı ÇKKV teknikleri kullanarak kıyaslama yapılmıştır. 2013-2018 yılları arasında farklı girdi ve çıktı

değişkenleri için VIKOR, TOPSIS, Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis (MOORA), EATWOS, COPRAS gibi farklı teknikler kullanılarak analiz edilmiş ve farklı yıllar için tekniklere bağlı olarak farklı sıralamalar elde edilmiştir [29].

Erol ve Erdebili [30] yaptıkları çalışmada demir çelik endüstrisinde faaliyet gösteren bir işletmede iş sağlığı ve güvenliği performansını ölçmek için belirledikleri göstergeleri Entropi yöntemini kullanarak ağırlıklandırmışlardır. Daha sonra TOPSIS yöntemi ile firmanın yıllar içerisinde iş sağlığı ve güvenliği performansını değerlendirmişlerdir.

III. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, bütünlük CRITIC ve EATWIOS yöntemleri kullanılarak Türkiye’de satışa sunulan e-SUV araçlarının performanslarının ölçülmesi hedeflenmiştir. Bu sürece ilişkin akış şeması Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Bütünlük CRITIC-EATWIOS akış şeması

A. GİRDİ VE ÇIKTI DEĞİŞKENLERİ

Konu ile ilgili literatür taranarak, elektrikli araçlara ilişkin forum sayfaları ile e-SUV satışı olan markaların resmi internet sayfaları, teknik katalogları ve konu hakkında bilgi içeren web siteleri incelenerek elektrikli araç alırken hangi kriterlerin dikkate alınması gerektiği tespit edilmiştir.

Bu kriterler de girdiler ve çıktılar şeklinde iki grup altında incelenmiştir. Araçlarda kullanılan bataryanın garantisi, net batarya kapasitesi, bataryanın şarj süresi, elektrik motorunun gücü, elektrik motorunun maksimum torku, aracın yüksüz ağırlığı ve aracın fiyatı bu modelde girdi değişkenleri olarak ele alınmıştır. Aracın menzili, maksimum hızı, hızlanma performansı, enerji tüketimi ise çıktı parametreleri olarak belirlenmiştir. Araçlara ait CO₂ emisyon değeri tüm elektrikli araçlarda sıfır olduğundan bu parametre çıktı olarak dikkate alınmamıştır.

A.1. Batarya Garantisi

Elektrikli araç bataryaları, aracın sürüş esnasındaki deşarj ve aracın prize takılı olma esnasındaki şarj döngüleri ile kendini besler. Bu sürecin sürekli tekrarlanması ile zaman içerisinde bataryanın muhafaza edeceği enerji miktarının azalacağı aşikârdır. Bu sebeple, üretici firmalar araçlarında kullanılan lityum-iyon bataryaları için 5-8 yıl aralığında veya aracın yaptığı belirli kilometreye kadar bataryalarına garanti vermektedirler. Fakat şu an için yapılan bir bataryanın 10 ile 20 yıl aralığında kullanımından sonra yenisi ile değiştirileceği yönündedir [31].

A.2. Batarya Kapasitesi

Genel anlamda batarya kapasitesi, elektrikli araç içerisinde bulunan bataryanın içerisinde bulunan enerjidir. Bu değer, aracın torku ve motor gücü kadar önemlidir çünkü kullanılan bataryanın büyüklüğü, kapasitesi ve ne kadar verimli kullanıldığı aracın menzilini etkilemektedir. Batarya kapasitesi, brüt ve net kapasite olarak ikiye ayrılmaktadır. Brüt kapasite, teorik olarak bataryanın tutabileceği enerji miktarını ifade etmektedir. Net veya kullanılabilir kapasite ise, aracın kendisini hareket ettirmek için gerekli olan enerji miktarını ifade eder. Enerji kapasitesi, belirli bir süre boyunca belirli bir güç çıkışı sağlama potansiyeli olarak ifade edilir ve kW-h birimi ile ölçülür. Otoyol şartlarındaki hızlarda bile pek çok elektrikli araç belirli sabit hızda kendini tutabilmek için sadece 20-30 kW enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, araçta yer alan 60 kW-h'lik bir batarya kapasitesi aracın 3 saate kadar kullanımına müsaade etmektedir. Burada, hava sıcaklığı ve hız bu kapasiteyi ve süreyi etkileyecek faktörlerdir [32], [33].

A.3. Batarya Şarj Süresi

Batarya şarj etme Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 olmak üzere üç grup altında incelenebilir. Bu şarj türlerine ilave olarak, kablosuz şarj etme ve batarya değiştirme (Quick Drop) teknikleri de gündeme gelmiştir [34], [35]. Seviye 1 şarj etme yöntemi yavaş şarj etme olarak da bilinir ve araçlar konut veya iş yerlerinde park halinde iken, şehir şebeke elektriği kullanılarak bataryaları şarj edilir. Çok uzun sürede şarj yapıldığından şebekeye de çok fazla yük gelmemektedir. 5 – 12 saat aralığında şarj imkânı sunmaktadır [36]. Seviye 2 şarj etme yöntemi ise park alanları, marketler, caddeler, alışveriş merkezleri, üniversiteler, belediye tesisleri, müstakil evler ve apartmanlar gibi yerlere kurulan şarj istasyonlarıdır. Orta hızda şarj etme yöntemidir ve yaklaşık 1 – 4 saat aralığında batarya şarj edilir [37]. Seviye 3 şarj etme yöntemi ise, hızlı şarj etme yöntemi olarak da adlandırılır. Seviye 3 şarj etme, benzin istasyonları gibi çok kısa sürede dolum yapılabilen istasyonlarda gerçekleştirilir. Şarj süresi 15 – 30 dakika arasında değişmektedir [38].

A.4. Elektrik Motor Gücü

Elektrikli araçlarda elektrik motorunun görevi, batarya tarafından sağlanan enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek tekerleklere çekiş gücü vermektir. Otomotiv endüstrisinde motor gücü dendiği zaman, belirli bir zaman diliminde motor tarafından üretilen mekanik enerji miktarı akla gelir [39]. Genellikle kW veya beygir gücü (BG) olarak ifade edilir. İster içten yanmalı motor olsun isterse elektrik motoru olsun mekanik enerji gücü, torku ve dakikadaki devir sayısını etkiler. Aslında elektrikli aracın menzilini sadece motor gücü direkt olarak etkilemez aynı zamanda sürüş modu da önemli bir faktördür ve bu sürücünden sürücüye göre değişebilir.

A.5. Elektrik Motor Torku

Bir elektrik motoru için itici güç torktur. Torkun birimi Newton-metre olarak ifade edilir. Tork, araçlarda hızlanma esnasında, daha yüksek hızlara kısa sürede çıkılmasını sağlayan ve aracın çekişinin güçlü olmasını sağlayan parametredir [40].

A.6. Yüksüz Ağırlık

Elektrikli araçlarda ağırlık da önemli bir kriterdir. Aynı batarya kapasitesi ile daha hafif malzemeler kullanılarak daha az ağırlığa sahip araçların üretimi ile daha yüksek verimlilik elde edilir. Daha düşük yoğunluklu malzemelerin araç tasarımında kullanılması ile aracın menzili arttırılabilir [41].

A.7. Fiyat

Tüm performans ile ilgili kriterlerin yanı sıra aracın fiyatı da nihai kullanıcılar tarafından dikkate alınan kriterlerden biridir. Geleneksel içten yanmalı motorlu araçlarla kıyaslandığında elektrikli araçların ilk yatırım maliyetleri daha fazladır. Pek çok ülkede elektrikli araçların kullanılması için teşvikler verilmesine rağmen, yine de aradaki maliyet farkı kapanmamıştır. Araçlarda kullanılan batarya maliyetinin düşürülmesi yönünde çalışmalar yapılmaktadır [42].

A.8. Menzil

Elektrikli araçlarda menzili artırma konusunda sürekli iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır [43]. Tam dolu bir batarya ile aracın gidebileceği maksimum mesafe kullanıcılar tarafından dikkate alınan kriterlerden bir diğeridir.

A.9. Maksimum Hız

Elektrikli araçlarda kullanıcılar tarafından araç alımı esnasında sıklıkla sorulan sorulardan biri de aracın maksimum hızıdır. Elektrikli araçlarda yüksek sabit hızlarda motor tüm özellikleri ile maksimum gücünde kullanılırken, gücün büyük bir bölümü aracın hızlanması için harcanır [44].

A.10. Hızlanma

İçten yanmalı motorlu araçlarda olduğu gibi elektrikli araçlarda da, aracın hızlanma oranı önemlidir. Genellikle de aracın durma anından 100 km hıza erişmesi için geçen sürenin saniye cinsinden ifade edilmesi ile aracın hızlanma değeri tespit edilir [45].

A.11. Enerji Tüketimi

Araç alımında kullanıcılar tarafından dikkat edilen bir diğer kritik nokta da, 100 km'lik bir menzil için aracın ne kadar enerji harcayacağıdır. Araçların enerji tüketimi için WLTP binek ve hafif ticari araçların enerji tüketimi ve emisyon sınımları değerlendirmek üzere kullanılan bir test prosedürüdür. Enerji tüketimi, iç ve dış faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Aracın tasarımı, kullanılan ekipmanlar, ısıtma-soğutma sistemi aracın iç özellikleri ile bağlantılı iken, hava şartları, yol durumu ise, dış koşullarla ilgili özellikler olup enerji tüketimini etkilemektedir [46].

B. CRITIC Yöntemi

CRITIC kriterlerin ağırlıklarını belirlemek üzere kullanılan kişisel yargılara yer vermeyen, girdi ve çıktı faktörlerinin karşılıklı ilişki durumlarını, yönünü ve yoğunluğunu dikkate alan objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden biridir [47]. Faktörler arasındaki ilişkileri ortaya çıkarmak için korelasyon analizi ve korelasyon katsayısına ihtiyaç duyulur [10]. Bununla birlikte alternatiflerin faktörlere bağlı olarak aldıkları farklı değerler içinde standart sapmalar hesaplanır. Bu yöntemde karar vericilerin öznel değerlendirmeleri dikkate alınmamaktadır. Ayrıca diğer ÇKKV yöntemlerinde karşılaşılan fikir ayrılıklarının bu yöntemde ortadan kaldırılmış olması önemlidir. Objektif bir karar verme süreci için bu yöntem, kolaylıkla uygulanabilen, etkin bir yöntemdir. Bir karar probleminde m adet alternatifin ve n adet kriterin olduğu varsayımından yola çıkılarak CRITIC yönteminin adımları aşağıda verildiği gibidir [25]:

Adım 1. Alternatiflere ait girdi ve çıktı verileri kullanılarak karar matrisi $[X]$ elde edilir. Burada X_{ij} , her bir i alternatifinin j kriterine göre değerini ifade etmektedir.

$$[X] = [X_{ij}] = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, m$ ve $j = 1, 2, \dots, n$

Adım 2. Fayda özellikli kriterler için Eş. 2 ve maliyet özellikli kriterler için Eş. 3 kullanılarak normalize karar matrisi $[N]$ elde edilir ve $[N]$ normalize karar matrisinin her bir elemanı n_{ij} olarak gösterilir.

$$[N] = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (2)$$

$$[N] = \frac{\max(X_j) - X_{ij}}{\max(X_j) - \min(X_j)} \quad (3)$$

Adım 3. Bu adımda kriterler arasındaki ilişkinin derecesini ölçmek üzere korelasyon değerleri hesaplanır.

Adım 4. Her bir kriterde bulunan toplam bilgi miktarını ifade eden C_j , Eş. 4 kullanılarak hesaplanır.

$$C_j = \sigma_j \sum_{j'=1}^n (1 - r_{jj'}) \quad j' = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Burada, σ_j j . kritere ait standart sapma değerini ve $r_{jj'}$ kriter çiftleri arasındaki korelasyon katsayısını ifade etmektedir.

Adım 5. Her bir kriter için ağırlıklar Eş. 5 kullanılarak hesaplanır. w_j , j . kritere ait nesnel ağırlığı göstermektedir.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} \quad (5)$$

Tüm kriterler, Adım 5'te hesaplanan nesnel ağırlık değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek ağırlığa sahip kriterin en önemli kriter olduğu sonucuna varılır.

C. EATWIOS Yöntemi

EATWIOS ilk kez 1957 yılında Farrell tarafından tek girdi ve çıktıya dayalı geliştirilen verimlilik analizi yöntemi olarak ortaya çıkmış, 2006 yılında ise Peters ve Zelewski tarafından geliştirilerek literatüre kazandırılmıştır. Yöntem girdi ve çıktılar için maksimum getiriye sağlayarak tatmin edici çözümler geliştirmek üzere geliştirilen bir verimlilik analiz yöntemidir. Yönteme ait algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir [48]:

Adım 1. İlk olarak girdi ve çıktı matrislerinin oluşturulması gerekir. Girdi matrisi Eş. 6'daki, çıktı matrisi ise Eş. 7'deki gibi oluşturulur.

$$[X_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$i = 1,2,3, \dots, m$ ve $j = 1,2,3, \dots, n$

Burada x_{ij} , i. alternatifin j. girdi unsuru açısından sahip olduğu değerdir.

$$[Y_{ik}] = \begin{bmatrix} y_{11} & x_{12} & \dots & x_{1l} \\ y_{21} & x_{22} & \dots & x_{2l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{ml} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$i = 1,2,3, \dots, m$ ve $k = 1,2,3, \dots, l$

Burada y_{ik} , i. alternatifin k. çıktı unsuru açısından sahip olduğu değerdir.

Adım 2. Girdi ve çıktı matrisleri için normalizasyon işlemi yapılır. Girdi matrisi için Eş. 8 ve çıktı matrisi Eş. 9 kullanılarak normalize edilir.

$$s_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, \forall i, j \quad (8)$$

$$r_{ik} = \frac{y_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ik}^2}}, \forall i, k \quad (9)$$

Girdi faktörleri için normalize matris $[S]$ Eş. 10 ve çıktılar için normalize matris $[R]$ Eş. 11'deki gibi elde edilir.

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$[R] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1l} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2l} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{ml} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Adım 3. Normalize edilmiş girdi ve çıktı matrislerinden yararlanılarak girdi ve çıktı mesafe ölçüleri hesaplanır. Girdi mesafe ölçüsünün hesaplanması için Eş. 12 ve çıktı mesafe ölçüsünün hesaplanması için Eş. 13 kullanılır.

$$id_{ij} = 1 - (\min_i\{s_{ij}\} - s_{ij}); \forall i, j \quad (12)$$

$$od_{ik} = 1 - (\max_i\{r_{ik}\} - r_{ik}); \forall i, k \quad (13)$$

Burada id_{ij} , i. alternatifin j. girdi unsuru açısından mesafe ölçüsü; od_{ik} , i. alternatifin k. çıktı unsuru açısından mesafe ölçüsüdür.

Adım 4. Mesafe boyutlarının ağırlıklandırılması için girdi ve çıktı ağırlıkları ile girdi ve çıktılar için belirlenen mesafe ölçüleri ayrı ayrı çarpılır. Girdi mesafe boyutunun ağırlıklandırılması için Eş. 14 ve çıktı boyutunun ağırlıklandırılması için Eş. 15 kullanılır.

$$id_{ij} \cdot w_j \quad (14)$$

$$od_{ik} \cdot w_k \quad (15)$$

w_j ve w_k sırasıyla j . girdi unsurunun ve k . çıktı unsurunun ağırlık değeridir.

Adım 5. Son adımda her bir alternatife ait performans değerleri aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır. Çıktı unsurları için hesaplanan mesafe ölçülerinin toplamının, girdi unsurları için hesaplanan mesafe ölçülerinin toplamına oranlanması ile her bir alternatife ait P_i yani performans değerleri hesaplanır.

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^l w_k od_{ik}}{\sum_{j=1}^n w_j id_{ij}} \quad (16)$$

Her bir alternatif için performans değerleri hesaplanır. P_i değeri yüksek olan alternatifin verimliliği ve performansı yüksektir. Bulunan bu performans değerlerine göre alternatifler sıralanır.

IV. BULGULAR

Bu çalışmada, bütünleşik CRITIC ve EATWIOS yöntemleri kullanılarak Türkiye’de satışı olan elektrikli SUV’ların verimliliklerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Performans değerlemesinde kullanılacak kriterlerin birbiriyle ilişkili kriterler olmasına dikkat edilerek seçilmiştir. Seçilen kriterler ise girdi ve çıktı unsurları, kodları ve özellikleri Tablo 1’de tanımlanmıştır.

Tablo 1. Girdi ve çıktı unsurları

Girdiler (G)			Çıktılar (Ç)		
Tanım	Kod	Özellik	Tanım	Kod	Özellik
Batarya Garantisi (km)	G1	Fayda	Menzil (km) (WLTP’e göre)	Ç1	Fayda
Net Batarya Kapasitesi (kW-saat)	G2	Fayda	Maksimum Hız (km/saat)	Ç2	Fayda
Seviye 1 Şarj Süresi (dakika)	G3	Maliyet	Hızlanma (saniye) (0-100 km)	Ç3	Maliyet
Elektrik Motor Gücü (BG)	G4	Fayda	Enerji Tüketimi (kW-saat/100 km) (WLTP’e göre)	Ç4	Maliyet
Maksimum Tork (Nm)	G5	Fayda			
Yüksüz Ağırlık (kg)	G6	Maliyet			
Fiyat (TL)	G7	Maliyet			

Türkiye’de satışı yapılan beş farklı markaya ait e-SUV’lar içerisinde iki tanesi Alman otomobil markası, diğer iki tanesi İngiliz ve bir tanesi de İsveç otomobil markasıdır. Bu çalışmada alternatifler M1, M2, M3, M4 ve M5 şeklinde kodlanmıştır. Bu SUV’ların performansları yukarıda tanımlanan girdi ve çıktı unsurları için değerlendirilmiştir. Bu araçlara ait teknik özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Bu araçlar için standart donanıma sahip olan paketler dikkate alınarak fiyat ve benzeri özellikler belirlenmiştir. Alternatiflerin her biri için farklı kriterlere göre performans değerleri tabloda verilmiştir. Tablo 2’deki değerler kullanılarak CRITIC yöntemi için $[X]$ karar matrisi elde edilir.

Tablo 2. e-SUV modellerine ait teknik özellikler

$[x_{ij}]$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	100.000	74,0	450	286	400	2.260	1.088.000	455	180	6,8	18,8
2	160.000	80,0	354	408	760	2.495	1.228.000	440	180	5,1	20,8
3	150.000	44,5	450	143	353	1.491	394.000	263	140	8,2	18,6
4	160.000	90,0	510	400	696	2.208	1.380.000	470	200	4,8	23,6
5	160.000	78,0	330	408	660	2.188	721.000	418	180	4,9	22,0

Karar matrisinde 5 farklı alternatifin, 11 farklı kritere göre değerleri yer almaktadır. Fayda özellikli kriterler için Eş. 2 ve maliyet özellikli kriterler için ise Eş. 3 kullanılarak karar matrisi normalize edilerek $[N]$ normalize matrisi elde edilir ve elde edilen veriler kullanılarak her bir j faktörüne ait standart sapma değerleri hesaplanır (Tablo 3).

Tablo 3. Normalize karar matrisi ve standart sapmalar

n_{ij}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,000	0,648	0,333	0,540	0,115	0,234	0,296	0,928	0,667	0,412	0,960
2	1,000	0,780	0,867	1,000	1,000	0,000	0,154	0,855	0,667	0,912	0,560
3	0,833	0,000	0,333	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000
4	1,000	1,000	0,000	0,970	0,843	0,286	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000
5	1,000	0,736	1,000	1,000	0,754	0,306	0,668	0,749	0,667	0,971	0,320
σ_j	0,435	0,377	0,415	0,438	0,453	0,375	0,406	0,406	0,365	0,440	0,426

CRITIC yönteminin bir sonraki adımında faktörler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Faktörlere ilişkin korelasyon katsayıları

$r_{jj'}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,000	0,138	0,280	0,366	0,657	0,039	0,045	-0,147	0,053	0,467	-0,627
2	0,138	1,000	0,040	0,931	0,785	-0,871	-0,876	0,956	0,989	0,918	-0,784
3	0,280	0,040	1,000	0,369	0,379	-0,333	0,238	0,015	-0,088	0,314	0,028
4	0,366	0,931	0,369	1,000	0,919	-0,870	-0,708	0,837	0,870	0,989	-0,798
5	0,657	0,785	0,379	0,919	1,000	-0,723	-0,620	0,618	0,698	0,938	-0,815
6	0,039	-0,871	-0,333	-0,870	-0,723	1,000	0,820	-0,916	-0,820	-0,794	0,447
7	0,045	-0,876	0,238	-0,708	-0,620	0,820	1,000	-0,894	-0,885	-0,678	0,551
8	-0,147	0,956	0,015	0,837	0,618	-0,916	-0,894	1,000	0,960	0,788	-0,575
9	0,053	0,989	-0,088	0,870	0,698	-0,820	-0,885	0,960	1,000	0,861	-0,768
10	0,467	0,918	0,314	0,989	0,938	-0,794	-0,678	0,788	0,861	1,000	-0,875
11	-0,627	-0,784	0,028	-0,798	-0,815	0,447	0,551	-0,575	-0,768	-0,875	1,000

CRITIC yönteminin 4. ve 5. adımları uygulanarak her bir faktöre ait ağırlık değerleri hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Faktörlere ilişkin ağırlık değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
w_j	0,089	0,068	0,085	0,073	0,076	0,123	0,124	0,079	0,069	0,073	0,141
Sıralama	4	11	5	8	7	3	2	6	10	9	1

Tablo 5 incelendiği zaman girdi ve çıktı faktörleri içerisinde en büyük ağırlığa sahip faktör enerji tüketimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu faktörü sırasıyla aracın fiyatı ve aracın ağırlığı takip etmektedir. Fiyat karar verme sürecinde alıcılar tarafından dikkat edilmesi gereken kilit faktörlerden biridir. Ayrıca aracın ağırlığı da diğer faktörleri etkileyebilecek üçüncü önemli faktördür.

Belirlenen bu kriter ağırlıklarından sonra, piyasada halihazırda satışa sunulmuş olan e-SUV'ların performans değerlendirmesi için EATWIOS yönteminin adımlarından faydalanılmaktadır. Yöntemin ilk adımında girdi ve çıktı unsurlarına ait karar matrisleri Eş. 6 ve Eş. 7'de verildiği gibi elde edilir. Elde edilen bu karar matrisleri girdi unsurları için Eş. 8 ve çıktı unsurları için Eş. 9 kullanılarak normalize edilmiş değerleri hesaplanır. Elde edilen girdi unsurları için normalize matrisi $[S]$ ve çıktı unsurları için normalize matrisi $[R]$ Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. [S] ve [R] normalize matrisleri

[s _{ij}]	1	2	3	4	5	6	7	[r _{ik}]	1	2	3	4
1	0,302	0,442	0,475	0,371	0,300	0,469	0,474	1	0,489	0,455	0,498	0,403
2	0,484	0,478	0,373	0,529	0,569	0,518	0,535	2	0,473	0,455	0,373	0,446
3	0,454	0,266	0,475	0,185	0,264	0,309	0,172	3	0,283	0,354	0,600	0,399
4	0,484	0,537	0,538	0,518	0,521	0,458	0,602	4	0,505	0,505	0,351	0,506
5	0,484	0,466	0,348	0,529	0,494	0,454	0,314	5	0,450	0,455	0,359	0,472

Eş. 12 ve 13 kullanılarak, girdi ve çıktı faktörlerine ait mesafe ölçüleri hesaplanmış ve Tablo 7 ve 8’de özetlenmiştir.

Tablo 7. Girdi faktörleri için min_is_{ij} ve id_{ij} değerleri

id _{ij}	1	2	3	4	5	6	7
1	1,000	1,176	1,127	1,185	1,035	1,160	1,302
2	1,181	1,212	1,025	1,344	1,305	1,208	1,363
3	1,151	1,000	1,127	1,000	1,000	1,000	1,000
4	1,181	1,272	1,190	1,333	1,257	1,149	1,429
5	1,181	1,200	1,000	1,344	1,230	1,145	1,142
min _i s _{ij}	0,302	0,266	0,348	0,185	0,264	0,309	0,172

Tablo 8. Çıktı faktörleri için max_ir_{ik} ve od_{ik} değerleri

od _{ik}	1	2	3	4
1	0,984	0,949	0,898	0,897
2	0,968	0,949	0,773	0,940
3	0,777	0,848	1,000	0,893
4	1,000	1,000	0,751	1,000
5	0,944	0,949	0,758	0,966
max _i r _{ik}	0,505	0,505	0,600	0,506

Girdi ve çıktı faktörleri için mesafe ölçülerinin ağırlıklandırılması için sırasıyla Eş. 14 ve Eş. 15’ten faydalanılarak hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 9 ve Tablo 10’da verilmiştir.

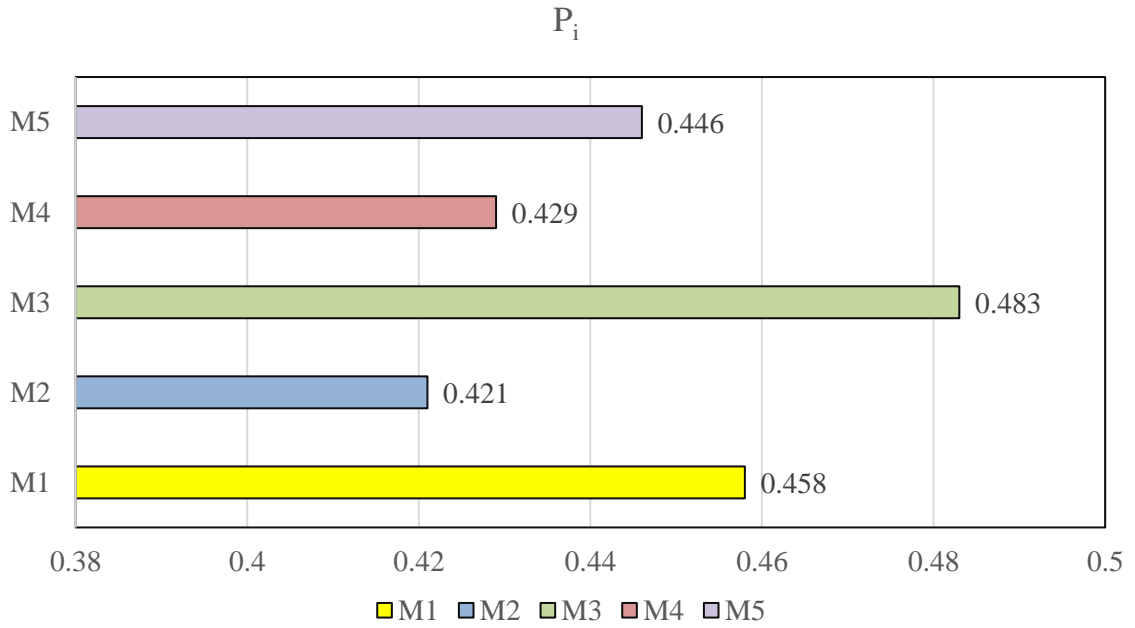
Tablo 9. Girdi faktörleri için (w_j. id_{ij}) değerleri

w _j . id _{ij}	1	2	3	4	5	6	7	$\sum_{j=1}^n w_j id_{ij}$
1	0,089	0,081	0,096	0,086	0,079	0,142	0,161	0,734
2	0,105	0,083	0,087	0,098	0,099	0,149	0,168	0,789
3	0,102	0,068	0,096	0,073	0,076	0,123	0,124	0,662
4	0,105	0,087	0,101	0,097	0,095	0,141	0,177	0,803
5	0,105	0,082	0,085	0,098	0,093	0,141	0,141	0,745

Tablo 10. Çıktı faktörleri için ($w_k \cdot od_{ik}$) değerleri

$w_k \cdot od_{ik}$	1	2	3	4	$\sum_{k=1}^l w_k od_{ik}$
1	0,078	0,066	0,065	0,127	0,336
2	0,077	0,066	0,056	0,133	0,332
3	0,062	0,059	0,073	0,126	0,320
4	0,079	0,069	0,055	0,141	0,344
5	0,075	0,066	0,055	0,137	0,333

Yöntemin son adımında Eş. 16 kullanılarak farklı e-SUV'lara ait performans değerleri (P_i) hesaplanmış ve Şekil 2'de sonuçlar özetlenmiştir.



Şekil 2. Farklı markalar için e-SUV'ların performanslarının karşılaştırılması

Satışı yapılmakta olan farklı markalara ait e-SUV'ların belirlenen girdi ve çıktı unsurlarına göre performans açısından değerlendirilmesi sonucunda, İngilizler tarafından üretilen aracın en verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu araç enerji tüketimi, fiyat ve ağırlık gibi unsurlar göz önüne alındığında rakipleri içerisinde en iyi performansa sahip olan e-SUV'dur. İkinci sırada yer alan araç ise Almanlar tarafından üretilen ve performans açısından (menzil, hızlanma, net batarya kapasitesi) en iyi olan e-SUV'lardan biridir. Ancak fiyat açısından düşünüldüğünde oldukça pahalıdır. İlk araç ile kıyaslandığında daha ağır ve enerji tüketimi de daha fazladır. Performansı en düşük olan e-SUV yine Almanlar tarafından üretilen başka bir markanın elektrikli aracıdır. Markanın Türkiye'deki pazar payı binek ve ticari araçlar açısından oldukça yüksek olmasına rağmen, satışa çıkarmış olduğu e-SUV aracı oldukça pahalı, ağır ve enerji tüketimi de yüksektir.

Girdi ve çıktı unsurları için hesaplanan ağırlık değerleri göreceli olarak birbirlerine çok yakın değerler olarak bulunmuştur. Bu unsurlar için yapılan farklı ağırlık değerleri senaryoları için sonuçlarda farklılıklar gözlenmemiştir. İngilizler tarafından üretilen e-SUV performansı en yüksek olan araç olarak karşımıza çıkmıştır.

V. SONUÇ

Son yıllarda artan nüfus yoğunluğu, sanayileşme, doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı sürdürülebilir bir çevrenin varlığını imkânsız hale getirmektedir. Yerel ve küresel yönetimler ile tüm bireylerin katkıları ile el ele verilerek birtakım ciddi önlemler alınması kaçınılmaz hale gelmiştir. Özellikle son dönemde yaşanan COVID-19 salgını sebebiyle alınan tedbirler kapsamında tam kapanmanın sonucunda doğa kendini tazeleme fırsatı yakalamıştır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de çevre kirliliği konusunda sıkıntılar yaşamaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda 51 ilde hava kirliliği konusunda çalışmalar yapılmış ve bu illerin %98’inde hava kirliliği sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır. Hava kirliliğine neden olan en önemli kirletici kaynaklardan biri de ulaşım amacıyla kullanılan araçlardır. Havaya salınan egzoz gazlarının azaltılması amacıyla ülkeler yeni teknolojilerden yararlanmak üzere harekete geçmişlerdir.

Özellikle Avrupa’da pek çok ülke yeni politikalar benimsemişler ve hava kirliliğini önlemek adına keskin kararlar alarak tüm dünyaya duyurmuşlardır. Bu kararlardan en çarpıcı olanı ise, benzin veya dizel yakıtlı araçların satışının durdurularak tamamen elektrikli araçların pazarda yer almasıdır. Bu radikal değişim ile araştırmacılar ve otomotiv üreticileri araştırma-geliştirme faaliyetlerini bu alana kaydırmışlardır. Elektrikli araçlar, sıfır egzoz gazı emisyonları sebebiyle hava kirliliğinin önlenmesi konusunda önemli bir pazar payı yakalayacaklardır.

Pazarda mevcut pek çok markanın farklı modellerde elektrikli araçları vardır. Bu araçlar içerisinde bazıları, %100 elektrikli iken bazıları ise hem elektrikli hem de içten yanmalı motora sahip araçlardır. Bu çalışmada, tamamen elektrikli olan araçlar dikkate alınarak araçların verimliliği test edilmiştir. Elektrikli binek araçlar veya SUV araçlar içerisinden sadece SUV araçlar üzerine odaklanılmıştır. e-SUV’ların performanslarının ölçülmesi için yapılan araştırmalar sonucunda birtakım faktörler belirlenmiştir. Belirlenen faktörler aracın performansını doğrudan etkileyen ve birbiri ile yakın ilişki içerisinde olan faktörlerdir. Faktörlerin ağırlıklarının belirlenmesi için objektif yöntemlerden CRITIC yöntemi kullanılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda belirlenen faktörler içerisinde en büyük ağırlığa sahip olan kriter 100 km’lik bir menzil için aracın ne kadar enerji tükettiğidir. Diğer kritik kriter e-SUV’ların satış fiyatlarıdır. Düşük maliyet ile en verimli aracın alınması önemli bir ölçüttür. Diğer kritik bir kriter ise, aracın ağırlığıdır. Özellikle elektrikli araçlarda yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarından biri de araç iç ve dışında daha hafif malzemeler kullanılarak aracın ağırlığının minimum seviyeye çekilmesidir. Araç ağırlığı aracın performansını önemli ölçüde etkileyecek kriterlerden biridir. En az ağırlığa sahip olan faktörler ise net batarya kapasitesi, hızlanma ve maksimum hızdır. Özellikle şehir içi kullanım için e-SUV tercihi yapılacak ise aslında maksimum hız ve 0-100 km/saat hızı kaç saniyede ulaştığının çok da önemi olmayabilir.

CRITIC yöntemi ile bulunan faktör ağırlıkları EATWIOS yöntemi için girdi değerleri olarak kullanılmıştır. Türkiye’de satışı bulunan beş farklı markanın e-SUV’larının verimliliklerini belirlemek için EATWIOS yöntemi sonucunda çarpıcı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Tüm araçlar için aslında çok da yüksek verimlilik değerleri elde edilmemiştir. Önemli kriterlerden biri olan fiyat açısından araçlar dikkate alındığında, sadece İngiliz otomotiv üreticisi firma tarafından üretilen e-SUV’un fiyatı diğerlerine göre neredeyse üçte bir oranında avantajlıdır. Ancak diğer elektrikli araçların maliyetleri oldukça yüksektir. Bu kadar yüksek maliyetli bir araç ile de çok yüksek çekiş gücü, menzil ve benzeri yüksek performans değerleri elde edilememektedir. Bu noktada elektrikli araçların fiyatlarında yapılacak düzenlemeler ile daha çok talep oluşturulabilir ve fiyat performans açısından değerlendirildiğinde verimliliği artırılabilir. Ayrıca, hükümetler tarafından elektrikli araçların kullanımına yönelik teşviklerde olumlu katkılar sağlayacaktır.

Değerlendirme sonucunda, tüm e-SUV’ların verimlilikleri birbirine yakın çıkmıştır. En iyi verimliliğe sahip aracı İngilizler üretmişken onu Almanların üretmiş olduğu e-SUV takip etmektedir. Bu araç, en düşük enerji tüketimi, fiyat ve hafifliği ile ön plana çıkmaktadır. Elektrik araçlarda konforlu ve ekonomik şartlar altında aracın kullanımı hem enerji tüketimini hem menzili hem de batarya şarj süresini

etkileyecektir. Agresif ve spor modunda araç kullanımını tercih eden sürücüler için bu değerler, olumsuz olarak etkilenecektir. Aslında bireylerin sürüş modu ile de elektrikli araçların verimlilikleri artırılabilir. e-SUV’larda kullanılan bataryalar konusunda hala detaylı araştırmalar yapılmaktadır. Şehir içi kullanımlarda ve olumlu hava şartlarında bu araçlar daha verimli iken şehirlerarası ve olumsuz hava koşullarında verimlilikleri düşmektedir. Buna göre, batarya şarj süresi de önemli olan faktörlerden biridir ve şarj istasyon sayılarının artırılması bu araçların tercih edilmesine olumlu katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, sadece e-SUV’ların performansları belli girdi ve çıktı değişkenlerine göre analiz edilmiştir. Gelecekte, aynı şartlar altında elektrikli binek araçlar değerlendirilebilir. Değerlendirme için farklı yöntemler tercih edilebilir. Literatürde kullanılan çok sayıda ÇKKV tekniği ile de değerlendirmeler yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir. Elektrikli araçların performanslarını arttırmak üzerine, sürekli olarak iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu gelişmelere bağlı olarak performans ölçümünde kullanılan girdi ve çıktı faktörlerinin güncellenmesi gerekebilir.

e-SUV’lara ait elde edilen girdi ve çıktı faktörlerine ait teknik veriler aslında en ideal şartlar altında ölçülen ve en iyi sonuçları yansıtan değerlerdir. Aslında bu veriler gerçek hayat şartlarında, farklı iklim koşullarında ve farklı sürücüler için farklı sürüş deneyimleri ile tüm araçlar için toplanmalıdır. Bu durum, çalışmadaki en büyük kısıtlayıcı faktör olmuştur. Ayrıca Türkiye’de satışı olan sınırlı sayıda e-SUV olması da çalışmayı sınırlandıran bir diğer faktör olmuştur.

Sonuç olarak, sürdürülebilir bir çevre için Avrupa başta olmak üzere zamanla tüm dünyada elektrikli araçların kullanımı yaygın hale gelecektir. Buradaki kilit nokta bu araçların verimliliklerinin artırılması üzerine çalışmaların hız kazanmasıdır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] E. Helmers, and P. Marx, “Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts,” *Environmental Sciences Europe*, vol. 24, no. 14, pp. 1–15, 2012.
- [2] A. Valavanidis, “The shift to diesel fuel engines and how the emission scandal of diesel vehicles unfolded,” *World Energy Consumption of Transportation Sector*, vol. 1, pp. 1–26, 2018.
- [3] C. Mahmoudi, A. Flah, and L. Sbita, “An overview of electric vehicle concept and power management strategies,” *International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb*, Maghreb, 2014, pp. 1–8.
- [4] A. Efendi, and A. R. Fahmi, “Design and build of electric car frame SULA evolution,” *Journal of Mechanical Engineering Education*, vol. 6, no. 1, pp. 11–21, 2021.
- [5] M. Shammut, M. Cao, Y. Zhang, C. Papaix, Y. Liu, and X. Gao, “Banning diesel vehicles in London: Is 2040 too late?,” *Energies*, vol. 12, no. 3495, pp. 1–17, 2019.
- [6] S. Wappelhorst. (2020, May 11). *The end of the road? An overview of combustion-engine car phase-out announcements across Europe* [Online]. Available: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Combustion-engine-phase-out-briefing-may11.2020.pdf>
- [7] J. Laurikko, R. Granström, and A. Haakana, “Assessing range and performance of electric vehicles in Nordic driving conditions,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 5, pp. 45–50, 2012.
- [8] M. E. Baghdadi, L. D. Vroey, T. Coosemans, J. V. Mierlo, W. Foubert, and R. Jahn, “Electric vehicle performance and consumption evaluation,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 6, pp. 30–37, 2013.

- [9] P. Ziemba, "Multi-criteria stochastic selection of electric vehicles for the sustainable development of local government and state administration units in Poland," *Energies*, vol. 13, no. 6299, pp. 1–19, 2020.
- [10] J. Wańróbski, K. Małeckı, K. Kijewska, S. Iwan, A. Karczmarczyk, and R. G. Thompson, "Multi-criteria analysis of electric vans for city logistics," *Sustainability*, vol. 9, no. 8, pp. 1453, 2017.
- [11] M. Erbaş, M. Kabak, E. Özceylan, and C. Çetinkaya, "Optimal siting of electric vehicle charging stations: A GIS-based fuzzy multi-criteria decision analysis," *Energy*, vol. 163, pp. 1017–1031, 2018.
- [12] E. Park, J. Lim, and Y. Cho, "Understanding the emergence and social acceptance of electric vehicles as next-generation models for the automobile industry," *Sustainability*, vol. 10, no. 3, pp. 662, 2018.
- [13] W. Sałabun, and A. Karczmarczyk, "Using the COMET method in the sustainable city transport problem: An empirical study of the electric powered cars," *Procedia Computer Science*, vol. 126, 2018.
- [14] M. Barfod, Dr. Kaplan, I. Frenzel, and J. Klauenberg, "COPE-SMARTER-A decision support system for analysing the challenges, opportunities and policy initiatives: A case study of electric commercial vehicles market diffusion in Denmark," *Research in Transportation Economics*, 2016.
- [15] S. Çakır ve S. Perçin, "Çok kriterli karar verme teknikleriyle lojistik firmalarında performans ölçümü," *Ege Akademik Bakış*, c. 13, s. 4, ss. 449–459, 2013.
- [16] E. Aytaç Adalı, and A. Tuş Işık, "Critic and Maut methods for the contract manufacturer selection problem," *European Journal of Multidisciplinary Studies*, vol. 2, no. 5, pp. 93–101, 2017.
- [17] N. Yalçın, and U. Ünlü, "A multi-criteria performance analysis of initial public offering (IPO) firms using critic and vikor methods," *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 24, no. 2, pp. 534–560, 2018.
- [18] G. O. Odu, "Weighting methods for multi-criteria decision making technique," *Journal of Applied Sciences Environmental Management*, vol. 23, no. 8, pp. 1449–1457, 2019.
- [19] A. R. Krishnan, M. M. Kasım, R. Hamid, and M. F. Ghazali, "A modified CRITIC method to estimate the objective weights of decision criteria," *Symmetry*, vol. 13, no. 6, pp. 973, 2021.
- [20] J. Aldring, and D. Ajay, "Critic-Entropy based fuzzy decision making models: A systematic analysis," *Journal of Computational Mathematics*, vol. 13, no. 6, pp. 1–20, 2021.
- [21] H. Shi, Y. Li, Z. Jiang, and J. Zhang, "Comprehensive power quality evaluation method of microgrid with dynamic weighting based on critic," *Measurement and Control*, vol. 54, no. 5-6, pp. 1097–1104, 2021.
- [22] M. Şahin, "A comprehensive analysis of weighting and multicriteria methods in the context of sustainable energy," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 18, pp. 1591–1616, 2021.
- [23] E. Yüksekıldız, "Entropi ve eatwos yöntemleri ile Türkiye konteyner limanlarının verimlilik analizi," *Verimlilik Dergisi*, c. 2, ss. 3–24, 2021.

- [24] Ö. F. Görçün, “Entegre entropi ve eatwos yöntemleri kullanılarak Karadeniz konteyner limanlarının verimlilik analizi,” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, c. 14, s. 3, ss. 811–830, 2019.
- [25] M. Ilıkkan Özgür, E. Soyu, H. Bağcı ve C. Demirtaş, “Türk şeker firmalarında critic ve eatwos yöntemiyle verimlilik analizi,” *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, c. 11, s. 1, ss. 224–244, 2021.
- [26] N. Kundakçı, “A comparative analyze based on eatwos and oca methods for supplier evaluation,” *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 103–112, 2019.
- [27] H. Doğan, “Türkiye ve AB ülkelerinin ar-ge verimliliklerinin entropi-eatwos yöntemleri ile karşılaştırılması,” *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 12, s. 23, ss. 233–251, 2020.
- [28] A. Özbek, “Çok ölçütlü karar verme yöntemleriyle hayırsever kuruluşlarında verimlilik analizi,” *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 18, s. 2, ss. 99–113, 2017.
- [29] F. Baş, “Sağlık Bakanlığına bağlı eğitim ve araştırma hastaneleri performanslarının çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesi,” Doktora tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2021.
- [30] M. Erol ve B. Erdebilli Kerem, “Firmaların iş sağlığı ve güvenliği performansının çok kriterli karar verme yöntemleri yardımıyla ölçülmesi,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 9, ss. 337–359, 2021.
- [31] EDF Energy. (2021, July 9). *All about electric car batteries* [Online]. Available: <https://www.edfenergy.com/electric-cars/batteries>
- [32] P. Rong, and M. Pedram, “An analytical model for predicting the remaining battery capacity of lithium-ion batteries,” *Proceedings of Design, Automation, and Test in Europe Conference and Exhibition*, Munich, Germany, 2003, pp. 1148–1149.
- [33] J. Voelcker. (2021, July 9). *EVs explained: Battery capacity, gross versus net* [Online]. Available: <https://www.caranddriver.com/features/a36051980/evs-explained-battery-capacity-gross-versus-net/>
- [34] A. Kerem, “Elektrikli araç teknolojisinin gelişimi ve gelecek beklentileri,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 1–13, 2014.
- [35] J. Cogen, “Report of the alternative fuel vehicle infrastructure of working group,” USA, Oregon State Report, 2010.
- [36] B. Yağcıtekin, M. Uzunoğlu ve A. Karakaş, “Elektrikli araçların şarjı ve dağıtım sistemi üzerine etkileri,” *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elâzığ, 2011, pp. 316–320.
- [37] G. Şen, A. R. Boynueğri ve M. Uzunoğlu, “Elektrikli araçların şarj yöntemleri ve araçların şebekeyle bağlantısında karşılaşılan problemlere yönelik çözüm önerileri,” *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elâzığ, 2011, pp. 357–362.
- [38] K. Erhan, M. Ayaz ve E. Özdemir, “Elektrikli araç şarj istasyonlarının güç kalitesi üzerine etkileri,” *Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, Ankara, c. 7, s. 1, 2013.

- [39] T. Finken, M. Felden, and K. Hameyer, "Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles," *Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines*, United States, 2008, pp. 1–5.
- [40] B. Gasbaoui, A. Chaker, A. Laoufi, B. Allaoua, and A. Nasri, "The efficiency of direct torque control for electric vehicle behaviour improvement," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 127–146, 2011.
- [41] F. Güven ve H. Rende, "Elektrikli araçların tasarımında malzeme seçiminin önemi," *Mühendis ve Makine*, c. 58, s. 689, ss. 81–95, 2017.
- [42] Y. Gürbüz ve A. A. Kulaksız, "Elektrikli araçlarla klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması," *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 117–125, 2016.
- [43] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. Marquez-Barja, "A review on electric vehicles: Technologies and challenges," *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372–404, 2021.
- [44] M. Sapundzhiev, I. Evtimov, and R. Ivanov, "Determination of the needed power of an electric motor on the basis of acceleration time of the electric car," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Romania, 2017, vol. 252, pp. 1–7.
- [45] E. A. Grunditz, and T. Thiringer, "Electric vehicle acceleration performance and motor drive cycle energy efficiency trade-off," *XIII. International Conference on Electrical Machines*, Greece, 2018, pp. 717–723.
- [46] M. Ilyes, A. Fotouhi, and N. Ewin, "Electric vehicle energy consumption modelling and estimation – A case study," *International Journal of Energy Research*, vol. 45, pp. 505–520, 2020.
- [47] T. C. Wang, and H. D. Lee, "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 8980–8985, 2009.
- [48] A. Özdağoğlu, "BIST sınıai işletmelerinin gri entropi eatwios bütünleşik yaklaşımı ile performans değerlendirmesi," *İşletme Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 271–299, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Al6061 Talaşının Toz Metalurjisi ile Geri Kazanımı

 Ümit Gencay BAŞCI^{a,*},  Hasan İsmail YAVUZ^a,  Rıdvan YAMANOĞLU^a

^a Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: umit.basci@kocaeli.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.959123

ÖZ

Son yıllarda endüstrinin gelişmesi çevre kirliliğinin artmasında büyük rol oynamıştır. Çevrenin korunması amacıyla özellikle metalik atıkların geri dönüştürülmesi her geçen gün daha fazla dikkat çekmektedir. Bu nedenle özellikle talaş formundaki alüminyum atıklarının düşük enerji ve minimum emisyon ile geri kazanımını sağlayan katı hal yöntemleri tercih edilmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, toz metalurjisi ile Al6061 talaşının vakum ortamında (10^{-4} mbar), 30 MPa basınç altında ve farklı sıcaklıklarda (560, 580 ve 600°C), 15 dakika sinterlenerek katı hal geri kazanımları amaçlanmıştır. Sinterleme sıcaklığının malzeme özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi için üretilen numunelerin Arşimet prensibine göre yoğunlukları ölçülerek, aşınma, sertlik ve eğme testlerine tabi tutulmuştur. Test sonuçları değerlendirildiğinde en yüksek yoğunluk (%97,8) 600°C’de sinterlenen numunede elde edilmiştir. Yoğunluk değerlerinin artış göstermesi mekanik özellikleri de doğrudan etkilemiştir. En yüksek sertlik değeri 58,9 HV ile 600°C’de sinterlenen numunede ölçülmüştür. Artan yoğunluk ve sertlik ile aşınma direncinde artış gözlenmiştir. Eğme testi sonucunda en yüksek eğme mukavemeti 348 MPa ile yine 600°C’de sinterlenen numunede ölçülmüştür. Sonuç olarak sıcak pres yöntemi ile 6061 talaşının katı hal geri kazanımları sağlanmış ve yüksek mukavemetli parça üretiminin mümkün olabileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Al6061 alaşımı, Geri kazanım, Mikroyapısal karakterizasyon, Mekanik özellikler, Talaş, Toz metalurjisi

Recycling of Al6061 Chip by Powder Metallurgy

ABSTRACT

In recent years the development of industry has played a significant role in the increase of environmental pollution. In order to protect the environment, the recycling of metallic wastes is getting more and more attention day by day. For this reason, solid-state methods, which provide the recycling of aluminum waste, especially in the form of chips with low energy and minimum emission, have started to be preferred. In this study, solid-state recycling was aimed by sintering Al6061 chips in a vacuum environment under 10^{-4} mbar, 30 MPa pressure and at different temperatures (560, 580 and 600°C) for 15 minutes by powder metallurgy. In order to examine the effect of sintering temperature on material properties, the densities of the produced samples were measured according to the Archimedes principle, and they were subjected to wear, hardness and bending tests. When the test results were evaluated, the highest density was obtained in the sintered sample at 600°C with a relative density of 97,8%. The increase in density values also directly affected mechanical properties. The highest hardness value was measured in the sample sintered at 600°C with 58.9 HV. Wear performance increased with increasing hardness ratio. As a result of the bending test, the highest bending strength was measured at 348 MPa in the sample sintered at 600°C. Consequently, solid-state recovery of Al6061 chips was achieved by the hot press method, and it was demonstrated that it is possible to produce high-strength parts as well as material shaping.

Keywords: Al6061 alloy, Recycling, Microstructural characterization, Mechanical properties, Chip, Powder metallurgy.

I. GİRİŞ

Malzemelerin üretim ve şekillendirilebilmesi için farklı imalat yöntemleri geliştirilmiştir. Kaynağına göre üretim yöntemleri birincil veya ikincil üretim yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil üretim yöntemleri cevherden yola çıkarak saf metal üretim yöntemlerini kapsamaktadır. Günümüzde yer kabuğunda bulunan cevher kaynaklarının günden güne azalış göstermesi metallerin geri kazanımı ile birlikte ikincil üretim yöntemlerinin önemini artırmaktadır. Karbondioksit ve tehlikeli gazların emisyonu, yüksek miktarda katı atık oluşması, kullanılan enerji miktarının fazlalığı ve çevrenin doğal dengesinin bozulması birincil üretim yöntemlerinin dezavantajları arasında yer almaktadır. Bu dezavantajlardan dolayı ikincil üretim yöntemleri üzerine araştırmalar artmaktadır [1, 2]. Yapılan araştırmalara göre küresel metal geri dönüşüm piyasasının 2020'den 2027 yılına kadar yaklaşık %7 büyüyerek 86,11 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Bununla birlikte 2019 yılında 630 milyon ton olan yeniden kazanım ile geri dönüşüm pazar hacminin 2025 yılına kadar 890,7 milyon tona çıkacağı öngörülmektedir [3].

Alüminyum, yer kürede bulunan cevherler bakımından üçüncü sırada yer almaktadır. Ayrıca alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek spesifik mukavemet, yüksek korozyon direnci, kolay şekillendirilebilirlik, yüksek elektrik ve ısı iletimi, ısıl işlem ve deformasyon ile mukavemet artışı sağlanmasından dolayı endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen malzemelerden birisidir [4, 5]. Alüminyum ve alaşımları bu üstün özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık, savunma, giyim, spor, yiyecek, makine imalat sektörü gibi birçok sektörde kullanılmaktadır [6, 7]. Bu doğrultuda alüminyum 24 milyon ton mevcut yıllık tüketim miktarı ile dünya çapında en fazla tüketilen demir dışı metal olma özelliğine sahiptir. Toplam tüketim hacminin yaklaşık %25' ini ikincil alüminyum üretimi oluşturmaktadır. Yapılan araştırmalar ABD' de günümüze kadar üretilen toplam alüminyumun yaklaşık %75' inin halen kullanıldığını ortaya çıkartmıştır [8].

Alüminyum alaşımlarının geri kazanımında yaygın olarak ergitme yöntemleri kullanılmaktadır. Ergitme yöntemleri ile alüminyum geri kazanımı, alüminyum hurdalarının sınıflandırılması, ergitilmesi, alaşımlandırılması ve dökülmesi şeklindedir. Sınıflandırma işleminden sonra alüminyum hurdaları ergitme sistemlerinde belli bir enerji aktarımı ile sıvı faz haline getirilmektedir. Sıvı alaşımdan alınan kimyasal analiz sonucuna göre eksik alaşım elementlerinin ilavesi sonrasında çeşitli formlarda dökülerek geri kazanım sağlanmaktadır. Ergitme sırasında oksidasyon nedeniyle alüminyumun yaklaşık olarak %45' i kaybolmakta ve yüksek miktarda cüruf ve çevreyi kirletici gazlar ortaya çıkmaktadır [9]. Ayrıca talaşlı imalat ve testere ile kesim sonrası ortaya çıkan talaş ve toz şeklindeki ince alüminyum partiküllerinin ergitme ile yeniden kazanımı sırasında oksitlenme nedeniyle yüksek oranda metal kaybı oluşmaktadır. Ergitme yöntemlerinde tüketilen enerji ve doğaya salınan zararlı gaz miktarının fazlalığı, metal kaybının yüksek olması katı hal yeniden kazanım tekniklerinin geliştirilmesine neden olmuştur. Katı hal yeniden kazanım tekniklerinde ergitme prosesinin olmaması harcanan enerji miktarının düşük olmasını sağlamaktadır. Diğer bir yandan bu tekniklerin sayesinde çevreye salınan zararlı gaz miktarı minimum seviyede tutulmakta ve yüzey alanı yüksek partiküllerin geri kazanımları mümkün olmaktadır [1].

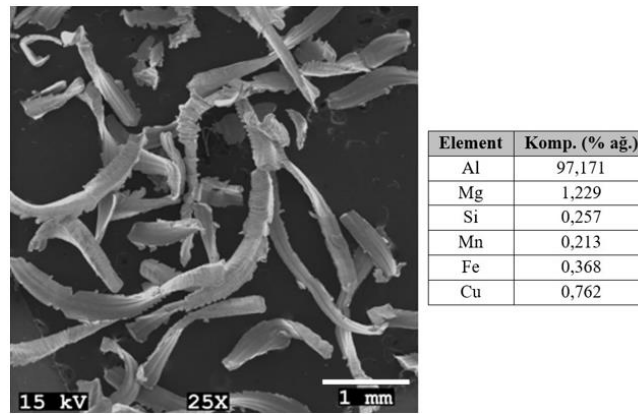
Talaş ve toz halindeki hurdaların katı hal geri kazanım yöntemleri üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Katı hal geri kazanım yöntemlerinden bazıları; sıcak ekstrüzyon, vida ekstrüzyonu, basınç destekli sinterleme ve sürtünme kaynağıdır [10, 11]. Özellikle basınç destekli sinterleme yöntemleri özelinde birçok farklı proses çalışmaları bulunmaktadır. Son zamanlarda, geleneksel toz metalurjik yöntemlere kıyasla kısa ısıtma sürelerinde gelişmiş mekanik özellikler sağlama yetenekleri nedeniyle hızlı sinterleme tekniklerine yoğun ilgi vardır. Basınç destekli sinterleme yöntemlerinde sıcaklık ve basınç eş zamanlı uygulanmaktadır. Basınç ve sıcaklığın eş zamanlı uygulanması ile daha düşük sinterleme sıcaklığı ve sürelerinde proses gerçekleştirilebilmektedir [12, 13]. Geleneksel toz metalürjisi teknikleri düşük mekanik özelliklere sahip kaba mikroyapılı bir nihai ürüne sebep olurken basınç destekli sinterleme yöntemi yüksek dayanıma sahip numune üretimini mümkün kılmaktadır [14]. Dış basınç genellikle toz metalürjisinde geleneksel basınç destekli sinterleme tekniği olan tek eksenli sıcak presleme (HP) tekniği ile uygulanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan grafit kalıp, yüksek yağlama özelliği sayesinde sinterlenmiş numunelerin kalıptan kolayca çıkarılması amacıyla tercih edilmektedir

[15]. Sıcak pres yönteminin sağladığı diğer bir avantaj yüksek yoğunluklu malzeme üretimini sağlamasıdır [16]. Sıcak pres tekniği geleneksel tekniklere kıyasla daha iyi mekanik ve elektrokimyasal özellikler sağlamanın yanı sıra daha basit bir imalat sürecine sahiptir [17]. Bu yöntem döküm yönteminin bir parçası olan homojenizasyon ve parça densifikasyonu gibi ek üretim proseslerine olan ihtiyacı kaldırarak üretim maliyetinin düşmesini sağlamaktadır [18]. Diğer yandan bu yöntem ilk toz şekil ve boyut özelliklerinin olumsuz etkilerini azaltmakta ve arayüzey kinetiğini kontrol etmektedir [19]. Basınç destekli sinterleme yöntemi ayrıca malzemenin yoğunlaşmasına ve nihai özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Sinterleme sırasında uygulanan basınç, yoğunlaşma hızını arttırmakta ve sinterleme sıcaklığını azaltmaktadır. Sinterleme süresiyle birlikte ısıtma ve soğutma hızlarının da ayarlanması mikroyapısal açıdan oldukça önemli değişiklikler oluşturmaktadır [6]. Maksimum sinterleme sıcaklığına hızlı ısıtma sayesinde, malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyen tane büyümesi engellenmektedir. Bu sebeple ısıtma oranının malzemelerin yoğunlaşma özelliklerine katkısı nedeniyle sinterleme sıcaklığına ve süresine ek olarak birincil difüzyon parametresi olarak düşünülmesi gerekir [15]. Bunun yanı sıra üretim yönteminin vakum destekli olması alüminyum, magnezyum gibi yüksek oksijen afinitesine sahip elementlerin üretilmesinde kolaylık sağlamaktadır [20]. Paraskevas ve ark. alüminyum talaşından katı hal yeniden kazanım yöntemlerinde aynı kompozisyona sahip talaş ve tozun beraber kullanımıyla basınç destekli sinterleme prosesleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Talaş ve toz partikülleri kullanılarak katı hal geri kazanım prosesinde yüksek yoğunluk elde etmelerine rağmen pahalı olan metal tozların kullanımı ile geri dönüşüm maliyetlerinde artış tespit etmişlerdir [21].

Bu çalışmada, basınç destekli sinterleme yöntemi ile Al6061 talaşına herhangi bir metal tozu ilave edilmeden geri kazanımı üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Sinterleme işlemi için sıcak pres yöntemi seçilmiş ve farklı sinterleme sıcaklıklarının malzemenin özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

II. MALZEME VE METOD

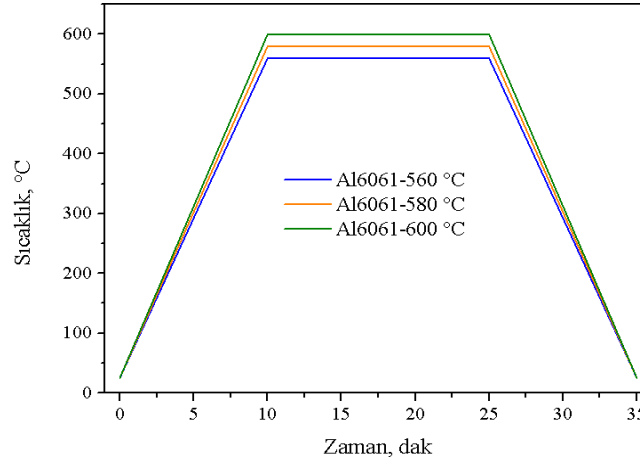
Bu çalışmada kullanılan talaşlar, 200x150x50 mm boyutlarındaki Al6061 alaşımının, basınçlı hava ile 3 eksen CNC kullanarak yüzeyinin işlenmesi ile elde edilmiştir. Deney öncesinde kesilen talaşların biriktiği ortam ve kesici takımın aşınması sonucu gelen mikro partiküllerin sebep olabileceği safsızlıkları gidermek amacıyla ultrasonik alkol banyosunda temizleme uygulanmıştır. Temizleme işlemi sonrası Al6061 talaşına SEM-EDX analizi uygulanmış ve partiküller incelenmiştir. Talaşların SEM görüntüsü ve EDX analizi sonrasında elde edilen kimyasal kompozisyon Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Al6061 talaşının SEM görüntüsü ve kimyasal bileşimi

Al6061 talaşlarının katı hal yeniden kazanımı ve şekillendirilmesi basınç destekli sinterleme yöntemi ile gerçekleşmiştir. Sinterleme prosesinde DIEX VS50 marka sinterleme cihazı kullanılmıştır. Al6061 alaşımı talaşlarının basınç destekli sinterleme işlemi; 10°C/dak hızla ısıtma, 560°C, 580°C ve 600°C’de 15 dakika tutma ve tüm proses süresince 30 MPa basıncının uygulanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de sinterleme çevrimi verilmiştir. Sinterleme sırasında ortam ile reaksiyonların önlenmesi

amacıyla, tüm üretimler vakum atmosferi (10^{-4} mbar) altında yapılmıştır. Sinterleme sonrasında 20mm çap 5mm yüksekliğinde metal disk numuneler elde edilmiştir. Üretilen numunelerin ilk olarak Arşimet prensibine göre yoğunlukları ölçülmüştür. Yoğunluk ölçümlerinde saf su kullanılmıştır. Arşimet yöntemi ile elde edilen yoğunluk değerleri Al6061 alaşımının teorik yoğunluğuna oranlanarak relatif yoğunlukları hesaplanmıştır. Ardından farklı sıcaklıklarda üretilen numuneler metalografik olarak hazırlanmıştır. Soğuk kalıplanan numuneler sırasıyla 320, 600, 1000 ve 2000 grid zımparalar kullanılarak zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Zımparalama işlemi sonrasında numuneler, sırasıyla 9, 6, 3 ve 1 mikronluk çuhalar kullanılarak elmas pasta solüsyonu ile parlatılmış ve ardından Keller dağlayıcısı (2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃ ve 190 ml saf su) ile 15 s dağlanmıştır. Dağlama sonrası mikroyapı incelemesi Olympus marka BX41M-LED model metal mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Parlatılmış durumda numuneler ASTM G99-95 standardına göre ball-on-disc aşınma testine tabi tutulmuştur. Testler TURKYUS marka POD/HT/WT model aşınma cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Test koşulları olarak 5 N yük, 100 m mesafe, 150 rpm hız parametreleri seçilmiştir. Karşıt malzeme için 6 mm çapında 100Cr6 çelik bilye kullanılmıştır. Aşınma testi sonrasında malzemelerin ağırlık kayıpları AND marka GR-200 model hassas terazi ile belirlenmiştir. Üretilen numunelerin sertlikleri, Future-Tech marka EV-700 model vickers sertlik cihazında, 0,5 kg yük ve 20 s uygulama süresi kullanılarak ölçülmüştür. Sertlik testlerinde numunelerin kesitlerinden 5' er adet ölçüm alınmıştır. Eğme testleri Instron marka 300LXJ model çekme cihazında yapılmıştır.



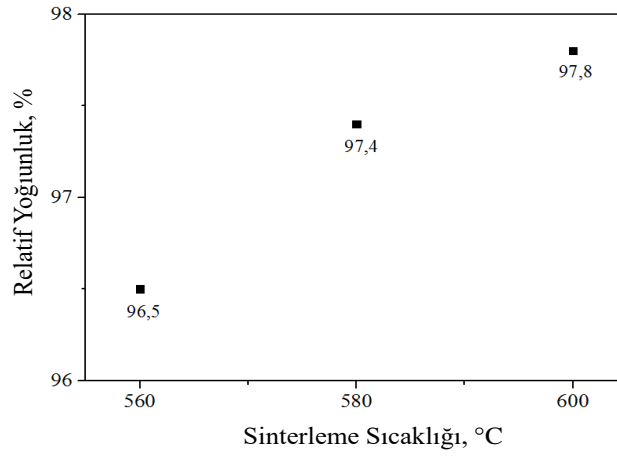
Şekil 2. Sinterleme çevrimi

III. SONUÇLAR

A. YOĞUNLUK ÖLÇÜMLERİ

Farklı sinterleme sıcaklıkları sonrasında elde edilen yoğunluklar Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde sinterleme sıcaklığının artması ile numunelerde elde edilen yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek yoğunluk (%97,8) 600°C' de 15 dakika sinterleme ile elde edilirken, en düşük yoğunluk (%96,5) 560°C'de sinterleme sonucu elde edilmiştir. Sinterleme sıcaklığının artması ile atomların difüzyon hızının artması ve buna bağlı olarak basınç altındaki malzeme içerisindeki porozitelerin azalması, yoğunluğun artmasına yol açmıştır. Geleneksel sinterleme rotası izlenerek gerçekleştirilen çalışmalarda istenilen seviyede yoğunluk artışı sağlanamamaktadır. Bu doğrultuda Jha ve ark. yaptıkları çalışmada Al6061 matrisli grafit takviyeli kompozitleri geleneksel sinterleme yöntemiyle üretmiştir. 310 MPa basınç altında sıkıştırılan tozlar tüp fırın içerisinde 615 °C sıcaklıkta 30 dak. sinterlenmiştir. Sinterleme atmosferi olarak vakum, argon ve azot kullanılmıştır. Yoğunluk sonuçları değerlendirildiğinde vakum altında üretilen Al6061 alaşımının yoğunluk değeri %87,4 olarak ölçülmüştür [22]. Diğer yandan Paraskevas ve ark. Al6061 talaşına ağırlıkça %50 oranında gaz atomize Al6061 tozu katarak kıvılcım plazma sinterleme (SPS, Spark Plasma Sintering) yöntemi ile disk şeklinde numuneleri üretilip mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Al6061 tozları SPS ile sinterleme esnasında

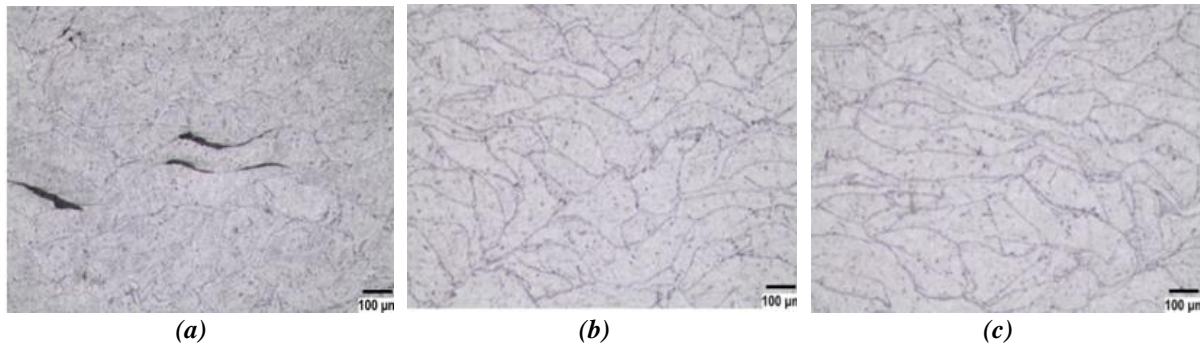
bağlayıcı olarak davranarak neredeyse tam yoğunluk elde edilmesini sağlamıştır [21]. Sharma ve ark. yaptıkları çalışmada döküm yöntemi ile ürettikleri Al6061 alaşımının yoğunluğunu %98,8 olarak tespit etmişlerdir [23]. Konu ile alakalı başka bir çalışma Karakoç ve ark. [24] tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Al6061 alaşımı geleneksel toz metalurjik prosesler ile üretilmiş ardından numunelere sıcak ekstrüzyon uygulanmıştır. 100 µm ortalama partikül boyutuna sahip Al6061 tozları 300 MPa basınç altında preslenmiş ve açık atmosfer ortamında 550°C’de 1 saat sinterlenmiştir. Sinterleme ve ekstrüzyon işlemlerinin öncesinde ve her aşamanın ardından yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işleminin ardından Al6061 alaşımı için %91 relatif yoğunluk değeri ölçülmüştür. Sıcak ekstrüzyon işleminin uygulanmasıyla birlikte relatif yoğunluk değeri %99’a yükselmiştir. Başka bir ifadeyle sinterlenmiş numunelerde görülen %9 gözeneklilik oranı sıcak ekstrüzyon işleminin uygulanmasıyla birlikte %1’e düşürülmüştür. Çalışmamız ile karşılaştırıldığında basınç destekli sinterleme yöntemiyle ulaşılan yoğunluk değerlerine yaklaşılmaları için ikincil işlemlere ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Buradan yola çıkıldığında yapıya katkı maddesi ilave edilmeden yalnızca talaş kullanılarak 600°C’de üretim ile elde edilen %97,8 yoğunluk değeri, basınç destekli sinterleme yönteminin avantajını açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak elde edilen yoğunluk değerleri

B. MİKROYAPISAL KARAKTERİZASYON

560, 580 ve 600°C’de 15 dakika sıcak pres ile sinterlenmiş Al6061 numunelerin parlatılmış durumdaki mikroyapı görüntüleri Şekil 4’te verilmiştir. Sinterleme, sıcaklık ve zamanın bir fonksiyonu olarak kontrol edilmektedir. Talaşların temas noktalarında artan sıcaklık ile aktive olmuş atomların hareketliliği sayesinde malzemenin yoğunluğu artmaktadır. Şekil 4a’da 560°C’de atom difüzyonu için gerekli itici gücün yetersiz olması nedeniyle talaşların arasında talaş şekline bağlı olarak uzamış gözenekler görülmektedir.

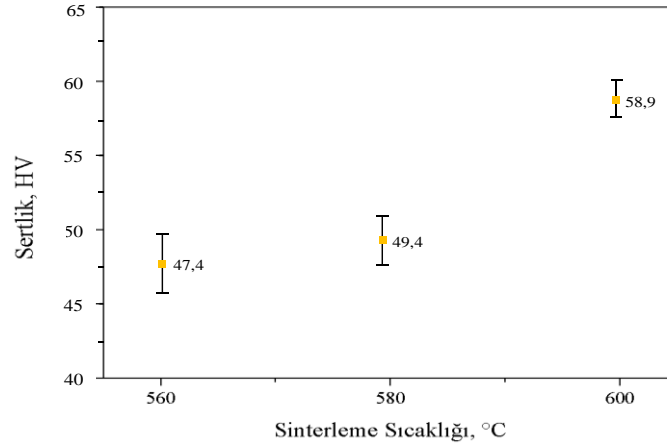


Şekil 4. Farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş Al6061 talaşının parlatılmış konumda mikroyapıları (a) 560°C, (b) 580°C, (c) 600°C

Sıcaklığın 560°C'den 600°C'ye çıkarılması ile yapıdaki porozite miktarının minimuma indiği görülmüştür. Baffari ve ark. yaptıkları bir çalışmada 5-10 mm boyutlarındaki plaka şeklindeki AA1050 alüminyum alaşım hurdalarını FSC (Friction Stir Consolidation) yöntemi ile 20 mm çapında silindirik numuneler haline getirmişlerdir [11]. Mikroyapı incelemelerinde sürtünme ile ortaya çıkan sıcaklığın yetersiz olduğu bölgelerde Şekil 5a'daki gibi benzer gözenekler tespit edilmiştir. Yapı içerisindeki bu gözenekler mekanik özellikleri negatif yönde etkilemiştir. Dolayısıyla yoğunluk sonuçları ve mikroyapı görüntülerinin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Karakoç ve ark. [25] yaptıkları bir çalışmada Al6061 alaşımına geleneksel sinterleme yöntemiyle elde edildikten sonra sıcak ekstrüzyon işlemi uygulanmış ve T6 ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Optik mikroskop ile gerçekleştirilen mikroyapı incelemelerinde partikül sınırlarında Şekil 5b ve 5c'de yer alan görüntülere benzer görüntüler elde edilmiştir. Diğer bir yandan Surya [26] tarafından herhangi bir ek işlem uygulanmadan yalnızca geleneksel toz metalurjik prosesler kullanılarak üretilmiş Al6061 alaşımının optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde yüksek oranda gözeneklilik tespit edilmiştir. Çalışmada 30 µm partikül boyutuna sahip Al6061 tozları 300 MPa basınç altında preslenmiş ve numuneler koruyucu atmosfer altında 530°C'de 1, 2 ve 3 saat sinterlenmiştir. Görüntüler incelendiğinde ancak 3 saat sinterlemenin ardından yapıda yer alan gözenekliliklerin giderilebildiği belirlenmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde yapıda yer alan gözenekliliklerin çalışmamızda kullanılan basınç destekli sinterleme yöntemi ile 15 dak. sinterleme süresiyle giderilebildiği buna karşın geleneksel yöntemlerle bu işlemin 3 saate kadar çıkabildiği görülmüştür. Gözeneklilik oranının mekanik özellikleri doğrudan etkilediği düşünüldüğünde düşük porozite oranına sahip yapı eldesi için basınç destekli sinterleme yönteminin daha kısa sinterleme süresi ve dolayısıyla daha az enerji maliyeti sağladığı görülmüştür. Mikroyapısal karakterizasyon sonucunda tespit edilen düşük gözeneklilik oranlarının mekanik özelliklere etkisi sonraki bölümlerde yer alan mekanik test incelemelerinde verilmiştir.

C. SERTLİK TESTLERİ

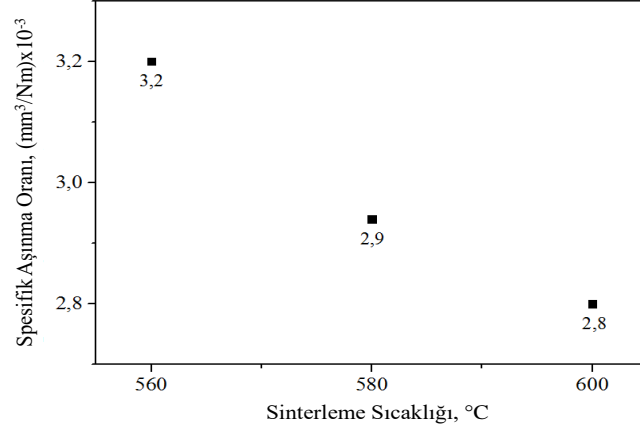
Farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş Al6061 talaşının sertlik değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Görüldüğü gibi en yüksek sertlik değeri 600°C'de sinterlenen numunede elde edilmiştir. Yoğunluk artışına paralel olarak yapıdaki gözeneklilik oranının düşmesi mekanik özelliklerin gelişmesine yol açmıştır. Bu açıdan değerlendirildiğinde 600 °C'de sinterlenen numunenin en yüksek sertlik değerine (58,9 HV) sahip olması beklenen bir durumdur. Kumar ve ark. Al6061 alaşımını mikrodalga sinterleme yöntemi ile 610°C'de sinterlemişler ve sinterlenen numunelerde sertlik değerinin 60 HV olduğunu belirlemişlerdir [27]. Kumar ve ark. yaptıkları çalışmada hammadde olarak Al6061 tozu kullanılırken bizim çalışmamızda Al6061 talaşı kullanılmıştır. Buna rağmen çalışma sonucu elde edilen sertlik değeri, Kumar ve ark. yaptıkları çalışmada elde edilen sertlik değerine %98 oranında yaklaşmıştır. Bu durum geri dönüştürülen malzemenin birincil üretime kıyasla oldukça yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Diğer bir yandan Bhaskar Raju ve ark. [28] tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Al6061 alaşımının mekanik özellikleri üzerinde WC'nin etkisi değerlendirilmiştir. Sinterleme işlemi öncesinde numuneler preslenmiş ardından 540°C'de 2 saat kontrollü atmosfer ortamında sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerin sertlik değerleri Brinell sertlik ölçüm yöntemine göre belirlenmiştir. Çalışmada takviye elemanı içermeyen Al6061 alaşımının sertlik değeri 41 BHN olarak ölçülmüştür. Al6061 alaşımının geleneksel sinterleme ile üretildiği bir başka çalışmada ikincil işlem olarak yaşlandırma uygulanmış ve yaşlandırma sonrasında sertlik 43 BHN değerine yükselmiştir [29]. Dolayısıyla Al6061 talaşının geri dönüştürüldüğü çalışmamızda sinterleme işlemi sonucunda literatürde yer alan çalışmalara kıyasla daha yüksek sertlik sonuçlarının da elde edildiği görülmüştür.



Şekil 5. Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik değişimi

D. AŞINMA TESTLERİ

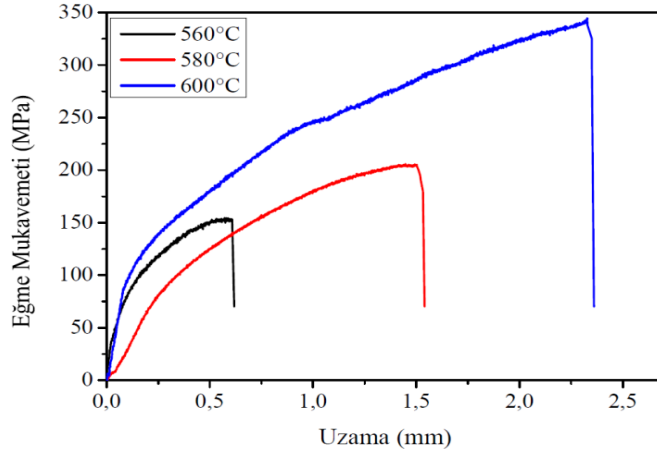
Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak elde edilen numunelerin spesifik aşınma oranlarının değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Sertlik ile aşınma direnci arasında genellikle doğru orantılı bir ilişki vardır. Elde edilen sertlik sonuçlarının artması aşınma direncinin yükselmesine yol açmıştır. Bu doğrultuda en düşük spesifik aşınma oranı $2,80 \text{ (mm}^3/\text{Nm)} \times 10^{-3}$ ile 600 °C'de 15 dak. sinterleme sonrasında elde edilmiştir. 560 ve 580 °C'de sinterlenen numunelerin aşınma oranlarına kıyasla sırasıyla %14 ve %3 oranında iyileşme görülmüştür. Sinterleme sıcaklığının artması atomların difüzyon hızını artırarak talaşlar arasındaki metalürjik bağlanmanın artmasına ve yapı içerisindeki porozite miktarının düşmesine yol açmıştır. Sıcaklığın artması ile yoğunluğun arttığı Şekil 3'te verilen yoğunluk grafiğinden de görülmektedir. Dolayısıyla 600°C'de elde edilen numunedeki porozite miktarı minimum seviyededir. Porozite miktarının daha düşük olması malzemenin mekanik özelliklerinin iyileşmesine yol açmıştır. Bu durum yük altında yapılan aşınma testinde daha düşük sıcaklıklarda sinterlenen numunelere göre daha düşük aşınma değerinin elde edilmesiyle sonuçlanmıştır. Yu ve ark. Al6061 alaşımına farklı oranlarda yüksek basınç infiltrasyon yöntemi ile SiC ilave etmişler ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. 25°C'de 10 N yük altında çelik bilyaya karşı yaptıkları pin-on-disk aşınma testinde takviyesiz Al6061 alaşımının spesifik aşınma oranını $6 \text{ (mm}^3/\text{Nm)} \times 10^{-3}$ olarak bulmuşlardır [30]. Basınç destekli sinterleme yöntemi ile şekillendirilen Al6061 talaşının spesifik aşınma oranının %50 oranında daha düşük çıktığı görülmüştür. Destekleyici nitelikli başka bir çalışma Al-Qutub ve ark. [31] tarafından gerçekleştirilmiştir. Hacimce %0-30 arasında değişen oranlarda mikron altı boyutlarda Al_2O_3 partikülleri içeren Al6061 alaşımı pin-on-disk tipi kuru aşınma testine tabi tutulmuştur. Aşınma testi 0,5-40N aralığında değişen yükler altında gerçekleştirilmiş olup karşıt yüzey olarak 12,5 cm çaplı AISI 4140 çeliği kullanılmıştır. 1 km kayma mesafesinde gerçekleştirilen testte dönme hızı 1 m/s olarak ayarlanmıştır. Çalışmamızla benzer şekilde 5N altında gerçekleştirilen test sonuçları incelendiğinde takviyesiz Al6061 alaşımının aşınma oranı yaklaşık $4 \text{ (mm}^3/\text{Nm)} \times 10^{-3}$ olarak ölçülmüştür. Geleneksel sinterleme yönteminin kullanıldığı bu çalışmada tozlar 200 MPa altında tek eksenli olarak preslendikten sonra 550 °C'de sinterlenmiştir. Konu ile ilgili diğer bir çalışma Partheeban ve ark. [32] tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Al6061 alaşımının aşınma davranışı üzerine TiB_2 ve grafitin etkisi araştırılmıştır. Sinterleme öncesinde tüm numuneler 1.2 GPa basınç altında sıkıştırılmış ardından argon atmosferi altında 550°C'de 1 saat sinterlenmiştir. Referans numunesi olan takviyesiz Al6061 alaşımına 5N yük, 500 rpm devir hızı ve 1000m kayma mesafesi parametrelerinde pin-on-disk tipi kuru sürtünme aşınması testi uygulanmıştır. Test sonuçları incelendiğinde Al6061 alaşımının spesifik aşınma oranı $\sim 4.2 \text{ (mm}^3/\text{Nm)} \times 10^{-3}$ olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla üretim yönteminin getirdiği bu avantaj sayesinde bir geri dönüşüm malzemesinde, hammadde olarak toz kullanılan Al6061 alaşımına göre daha iyi aşınma direnci elde edilmiştir.



Şekil 6. Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak spesifik aşınma oranlarının değişimi

E. EĞME TESTLERİ

560, 580 ve 600°C’de sinterlenen Al6061 talaşlarından elde edilen numuneler eğme testine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar Şekil 7’de verilmiştir. Sinterleme sıcaklığının artması ile numunelerin eğme mukavemetleri ve % uzama değerlerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek eğme mukavemeti 600°C’de sinterleme sonucu 348 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük mukavemet ve uzama değerleri ise 560°C’de sinterlenen numunede ölçülmüştür. Bu durum sinterleme sıcaklığının artırılması ile numunelerdeki yoğunluğun artması ile ilişkilidir. Şekil 3’ten de görülebileceği gibi en yüksek yoğunluk 600°C’de sinterlenen numunede %97,8 olarak elde edilmiştir. Yapı içerisindeki poroziteler eğme sırasında yükün uygulandığı noktada çentik etkisi yaparak gerilme konsantrasyonunun burada toplanmasına ve malzemenin daha düşük uzama altında bu bölgeden kırılmasına neden olmaktadır. En yüksek yoğunluktaki numunede en yüksek eğme mukavemetinin elde edilmesi beklenen bir sonuçtur. Khan ve ark. [33] yaptıkları bir çalışmada grafen ilavesinin T6 yapay yaşlandırma işlemi uygulanmış ve herhangi bir ısıl işlem uygulanmamış Al6061 alaşımının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Üretim yöntemi olarak toz metalurjik proseslerin kullanıldığı çalışmada tüm numuneler 300 MPa basınç altında preslenmiş ve argon atmosferi altında 630°C’de 2 saat sinterlenmiştir. Mekanik özelliklerin değerlendirilmesi amacıyla üç noktalı eğme testi uygulanan çalışmada T6 yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuş ve ısıl işlem uygulanmamış Al6061 alaşımının sonuçları grafen ilaveli numuneler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde referans numunesi olan Al6061 alaşımının eğme mukavemeti 150±15 olarak ölçülmüştür. Diğer yandan T6 ısıl işlemi uygulanan Al6061 alaşımının eğme mukavemeti 220±10 olarak belirtilmiştir. Başka bir çalışmada Sharma ve ark. Al6061 alaşımını döküm yöntemi ile üretmişlerdir. Üretilen numunelere uyguladıkları 3 nokta eğme testinde eğme mukavemeti 340 MPa olarak ölçülmüştür [23]. Al6061 alaşımının eğme mukavemetinin değerlendirildiği diğer bir çalışma Chu ve ark. tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 6061 ve 2024 alüminyum alaşımlarının eğme mukavemeti ve kırılma davranışına hacimce %30 SiC fiber takviyesinin etkisi araştırılmıştır. Üretim yöntemi olarak sıcak izostatik preslemenin kullanıldığı çalışmada numuneler 120 MPa basınç altında 580 °C’de sinterlenmiştir. Eğme sonuçları incelendiğinde Al6061 alaşımının 369 MPa eğme mukavemetine sahip olduğu görülmüştür [34]. Sıcak izostatik presleme yönteminin sıcak pres yöntemine kıyasla tozlara her yönden eşit basınç uygulaması sebebiyle daha yüksek yoğunluk ve mekanik özellikler sağladığı bilinmektedir [6]. Çalışma doğrultusunda kullanılan talaşların sıcak pres yöntemiyle üretilmesine rağmen sıcak izostatik presleme ile üretilen numunelere yakın eğme sonuçları elde edilmiştir. Dolayısıyla Al6061 alaşım talaşının sıcak pres ile sinterlenmesi ile ürettiğimiz numunelerde elde ettiğimiz eğme mukavemetinin sıcak izostatik pres gibi daha üstün yöntemler ile saf alaşımdan üretilen malzemeye yakın değerler elde edilmesi kullandığımız yöntemin başarısını açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 8. Sinterleme sıcaklığına bağlı olarak eğme test sonuçları

IV. SONUC

Bu çalışmada Al6061 talaşlarının sıcak pres yöntemi ile geri dönüşümleri sağlanmıştır. Metal tozlarının sinterlenmesinde üretilen parçanın yoğunluğuna etki eden en önemli parametre sinterleme sıcaklığı ve süresidir. Bu doğrultuda Al6061 talaşları sıcak pres ile farklı sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Sinterleme sıcaklığının artışına bağlı olarak numunelerin yoğunluklarında artış meydana gelmiştir. Bu doğrultuda 600°C’de sinterlenen numunede %97,8 relatif yoğunluğa ulaşılmıştır. Yoğunluk artışı malzemenin mekanik performansında gelişmeye yol açmıştır. Farklı sıcaklıklarda 15 dakika sinterlenmiş numunelerin arakesitinden alınan dağlanmış mikroyapı görüntüleri incelendiğinde özellikle 560°C’de üretilen numunede yetersiz difüzyon nedeniyle talaşların arasında yeterli miktarda bağlanma olmadığı görülmüştür. Sıcaklığın 560°C’den 580°C’ye çıkarılması yapı içerisindeki porozite miktarının azalmasına yol açmıştır. Sıcaklığın 600°C’ye çıkarılması ise yapıdaki porozite miktarını minimuma indirmiştir. Porozite miktarının minimuma inmesi mekanik özelliklerin gelişmesiyle sonuçlanmıştır. En yüksek mekanik özellikler 600°C’de sinterleme ile elde edilmiştir. 600°C’de sinterleme sonrası 348 MPa eğme mukavemeti, 58,9 HV sertlik ve $2,8 \text{ (mm}^3/\text{Nm)} \times 10^{-3}$ spesifik aşınma değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak sıcak pres sinterleme yöntemi ile herhangi bir bağlayıcı metal tozu eklenmeden Al6061 talaşları yüksek yoğunlukta ve mekanik özelliklerde geri kazanılmıştır. Bu açıdan sıcak pres, talaş bileşimine bağlı olarak doğru sinterleme sıcaklığı ve süresinin seçilmesi ile metal talaşlarından, parça üretimini mümkün kılmaktadır. Üretilen numunelere uygulanan test sonuçlarının literatür çalışmalarında farklı üretim yöntemleri ile üretilen Al6061 alaşımı test sonuçlarına yakın olması, yöntemin başarısını ve uygulanabilirliğini desteklemektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] M. W. A. Rashid, F.F. Yacob, M.A. Lajis, M. Asyadi, A. M. Abid, E. Mohamad, and T. Ito, “A review: The potential of powder metallurgy in recycling aluminum chips (Al 6061 & Al 7075),” *The Proceedings of Design & Systems Conference*, no. 14-27, pp. 2301-2308, 2014.
- [2] L. Rojas-Díaz, L. E. Verano-Jiménez, E. Muñoz-García, J. Esguerra-Arce, and A. Esguerra-Arce, “Production and characterization of aluminum powder derived from mechanical saw chip sand its processing through powder metallurgy,” *Powder Technology*, vol. 360, pp. 301-311, 2020.

- [3] Global Recycling. (2021, January 14). *The Global Metal Recycling Market 2020* [Online]. Available: <https://global-recycling.info/archives/4094>.
- [4] A. Selmy, M. I. Abd El Aal, A. M. El-Gohry, and M. A. Taha, "Solid-state recycling of aluminum alloy (AA-6061) chips via hot extrusion followed by equal channel angular pressing (ECAP)," *The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology*, vol. 21, pp. 33-42, 2016.
- [5] R. Yamanoglu, "In situ aluminum alloy coating on magnesium by hot pressing," *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, vol. 28, no. 8, pp. 1059-1064, 2015.
- [6] E. Karakulak, R. Yamanoglu, U. Erten, A. Zeren, S. Zor and M. Zeren, "Investigation of corrosion and mechanical properties of Al-Cu-SiC-xNi composite alloys," *Materials & Design*, vol. 59, pp. 33-37, 2014.
- [7] S. M. A. Rahim, M.A. Lajis and S. Arafin, "A review on recycling aluminum chips by hot extrusion process," *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 761-766, 2015.
- [8] M. A. Lajis, S.S. Khamis, and N. K. Yusuf, "Optimization of hot press forging parameters in direct recycling of aluminium chip (AA 6061)," *Key Engineering Materials*, vol. 622-623, pp. 223-230, 2014.
- [9] S. Shamsudin, M. A. Lajis, and Z. W. Zhong, "Evolutionary in solid state recycling techniques of aluminium: a review," *Procedia CIRP*, vol. 40, pp. 256-261, 2016.
- [10] J. R. Dufloy, A. E. Tekkaya, M. Haase, T. Welo, K. Vanmeensel, K. Kellens, W. Dewulf and D. Paraskevas, "Environmental assessment of solid state recycling routes for aluminium alloys: can solid state processes significantly reduce the environmental impact of aluminium recycling?," *CIRP Annuals-Manufacturing Technology*, vol. 64, no. 1, pp. 37-40, 2015.
- [11] D. Baffari, G. Buffa, G. Ingarao, A. Masnata, and Fratini L., "Aluminium sheet metal scrap recycling through friction consolidation," *Procedia Manufacturing*, vol. 29, pp. 560-566, 2019.
- [12] F. Khoshnaw, R. Yamanoglu, U. G. Basci and O. Muratal, "Pressure assisted bonding process of stainless steel on titanium alloy using powder metallurgy," *Materials Chemistry and Physics*, vol. 259, pp. 1-8, 2021.
- [13] R. Yamanoglu, "Pressureless spark plasma sintering: A perspective from conventional sintering to accelerated sintering without pressure," *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, vol. 57, no. 9-10, pp. 513-525, 2019.
- [14] H. H. Bakır, E. Karakulak, R. Yamanoglu ve M. Zeren "Sıcak preslenmiş Ti6Al4V alaşımı tozlarının mikroyapısal karakterizasyonu ve aşınma özellikleri," *Metal Dünyası Dergisi*, ss. 70-72, 2011.
- [15] R. Yamanoglu, I. Daoud and, E.A. Olevsky, "Spark plasma sintering versus hot pressing-densification, bending strength, microstructure, and tribological properties of Ti5Al2.5Fe alloys," *Powder Metallurgy*, vol. 61, no. 2, pp. 178-186, 2018.
- [16] Ö. Özgün, K. Aslantas, A. Ercetin, "Powder metallurgy Mg-Sn alloys: production and characterization," *Science Iranica*, vol. 27, no. 3, pp. 1255-1265, 2020.
- [17] Z. Doni, A.C. Alves, F. Toptan, J.R. Gomes, A. Ramalho, M. Buciumeanu, L. Palaghian, and F. S. Silva, "Dry sliding and tribocorrosion behaviour of hot pressed CoCrMo biomedical alloy as compared with the cast CoCrMo and Ti6Al4V alloys," *Materials and Design*, vol. 52, pp. 47-57, 2013.

- [18] A. Ercetin, "Application of the hot press method to produce new Mg alloys: characterization, mechanical properties, and effect of Al addition," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 30, no. 6, pp. 4254-4262, 2021.
- [19] M. Pul, "Alüminyum 7075 matrisli kompozitlerde SiC, B₄C ve TiB₂ takviye elemanlarının mekanik özelliklere etkilerinin karşılaştırılması," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, ss. 180-193, 2019.
- [20] D. Paraskevas, K. Vanmeensel, J. Vleugels, W. Dewulf, and J.R. Dufloy, "The use of spark plasma sintering to fabricate a two-phase material from blended aluminium alloy scrap and gas atomized powder," *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 455-460, 2015.
- [21] A. Ercetin, Ö. Özgün, and K. Aslantas, "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.
- [22] A. Jha, S. V. Prasad, and G. S. Upadhyaya, "Preparation and properties of 6061 aluminum alloys/graphite composites by PM route," *Powder Metallurgy*, vol. 32, no. 4, pp. 309-312, 1989.
- [23] V. K. Sharma, V. Kumar and R. S. Joshi, "Investigation of rare earth particulate on tribological and mechanical properties of Al-6061 alloy composites for aerospace application," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 3504-3516, 2019.
- [24] H. Karakoç, Ş. Karabulut, and R. Çıtak, "Study on mechanical and ballistic performances of boron carbide reinforced Al6061 aluminum alloy produced by powder metallurgy," *Composites Part B: Engineering*, vol. 148, pp. 68-80, 2018.
- [25] H. Karakoç, İ. Ovalı, S. Dünder, and R. Çıtak, "Wear and mechanical properties of Al6061/SiC/B₄C hybrid composites produced with powder metallurgy," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 8, no. 6, pp. 5348-5361, 2019.
- [26] M. S. Surya, "Effect of SiC weight percentage and sintering duration on microstructural and mechanical behaviour of Al6061/SiC composites produced by powder metallurgy technique," *Silicon*, 2021, doi: <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01053-z>.
- [27] H. P. Kumar, and M. A. Xavier, "Effect of graphene addition on flexural properties of al 6061 nano composites," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 8, pp. 8127-8133, 2017.
- [28] S. A. Bhaskar Raju, A. R. K. Swamy, A. Ramesha, "Mechanical characterization of Al6061-tungsten carbide composites using powder metallurgy technique," *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, vol. 4, no.7, pp. 325-331, 2019.
- [29] S. Pournaderi, and F. Akhlaghi, "Wear behaviour of Al6061-Al₂O₃ composites produced by in-situ powder metallurgy," *Powder Technology*, vol. 313, pp. 184-190, 2017.
- [30] S. Y. Yu, H. Ishii, K. Tohgo, Y. T. Cho and D. Diao, "Temperature dependence of sliding wear behavior in SiC whisker or SiC particulate reinforced 6061 aluminum alloy composite," *Wear*, vol. 213, no. 1-2, pp. 21-28, 1997.
- [31] A. M. Al-Qutub, I. M. Allam, and T. W. Qureshi, "Effect of sub-micron Al₂O₃ concentration on dry wear properties of 6061 aluminum based composite," *Journal of Material Processing Technology*, vol. 172, no. 3, pp. 327-331, 2006.

- [32] C. M. A. Partheeban, M. Rajendran, S. C. Vettivel, S. Suresh, and J. B. Raj, "Wear behaviour of nano graphite reinforced Al6061-10TiB₂ hybrid composite using powder metallurgy," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 2, pp. 2761-2770, 2015.
- [33] M. Khan, R. U. Din, A. Wadood, W. H. Syed, S. Akhtar, R. E. Aune, "Effect of graphene nanoplatelets on the physical and mechanical properties of Al6061 in fabricated and T6 thermal conditions," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 790, pp. 1076-1091, 2019.
- [34] D. Chu, Y. Ma, and T. Penjun, "Bending properties and failure mechanism of continuous W-core-SiC fiber-reinforced 2024 and 6061 aluminum matrix composites," *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 29, no. 10, pp. 6295-6306, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Türkiye’de Üretilen Elektrikli ve İçten Yanmalı Motorlu Araçların Karşılaştırmalı Çevresel Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi

 Fehmi Görkem ÜÇTUĞ^{a,*}

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İzmir Ekonomi Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gorkem.uctug@ieu.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.1001818

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye’de üretilen elektrikli ve benzinle çalışan içten yanmalı motorlu binek otomobillerin çevresel etkileri yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle kıyaslanmıştır. Fonksiyonel birimin aracın kat ettiği 1 kilometrelik mesafe olarak tanımlandığı çalışmada CCaLC yazılımı ve CML2001 yöntemi kullanılmıştır. Karbon ayak izi açısından elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araçlara göre daha çevre dostu olduğunu görülmekle beraber, diğer çevresel etkiler de göz önüne alındığında iki teknoloji arasında ciddi bir fark görülmemiştir. Eşit ağırlıklandırma yoluyla hesaplanan toplam çevresel etki skoruna bakıldığında elektrikli araçların, içten yanmalı motorlu araçlara göre %4 daha yüksek etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Çevresel etkilerin iki temel sebebi olarak otomobil lastikleri ve araçların hareketi için gereken enerji ihtiyacı tespit edilmiştir. 2030 yılında Türkiye’de ön görülen elektrik araç yaygınlaşma hedeflerinin tutturulması halinde ulusal karbon ayak izinin %1,6 oranında düşmesi beklenmektedir. Elektrikli araçların karbon ayak izi dışındaki diğer çevresel etkilerinin azaltılabilmesi için Türkiye’deki şebeke elektriği üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki değerlendirme, elektrikli araç, içten yanmalı motorlu araç, karbon ayak izi, yaşam döngüsü değerlendirme

Environmental Life Cycle Assessment of Electric Vehicles and Internal Combustion Engine Vehicles Manufactured in Turkey

ABSTRACT

In this study the environmental impacts of electric vehicles and internal combustion engine vehicles manufactured in Turkey were compared by using life cycle assessment methodology. The functional unit was chosen as 1 kilometre of distance covered by the vehicle. CCaLC software alongside CML 2001 method was used. The results show that while electric vehicles are the more environmentally friendly option as far as carbon footprint is concerned, there is no major difference between the technologies when other environmental impacts are also taken into account.. The overall impact scores calculated by assigning equal weights to the impacts revealed that electric vehicles have 4% higher environmental impact than internal combustion engine vehicles. The main cause of environmental impacts turned out to be automobile tires and the energy required for vehicle movement. If the targets for the proliferation of electric vehicles in Turkey are reached by 2030, the nation-wide carbon footprint of the country is expected to decrease by 1.6%. It was determined that the share of renewables in Turkish grid electricity production shall be increased if the environmental impacts of electric vehicle utilization is to be reduced.

Keywords: Environmental impact assessment, electric vehicle, internal combustion engine vehicle, carbon footprint, life cycle assessment

I. GİRİŞ

Atmosferdeki CO₂ gazı derişimi son 150 yılda yaklaşık olarak %40 civarında artış göstermiştir [1]. Bu artışın temel sebebi endüstriyel faaliyetler için gereken enerjinin temini için fosil yakıt kullanımudur. CO₂ bir sera gazı olup, ortalama atmosferik sıcaklıkların yükselmesine ve buna bağlı iklim değişikliğine sebebiyet vermekte; iklim değişikliğinin de tarımsal üretim, gıda temini, yerleşim, turizm gibi pek çok sektöre çeşitli olumsuz etkileri olacağı ön görülmektedir [2]. Ulaşım sektörünün toplam küresel karbon salımının yaklaşık %23'ünden sorumlu olduğu tespit edilmiş iken [3] Türkiye için bu değer %19 olarak raporlanmıştır [4]. Ulaşım kaynaklı karbon salımlarının yaklaşık %73'ü kara ulaşımından gelmektedir [5]. Dolayısıyla son yıllarda kara ulaşımı için çevresel etkisi daha düşük olduğu iddia edilen elektrikli, hibrit veya hidrojenli araçlara olan ilgide artış gözlenmektedir [6]. Ancak kara ulaşımı için farklı araç teknolojileri çevresel açıdan kıyaslanırken, aracın çalışması esnasında atmosfere salınan “doğrudan CO₂” yerine, araçların üretimi, nakliyesi, kullanımı ve bertarafı esnasında oluşan çevresel etkilerin yaşam döngüsü bakış açısıyla bütünleşik olarak ele alınması daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Literatürde bu konuda yapılan çalışmalara baktığımızda birçok ülkede farklı araç teknolojilerinin çevresel etkileri açısından karşılaştırmasına yönelik çalışmalar yürütüldüğü göze çarpmaktadır [7]. Brezilya'da yapılan bir araştırmada farklı yakıtlarla (benzin, etanol, benzin-etanol karışımı) çalışan içten yanmalı motorlu araçların (İYMA), hibrit motorlu araçların ve elektrikli araçların (EA) çevresel etkileri yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemiyle kıyaslanmıştır [8]. Çalışmada ilginç sonuçlar elde edilmiştir. Asitleşme, ötrofikasyon ve fotokimyasal oksidasyon kategorilerinde en yüksek etki değerleri etanol ile çalışan içten yanmalı motora ait olurken, abiyotik ve fosil kaynak tüketimi ile küresel ısınma potansiyeli kategorilerinde en yüksek etki değerleri benzinle çalışan içten yanmalı motorlarda gözlenmiştir. İnsan toksisite potansiyeli kategorisinde ise elektrikli araçlar en yüksek değere sahip olmuştur. Çeşitli etkilere eşit ağırlıklara verilerek hesaplanan toplam çevresel etki değerleri kıyaslandığında, elektrikli araçların çevresel etkisinin diğer seçeneklere kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Litvanya'daki bir çalışmada ise dizel ve benzinle çalışan araçlar ile elektrikli araçların yaşam döngüsü temelli çevresel etki kıyaslanması gerçekleştirilmiştir [9]. Beşikten mezara (cradle-to-grave) yaklaşımının benimsendiği çalışmada elektrikli araçların sera gazı salım değerleri, benzinle ve dizelle çalışan içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla sırasıyla %26 ve %47 oranında daha düşük çıkmıştır. Ayrıca söz konusu çalışmada, çevresel etkilerin araçların üretiminin ve kullanımının gerçekleştiği ülkedeki şebeke elektriğinin çevresel etkilerinden ciddi şekilde etkilendiği de ifade edilmiştir. Polonya ve Çekya'dan araştırmacıların ortaklığında gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise, yine elektrikli araçlar ile içten yanmalı motorlu araçların çevresel etkileri yaşam döngüsü yaklaşımıyla karşılaştırılmıştır [10]. Çalışmada, sera gazı salımı ve fosil yakıt tüketimi kategorilerinde elektrik araçların daha düşük çevresel etkiye sahip olduğu tespit edilirken, asitleşme, ötrofikasyon, insan toksisitesi ve parçacık madde oluşumu kategorilerinde ise elektrikli araçların daha yüksek çevresel etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Farklı ülkelerden araştırmacıların işbirliğiyle gerçekleştirilen ve Kanada'yı ele alan bir araştırmada ise benzinle, dizelle, sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ile, sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) ile, hidrojen ve amonyak ile çalışan içten yanmalı motorlu araçlar ile, hibrit ve %100 elektrikli araçların çevresel etkileri yaşam döngüsü yöntemiyle kıyaslanmıştır [11]. Sonuçlar incelediğinde elektrikli ve hibrit araçların özellikle insan toksisitesi, asitleşme ve ekotoksisite kategorilerinde diğer seçenekle kıyasla yüksek çevresel etkilere sahip olduğu görülmüştür. Toplam çevresel etkiler kıyaslandığına en düşük etki skoru hidrojenli araçlara ait olarak tespit edilmiştir. İtalya'yı ele alan bir araştırmada benzinle çalışan içten yanmalı motorlu araçlarla elektrikli araçların yaşam boyu çevresel etkileri kıyaslanmış [12], ve önceki araştırmalara benzer bir şekilde karbon salımı açısından elektrikli araçlar daha çevre dostu teknoloji olarak ön plana çıkarken, asitleşme, insan toksisitesi, parçacık madde oluşumu, fotokimyasal ozon oluşumu gibi etkilerde benzinli araçlar daha düşük değerlere sahip olmuştur. Çin'de yapılan bir çalışmada içten motorlu taşıtlar ile hibrit ve elektrikli araçların çevresel etkileri yaşam döngüsü yöntemiyle kıyaslanmıştır [13]. Özellikle parçacık madde ve SO₂ salımlarının hibrit ve elektrikli araçlar için oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmaya ait ilginç başka bir bulgu ise, gelecekte Çin'deki şebeke elektriğindeki yenilenebilir kaynakların payı artsa bile, elektrikli araçların belli yönlerden hâlâ içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha fazla çevresel etkiye sahip olacağına ilişkin ortaya konmasıdır. Son olarak, İspanya'da yapılan bir çalışmada da

içten motorlu taşıtlar ile hibrit ve elektrikli araçların çevresel etkileri yaşam döngüsü yöntemiyle kıyaslanmıştır [14]. Diğer pek çok çalışmanın aksine beşikten mezara yaklaşımının benimsendiği araştırmada, önceki çalışmalara benzer biçimde karbon ayak izi açısından elektrikli araçlar daha çevre dostu olarak ön plana çıkarken, diğer çevresel etkilerin çoğunda elektrikli araçların daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir.

Literatürde bu konu ile ilgili Türkiye özelinde yapılan çalışmalar ele alındığında Türkiye koşullarında üretilen farklı teknolojiye sahip araçların çevresel etkilerinin yaşam döngüsü yöntemiyle kıyaslandığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. “Türkiye, elektrikli araç, hibrit araç, yaşam döngüsü değerlendirmesi, karbon ayak izi, çevresel etki” gibi anahtar kelimelerin Türkçe ve İngilizce olarak çeşitli bilimsel veri tabanlarında aratılması sonucunda bu alanda yapılmış bir çalışma tespit edilmemiştir. Benzer içeriğe sahip ve Türkiye’yi ele alan çalışmalar incelendiğinde, Türkiye’de ve dünyada ulaşım sektörü kaynaklı karbon ayak izi değerlerinin listelendiği bir derleme çalışması [15]; Türkiye’de 2050 yılı itibariyle ulaşım sektöründen kaynaklanacak karbon salımlarının modellendiği ancak araç üretim envanterini ele alan bir yaşam döngüsü yaklaşımı yerine salım faktörlerinin kullanıldığı bir çalışma [16]; Türkiye’deki bütün binek araçların elektrikli olması durumunda karbon salımlarında sağlanacak azalmanın, yine salım faktörleri kullanılarak hesaplandığı bir çalışma [17]; ve son olarak Türkiye’de elektrikli araçların farklı piyasa hakimiyet senaryoları için ülke çapındaki karbon ayak izi değişimini, yine salım faktörleri esas alınarak hesaplandığı bir çalışma [18] tespit edilmiştir. Bu çalışmaların tümü son derece kıymetli ve literatüre katkı veren önemli eserler olmakla birlikte, salım faktörleri dolaylı değil doğrudan salımları ele aldığı ve Türkiye koşullarını yansıtmadığı için maalesef raporlanan değerlerin temsil kabiliyeti sınırlıdır.

Bu çalışmada Türkiye koşullarında üretilen içten yanmalı motorlu ve elektrikli binek araçların çevresel yaşam döngüsü incelemesi gerçekleştirilmiş ve çeşitli çevresel etkileri kıyaslanmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmesi çalışmalarında yöntemsel olarak bir özgünlük söz konusu değildir, çünkü yöntem belli standartlara dayanmaktadır. Dolayısıyla bu alandaki bilimsel çalışmaların özgünlüğü incelenen ürün, proses veya hizmet; ya da bu ürün, proses veya hizmetin gerçekleştiği konum açısından irdelenmektedir. Yukarıda açıklanan gerekçelerden ötürü bu çalışmanın Türkiye koşullarında üretilecek elektrikli araçların çevresel yaşam döngüsü değerlendirmesini ele alan ilk çalışma olması itibariyle kendi alanında öncü olma özelliğini taşıdığı ve dolayısıyla özgün olduğu sonucuna varılmıştır.

II. YÖNTEM

Bu kısımda yaşam döngüsü değerlendirmesi yönteminin amacı, kapsamı, hangi etkilerin incelendiği, yapılan varsayımlar, içten yanmalı motorlu ve elektrikli araçların yaşam döngüsü envanteri, kullanılan veri kaynakları ve çalışmanın yürütüldüğü yazılım ile ilgili bilgiler mevcuttur.

A. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmanın amacı Türkiye koşullarında üretilen benzinle çalışan içten yanmalı motorlu binek araç ile aynı klasmandaki elektrikli aracın çevresel etkilerini, yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemiyle kıyaslamaktır. Çalışmada aşağıdaki aşamalar göz önüne alınmış ve “beşikten mezara” yaklaşımı benimsenmiştir:

- a) Ham madde tedarigi
- b) Üretim ve montaj
- c) Nakliye
- d) Kullanım
- e) Bertaraf

Elektrikli araçların şarj edilmesi için gereken ulusal altyapının oluşturulması sistem sınırları içerisine dahil edilmemiştir. Çalışmanın sınırları Şekil 1’de özetlenmektedir.

B. YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRMESİ YÖNTEMİ

Yaşam döngüsü değerlendirmesi bir ürün, proses ya da hizmet için kullanılan enerji, ham madde ve bundan dolayı oluşan atık ve emisyonların çevresel etkilerini hesaplamakta kullanılan ve ISO 14040 ile ISO 14044 standartlarına göre yürütülen bir yöntemdir [19, 20]. Bu çalışmada, CCaLC isimli ve Manchester Üniversitesi'nde geliştirilen bir yazılım [21], CML2001 yöntemiyle [22] kullanılmış, arka plandaki veriler Ecoinvent2 veri tabanından elde edilmiştir. Fonksiyonel birim, araçların ömürleri boyunca sebep oldukları çevresel etki, kat ettikleri 1 kilometre (km) mesafe cinsinden ifade edilecek şekilde seçilmiştir. Bir başka deyişle, araçların üretimi için gereken ham maddeden başlayıp kullanımları sonunda bertaraflarına kadar olan bütün süreçlerdeki çevresel etki değerleri hesaplandıktan sonra, araçların ömürleri boyunca kat ettikleri toplam kilometre değerine bölünmüş ve km başına etki değerleri raporlanmıştır. Aşağıdaki çevresel etkiler göz önüne alınmıştır:

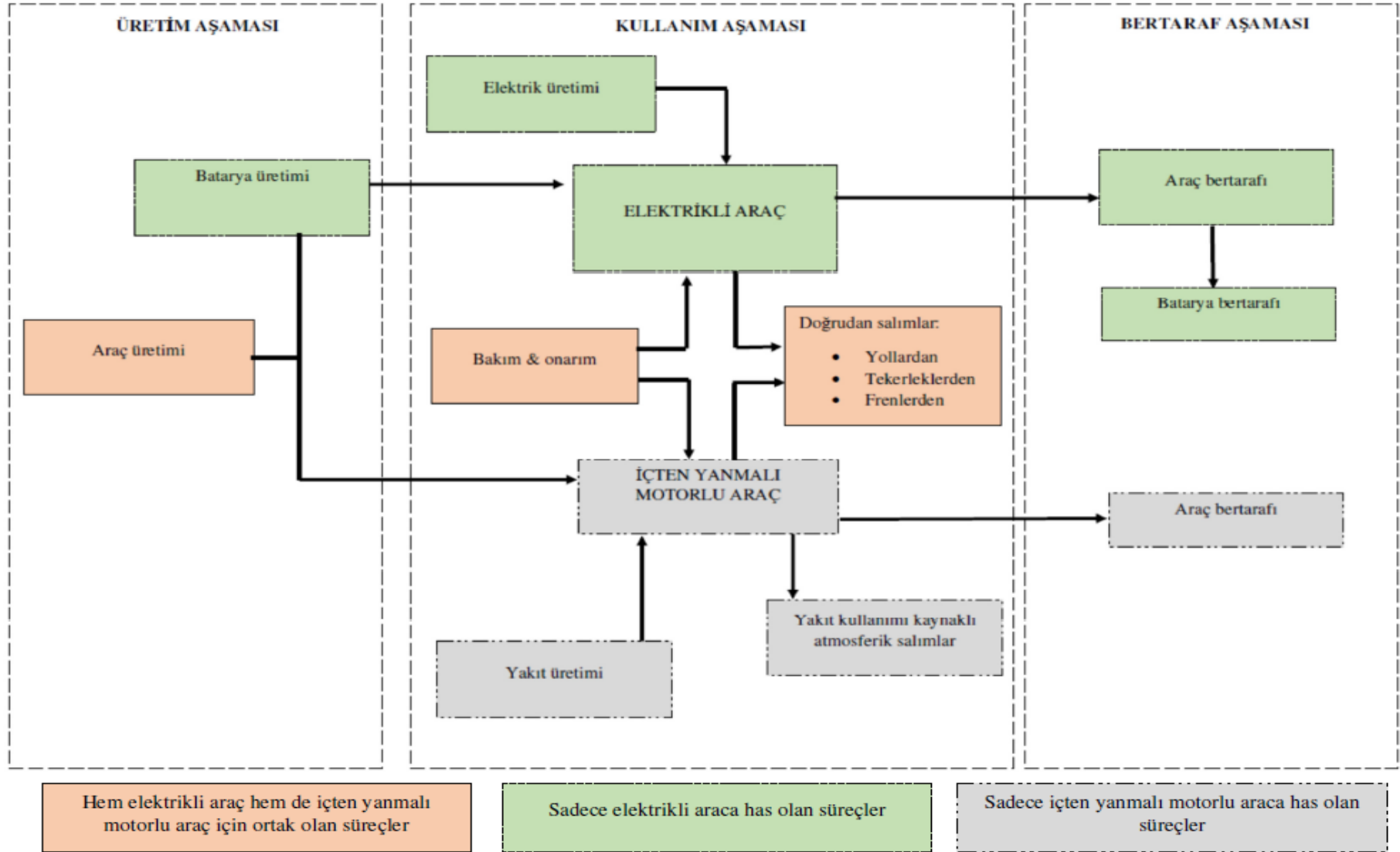
- i) Karbon ayak izi (carbon footprint – CF)
- ii) Asitleşme potansiyeli (acidification potential – AP)
- iii) Ötrofikasyon potansiyeli (eutrophication potential – EP)
- iv) Ozon tabakası incelme potansiyeli (ozone layer depletion potential - OLDP)
- v) Fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli (photochemical ozone creation potential – POCP)
- vi) İnsan toksisite potansiyeli (human toxicity potential – HTP)

Yukarıda listelenen çevresel etkiler ile ilgili daha ayrıntılı bilgi başka bir kaynaktan elde edilebilir [23].

C. YAŞAM DÖNGÜSÜ ENVANTERİ

Daha önce de bahsedildiği gibi, yaşam döngüsü envanteri oluşturulurken ham madde üretimi, araç üretimi ve montajı, ara ürün ve son ürün nakliyesi, kullanım ve bertaraf aşamaları göz önüne alınmış, bir başka deyişle “beşikten mezara” yaklaşımı benimsenmiştir. Yaşam döngüsü envanteri kurulurken ve yaşam döngüsü modeli oluşturulurken yapılan varsayımlar şu şekildedir:

- Sedan tipi binek arabası tercih edilmiştir (tahmini araç boyutları: 4,5m × 1,8m × 1,5m; tahmini araç ağırlığı 1,5 ton)
- Benzinle çalışan içten yanmalı motorlu aracın ömrü 20 yıl ve 400.000 km; elektrikli aracın ömrü ise 15 yıl ve 300.000 km olarak kabul edilmiştir [24]. Bu varsayımlardan da anlaşılacağı gibi, her iki aracın da yıllık kullanımı 20.000 km olarak kabul edilmiştir.
- Otomobil lastiklerinin ömrü yaklaşık 65.000 km olarak kabul edilmiştir. Bu varsayıma göre toplam araç ömürleri boyunca içten yanmalı motorlu araçta 6, elektrikli araçta ise 5 set lastik kullanılacağı ön görülmüştür.
- İçten yanmalı motorlu aracın ortalama yakıt tüketimi 5,6 L/100 km; elektrikli aracın ortalama enerji tüketimi ise 10 kWh/100 km olarak kabul edilmiştir [13]. • Her iki araca ait bütün parçaların, elektrikli araç bataryası hariç, Türkiye’de imal edildiği varsayılmaktadır. Elektrikli araç bataryasının ise Çin’den ithal edildiği kabul edilmiştir.
- Bertaraf aşamasında kullanılan geri dönüşüm oranı, Türkiye’nin ortalama geri dönüşüm oranı olan %7 olarak kabul edilmiştir [25].
- Fabrikada üretimleri tamamlanan otomobillerin satış noktasına nakliyesi için kat edilecek mesafe 200 km olarak varsayılmıştır. Bu değer tamamen rastgele belirlenmiş olup, ulaşım aşamasının çevresel etkilere etki edip etmediğini tespit etmek amacıyla seçilmiştir.
- Yaşam döngüsü envanterinde, Ecoinvent 2 veri tabanında yer almayan iki adet girdi tespit edilmiştir. Bu girdiler kurşun asitli batarya ve otomobil tekerleği olup, bu iki girdi için çevresel etki değerleri literatürden bulunup CCaLC veri tabanına girilmiştir [26, 27].



Şekil 1. Sistem sınırları ve yaşam döngüsü aşamaları

- Envanter kapsamındaki elektrik enerjisi tüketim değerleri yaşam döngüsü modeline girilirken jenerik veri kullanmak yerine Türkiye’de kullanılan şebeke elektriğinin yaşam döngüsü değerlendirmesi yoluyla hesaplanmış çevresel etkilerinin raporlandığı bir makaleden [28] faydalanılmış ve bu makaleden elde edilen değerler, CCaLC veri tabanına girilmiştir. Böylece elde edilen sonuçların Türkiye koşullarını temsil etme kabiliyeti artırılmıştır.

Elektrikli araç ve içten yanmalı motorlu araçlara ait yaşam döngüsü envanterleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de sunulmaktadır. Bu tablolarda sistem girdileri normal punto ile, çıktılar ise italik punto ile belirtilmiştir.

Tablo 1. Elektrikli araç yaşam döngüsü envanteri

Girdi (çıktı)	Birim	Miktar	Ecoinvent proses	Kaynak
ARAÇ ÜRETİMİ				
Alüminyum	kg	74,4	Aluminium (rolled, virgin)	[13]
Alüminyum (geri dönüştürülmüş)	kg	5,6	Aluminium (rolled, 48% recycled)	[13]
Araç tekerleği	adet	20	(kullanıcı tarafından yaratılan proses)	[27]
Lityum iyon batarya	adet	1	Battery, LiIo, rechargeable, prismatic, at plant	[13]
Demir	kg	25	Cast iron, at plant	[13]
Çelik	kg	857	Chromium steel 18/8, at plant	[13]
Bakır	kg	59	Copper sheet	[13]
Cam	kg	44	Flat glass, coated, at plant	[13]
Kurşun asitli batarya	adet	1	(kullanıcı tarafından yaratılan proses)	[26]
Motor yağı	kg	26	Lubricating oil, at plant	[13]
Polipropilen	kg	120	Polypropylene fibers	[13]
Polivinilklorür	kg	30	PVC calendered sheet	[13]
Kauçuk	kg	22	Synthetic rubber, at plant	[13]
Elektrik enerjisi	MJ	4089	(kullanıcı tarafından yaratılan proses)	[28]
Isı enerjisi (kömür)	MJ	3705	Heat, at hard coal industrial furnace 1-10 MW	[13]
Isı enerjisi (doğal gaz)	MJ	5688	Heat, natural gas, at industrial furnace, > 100 kW	[13]
NAKLIYE				
Lityum iyon batarya ithalati (Çin’in Şangay limanından Gebze’ye)	km	17.000	Transport, transoceanic tanker	-
Fabrika çıkışı otomobilin satış noktasına nakliyesi	km	200	Transport, lorry, > 28 ft, fleet average	-
KULLANIM				
Elektrik enerjisi	GJ	108	(kullanıcı tarafından yaratılan proses)	[28]
BERTARAF				
<i>Alüminyum bertaraf</i>	<i>kg</i>	<i>74,4</i>	<i>Disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill</i>	[13]
<i>Çelik geri dönüşümü</i>	<i>kg</i>	<i>58</i>	<i>Disposal, building, reinforcement steel, to recycling</i>	[13]
<i>Kauçuk bertaraf</i>	<i>kg</i>	<i>202^(*)</i>	<i>Disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration</i>	[13]
<i>Metal bertaraf</i>	<i>kg</i>	<i>847</i>	<i>Landfill – ferro metals</i>	[13]
<i>Cam bertaraf</i>	<i>kg</i>	<i>44</i>	<i>Landfill – glass/inert matter</i>	[13]
<i>Plastik bertaraf</i>	<i>kg</i>	<i>140</i>	<i>Landfill - plastic</i>	[13]
<i>Plastik geri dönüşüm</i>	<i>kg</i>	<i>11</i>	<i>Recycling, PE</i>	[13]
<i>Batarya bertaraf</i>	<i>kg</i>	<i>300^(**)</i>	<i>Shredding, electrical and electronic scrap</i>	[13]

(*) Bertaraf edilen kauçuk miktarına otomobil lastikleri de dahil edildiği için sisteme giren ve sistemden çıkan kauçuk miktarları aynı olmuştur.

(**) Bataryalar sisteme adet olarak girilmiş ancak daha sonra kütle karşılıkları bulunarak [13, 26] bertarafı bu değerler üzerinden modellenmiştir.

Tablo 2. İçten yanmalı motorlu araç yaşam döngüsü envanteri

Girdi (çıktı)	Birim	Miktar	Ecoinvent proses	Kaynak
ARAÇ ÜRETİMİ				
Alüminyum	kg	81	Aluminium (rolled, virgin)	[13]
Alüminyum (geri dönüştürülmüş)	kg	6	Aluminium (rolled, 48% recycled)	[13]
Araç tekerleği	adet	24	(kullanıcı tarafından yaratılan proses)	[27]
Demir	kg	139	Cast iron, at plant	[13]
Çelik	kg	793	Chromium steel 18/8, at plant	[13]
Bakır	kg	24	Copper sheet	[13]
Cam	kg	37	Flat glass, coated, at plant	[13]
Kurşun asitli batarya	adet	1	(kullanıcı tarafından yaratılan proses)	[26]
Motor yağı	kg	26	Lubricating oil, at plant	[13]
Polipropilen	kg	112	Polypropylene fibers	[13]
Polivinilklorür	kg	29	PVC calendered sheet	[13]
Kauçuk	kg	29	Synthetic rubber, at plant	[13]
Elektrik enerjisi	MJ	4180	(kullanıcı tarafından yaratılan proses)	[28]
Isı enerjisi (kömür)	MJ	3788	Heat, at hard coal industrial furnace 1-10 MW	[13]
Isı enerjisi (doğal gaz)	MJ	5816	Heat, natural gas, at industrial furnace, > 100 kW	[13]
NAKLİYE				
Fabrika çıkışı otomobilin satış noktasına nakliyesi	km	200	Transport, lorry, > 28 ft, fleet average	-
KULLANIM				
Benzin	kg	16.600	Gasoline	[13]
Atmosfere uçucu organik bileşik salımı	kg	69,7	Benzene emissions to air	[13]
Atmosfere karbondioksit salımı	kg	49.700	CO ₂ emissions to air	[13]
Atmosfere azot oksit salımı	kg	15,9	Nitrogen oxides (as NO ₂) emissions to air	[13]
Atmosfere sülfürdioksit salımı	kg	19,8	Sulphur dioxide emissions to air	[13]
BERTARAF				
Alüminyum bertaraf	kg	81	Disposal, aluminium, 0% water, to sanitary landfill	[13]
Çelik geri dönüşümü	kg	55,5	Disposal, building, reinforcement steel, to recycling	[13]
Kauçuk bertaraf	kg	245 ^(*)	Disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration	[13]
Metal bertaraf	kg	900	Landfill – ferro metals	[13]
Cam bertaraf	kg	37	Landfill – glass/inert matter	[13]
Plastik bertaraf	kg	131	Landfill - plastic	[13]
Plastik geri dönüşüm	kg	10	Recycling, PE	[13]
Batarya bertaraf	kg	15 ^(**)	Shredding, electrical and electronic scrap	[13]

(*) Bertaraf edilen kauçuk miktarına otomobil lastikleri de dahil edildiği için sisteme giren ve sistemden çıkan kauçuk miktarları aynı olmamıştır.

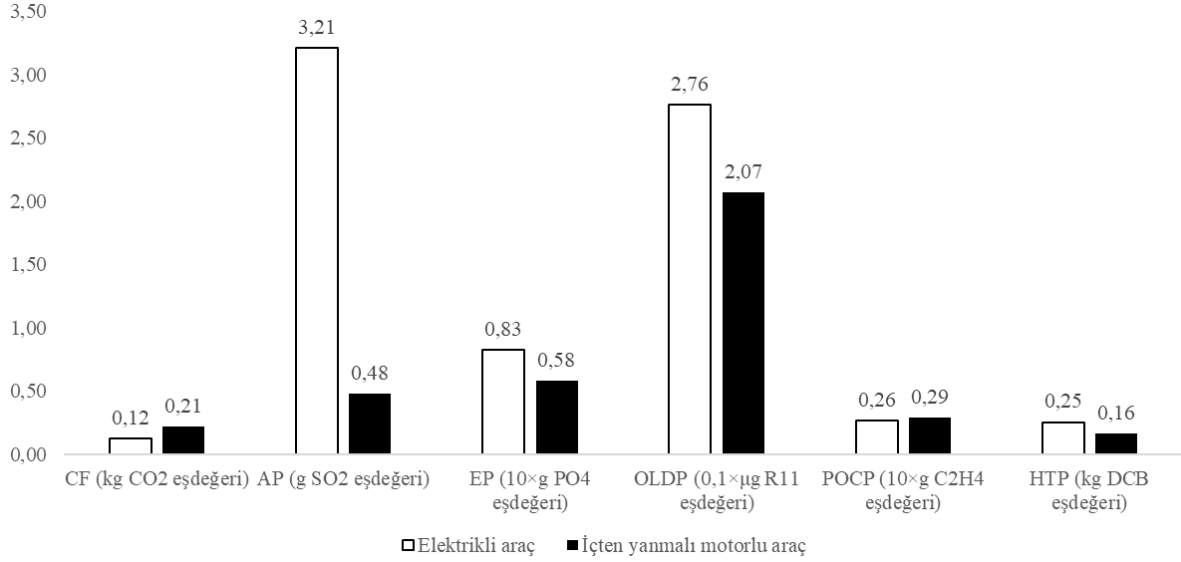
(**) Batarya sisteme adet olarak girilmiş ancak daha sonra kütle karşılığı bulunarak [26] bertaraf bu değer üzerinden modellenmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu kısımda ilk olarak elektrikli araç ve içten yanmalı motorlu araçların çevresel etkileri teker teker incelenecektir. Ardından iki teknolojinin toplam çevresel etkileri kıyaslanacaktır. Akabinde elektrikli araçların Türkiye genelinde yaygınlaşmasının Türkiye'nin ulusal karbon ayak izini nasıl etkileyeceği tartışılacaktır. Son olarak, literatürde yayınlar ile bu yayının sonuçları kıyaslanarak validasyon sağlanacaktır.

A. ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLERİ

Şekil 2’de görülebileceği gibi, Türkiye’de üretilen elektrikli araç ve içten yanmalı motorlu aracın çevresel etkileri, yurtdışındaki çalışmalarda elde edilen sonuçlara büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Karbon ayak izi açısından elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlara kıyasla daha düşük etkiye sahip olmakla birlikte, diğer beş etki değerinin dördünde elektrikli araçların daha yüksek skorlara sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Türkiye’de üretilen elektrikli araç ve içten yanmalı motorlu araçların yaşam boyu çevresel etkileri

Elektrikli araç ile ilgili yaşam döngüsü aşamalarını incelediğimizde ortalama olarak en yüksek payın %52,7 ile ham madde tedariği ve %43,9 ile kullanım ve bertaraf aşamalarına ait olduğunu görüyoruz. Üretim aşamasının ortalama payı %3,2’de kalırken nakliye aşamasının payı yalnızca %0,2 olarak tespit edilmiştir. Elektrikli araçların çevresel etkilerinin temel sebepleri incelendiğinde ise ilk iki sırayı aracın kullanımı esnasında tükettiği elektrik ve otomobil lastiklerinin aldığını görmekteyiz. Öyle ki toplam karbon ayak izinin %82’si, toplam asitleşme potansiyelinin %94’ü, toplam ötrofikasyon potansiyelinin %63’ü, toplam ozon tabakası incelme potansiyelinin %93’ü ve toplam fotokimyasal duman oluşumu potansiyelinin %75’i bu iki girdiden kaynaklanmaktadır. Sadece insan toksisite potansiyelinde en yüksek pay araba üretiminde kullanılan çeliğe aittir. Otomobil lastikleri mevcut durum itibariyle alternatif olmayan bir girdi olduğu için elektrikli araçların çevresel etkilerini azaltabilmenin temel yolunun kullanım esnasındaki tükettikleri elektriğin çevresel etkisini azaltmaktan geçtiği aşikardır. Türkiye’de 2020 yılı itibariyle yıllık elektrik üretiminin yaklaşık %57,6’sı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır [29]. Özellikle Türkiye’deki yerel linyit düşük kalitesi sebebiyle başta SO₂ olmak üzere birçok doğrudan salıma yok açmaktadır. Bu da Türkiye’de şebeke elektriğinin çevresel etkilerinin, başta asitleşme potansiyeli olmak üzere, göreceli olarak yüksek olmasının temel sebebidir [23].

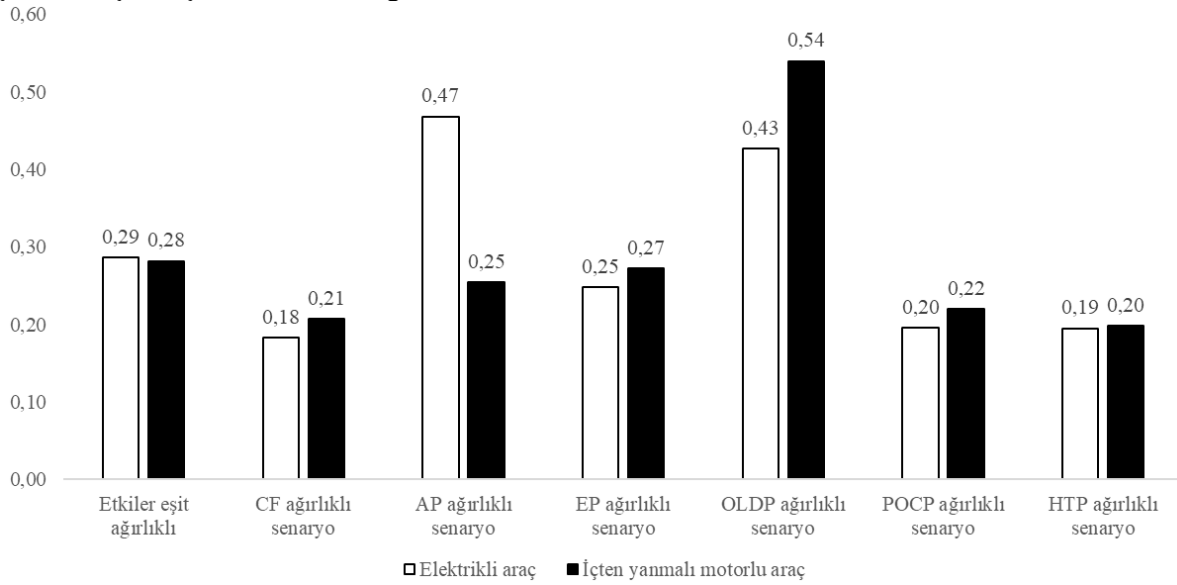
Benzer bir incelemeyi içten yanmalı motorlu araç için gerçekleştirdiğimizde ise ham madde tedariğinin ortalama payının %84,3, üretim aşamasının ortalama payının %5,2, kullanım ve bertaraf aşamalarının ortalama payının %10,2 ve son olarak nakliye aşamasının ortalama payının ise %0,3 olarak bulunduğu görülmektedir. İçten yanmalı motorlu araçların çevresel etkisinin temel sebebi yine benzer şekilde otomobil lastikleri ve aracın enerji kaynağı olan benzin olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak elektrikli araçlardan farklı olarak içten yanmalı motorun enerji ihtiyacının karşılanması hem doğrudan hem de dolaylı salımlara yol açmaktadır. Öyle ki karbon ayak izinin %58’i, fotokimyasal duman oluşumu potansiyelinin %59’u ve insan toksisite potansiyelinin %68’i sadece aracın kullanım anındaki doğrudan salımlardan kaynaklanmaktadır. Benzin üretimi esnasında gerçekleşen dolaylı salımlar ise karbon ayak izinin %13’üne, asitleşme potansiyelinin %29’una, fotokimyasal duman oluşumu potansiyelinin %34’üne denk gelmektedir. Bu durum bize eğer içten yanmalı motorlu araçların yaygın kullanımı devam

edecek ise, çevresel etkilerini azaltmak için Brezilya örneğinde olduğu gibi benzin+biyoetanol karışımı içeren özel yakıtların kullanımının teşvik edilmesinin bir seçenek olabileceğini göstermektedir [8].

B. TOPLAM ÇEVRESEL ETKİ

Toplam çevresel etki hesaplanırken ilk aşama bütün çevresel etki skorlarının normalize edilerek 0 ile 1 arasında değerlere getirilmesidir [30]. Akabinde ise iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Öncelikle bütün çevresel etkilere eşit ağırlıklar ($1/6 = 0,166$) vererek toplam etki değeri hesaplanmış; ardından ise bir etki değerinin 0,5, diğerlerinin ise 0,1 ağırlık değerine sahip olduğu özel senaryolar incelenmiştir. Bu senaryolar sonucu elde edilen toplam çevresel etki değerleri Şekil 3’de sunulmaktadır.

Şekil 3’te sonuçların ilgi çekici olduğu aşıkardır. Asitleşme potansiyeli ve ozon tabakası incelleme potansiyelinin ağırlıklı olduğu senaryolar hariç bütün senaryolarda elektrikli araçlar ile içten yanmalı motorlu araçların çevresel etkileri neredeyse eşit olarak elde edilmiştir. Karbon ayak izi ağırlıklı senaryoda az da olsa elektrikli araçların; asitleşme potansiyeli ağırlıklı ve ozon tabakası incelleme potansiyeli ağırlıklı senaryolarda ise içten yanmalı motorlu araçların toplam çevresel etkisi diğer alternatiflere kıyasla düşük çıkmıştır. Etkilerin eşit ağırlıklı olduğu senaryoda, çok az farkla da olsa, içten yanmalı motorların daha düşük etki değerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum bize şunu göstermektedir: Eğer çevresel etkiler, küresel ölçekte çoğunlukla tercih edildiği üzere karbon ayak izi üzerinden tanımlanırsa elektrikli araçlar daha çevre dostu alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak diğer çevresel etkiler de göz önüne alındığı zaman iki teknolojinin, en azından Türkiye özelinde, çevresel açıdan çok farklı olmadığı ortadadır.



Şekil 3. Türkiye’de üretilen elektrikli araç ve içten yanmalı motorlu araçların toplam çevresel etkileri

C. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN YAYGINLAŞMASININ TÜRKİYE’NİN ULUSAL KARBON AYAK İZİNE ETKİSİ

III.A numaralı bölümde belirtildiği üzere elektrikli araçların kilometre başına karbon ayak izi değeri 0,12 kgCO₂eşdeğeri iken içten yanmalı motorlarda bu değer 0,21 kgCO₂eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Bir başka deyişle, iki teknoloji arasında araç ve kilometre başına 0,09 kgCO₂eşdeğeri bir fark mevcuttur. Literatür incelendiğinde Türkiye’nin yıllık toplam karbon ayak izinin yaklaşık 442,8 Mton CO₂eşdeğeri olarak raporlandığını görmekteyiz [31]. Türkiye’de trafikte olan binek araç sayısı ise yaklaşık 13.111.000 olarak belirtilmiştir [32]. Bu sayılardan yola çıkarak Türkiye’de elektrikli araçların yaygınlaşmasının ülke çapındaki karbon ayak izine etkisi hesaplanabilir. Öncelikle Türkiye genelinde elektrikli araçların ne hızla yaygınlaşacağını varsayılması gerekmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre 2030 yılına gelindiğinde Türkiye’de trafikteki her üç binek otomobilinden bir tanesi elektrikli olacaktır

[33]. 2021-2030 arası nüfus artışını ihmal edecek olursak, trafikteki elektrikli araç sayısı yaklaşık $13.111.000 \times 0,3 = 3.933.000$ olarak bulunabilir. Bu araçların her birinin yıllık kat edeceği mesafeyi de daha önceki kısımlarda belirtildiği gibi 20.000 km kabul edersek, elektrikli araçların kullanımı kaynaklı karbon ayak izi değişimi aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$(0,09 \text{ kgCO}_2/\text{araç.km}) \times (3.933.000 \text{ araç}) \times (20.000 \text{ km/yıl}) \times (1 \text{ Mton}/109 \text{ kg}) = 7,08 \text{ MtonCO}_2\text{eşdeğeri} \quad (1)$$

Eşt. 1'den yola çıkarak Türkiye'de elektrikli araçların yaygınlaşmasının ülkedeki toplam yıllık karbon ayak izini $(7,08 / 442,8) \times 100\% = \%1,6$ azaltacağı sonucuna varılabilir. Bununla beraber diğer çevresel etkilerde bir artış yaşanacağı da düşünülebilir. Türkiye'de önümüzdeki yıllarda elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artacağı ve nükleer santrallerinde devreye gireceği göz önüne alınırsa Türkiye'nin şebeke elektriğinin çevresel etkilerinin azalacağı varsaymak yanlış olmaz. Bu durumda elektrikli araçlara yaşanacak geçişten kaynaklı çevresel etki düşüşü, bu çalışmada ön görülenden daha da yüksek olacaktır.

D. LİTERATÜRDEKİ DİĞER ÇALIŞMALAR İLE KARŞILAŞTIRMA

Türkiye'deki elektrikli araçlar ile yurtdışında üretilen araçların çevresel etkilerini kıyaslamak için yurtdışında gerçekleştirilen benzer çalışmalar incelenmiş ve Tablo 3'te sunulan veriler elde edilmiştir. Bu aşamada belirtmek gerekir ki farklı çalışmalar arasında kıyaslama yapılabilmesi için çalışmaların fonksiyonel birimlerinin aynı şekilde tanımlanmış veya kolayca dönüştürülebilir olması gerekir. Fonksiyonel birimlerin bu çalışmadakinden farklı şekilde tanımlandığı çalışmalar maalesef Tablo 3'e dahil edilememiştir. Bu sebeple I.Bölüm'de ele alınan bazı eserler Tablo 3'te mevcut değildir.

Literatüre incelendiği zaman bu çalışmada elde edilen değerler ile literatürdeki değerlerin büyük ölçüde tutarlı olduğu görülmektedir. Bu da, çalışmada kullanılan yöntemin ve yapılan varsayımlarının geçerliliğini teyit etmektedir. Daha spesifik bir örnek verecek olursak, Tablo 3'te yer alan altı adet referans çalışmanın hepsinde hesaplanmış olan karbon ayak izi değerlerinin ortalaması elektrikli araç için $0,17 \text{ kgCO}_2\text{eşdeğeri}$; içten yanmalı motorlu araç için ise $0,23 \text{ kgCO}_2\text{eşdeğeri}$ olarak bulunmuştur. Türkiye özelinde bu değerler ise sırasıyla $0,12$ ve $0,21$ olarak hesaplanmıştır.

Diğer ülkelerde elde edilen değerler ile Türkiye'dekileri kıyasladığımızda Polonya hariç ülkelerdeki çevresel etki değerlerinin Türkiye'ye kıyasla genellikle daha düşük olduğunu görmekteyiz. Bu durum, elektrikli araç veya içten yanmalı motorlu araç üretimi ya da kullanımı ile ilgili olmaktan ziyade ülkelerin elektrik üretimlerinin çevresel etkileriyle ilintilidir. Polonya da Türkiye gibi elektrik üretiminde fosil yakıtlara ağırlık veren bir ülke olduğu için çevresel etki değerleri yüksek çıkmaktadır. Bu durum, Türkiye'nin karbon ayak izi başta olmak üzere çevresel etkilerini düşürmek için öncelik vermesi gereken bir numaralı hususun elektrik üretiminde fosil yakıtların payını azaltıp yenilenebilir enerjini payını artırmak olduğunu bir kez daha göstermektedir.

Tablo 3. Türkiye’de ve diğer ülkelerde üretilen elektrikli araçların ve içten yanmalı motorlu araçların çevresel etkilerinin karşılaştırılması

	Türkiye		İtalya [12]		Brezilya [8]		Polonya [10]		Çekya [10]		İspanya [14]		Litvanya [9]	
	EA	İYMA	EA	İYMA	EA	İYMA	EA	İYMA	EA	İYMA	EA	İYMA	EA	İYMA
CF (kgCO₂eşdeğeri)	0,12	0,21	0,10	0,203	0,16	0,27	0,276	0,284	0,214	0,284	0,12	0,25	0,142	0,105
AP (gSO₂eşdeğeri)	3,21	0,48	-	-	0,235	0,25	1,56	0,71	0,85	0,71	-	-	-	-
EP (10×gPO₄eşdeğeri)	0,83	0,58	-	-	0,36	0,5	3,26	0,53	3,07	0,53	-	-	-	-
OLDP (0,1×µgR11eşdeğeri)	2,76	2,07	-	-	1,0	1,70	-	-	-	-	-	-	-	-
POCP (10×gC₂H₄eşdeğeri)	0,26	0,29	-	-	0,225	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-
HTP (kgDiklorobenzen eşdeğeri)	0,25	0,16	-	-	0,0375	0,016	0,33	0,085	0,31	0,085	-	-	0,077	0,009

IV. SONUC

Bu çalışmada Türkiye koşullarında üretilen elektrikli araç ve içten yanmalı motorlu aracın yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemiyle hesaplanmış çevresel etki değerleri kıyaslanmıştır. Karbon ayak izi söz konusu olduğunda elektrikli aracın, içten yanmalı araca kıyasla yaklaşık %43 daha düşük bir etki skoruna sahip olmasına rağmen toplam etki skorları kıyaslandığında iki teknolojinin neredeyse birebir aynı skora sahip olduğu, hatta elektrikli aracın etkisinin az da olsa daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu, başka ülkelerde yapılan çalışmalarda da karşılaşılan bir durumdur (bkz: Tablo 3). Türkiye'nin ön görülen hedeflerin gerçekleşmesi durumunda elektrikli araç kullanımının yaygınlaşmasından kaynaklı olarak ulusal karbon salımlarını yaklaşık %1,6 oranında düşüreceği tespit edilmiştir.

Bu çalışmadan çıkarılacak iki ana sonuç bulunmaktadır. Birincisi, yaygın kullanımın aksine elektrikli araçların, en azından Türkiye özelinde ve mevcut konjonktür itibarıyla, çevresel etki değerleri içten yanmalı motorlu araçlara göre daha düşük değildir. Eğer "çevresel etki" dendiği zaman kastedilen tek unsur karbon ayak izi olarak düşünülürse elektrikli araçların daha temiz bir teknoloji olduğu söylenebilir. Ancak diğer etkiler de göz önüne alındığında ve bütüncül bir yaklaşım ortaya konduğunda elektrikli araçların daha çevre dostu olduğunu söylemek mümkün görünmemektedir. Çalışmadan çıkarılacak ikinci sonuç ise, elektrikli araçların çevresel etkilerinin, çalıştıkları esnada tükettikleri elektriğin üretildiği kaynaklara büyük ölçüde bağlı olduğudur. Şebeke elektriğinin kendi çevresel etkisinin yüksek olduğu bir durumda, elektrikli araç kullanımının da çevresel etkisi yüksek olmaktadır. Bu sebeple çevresel etki azaltımı sağlamak yönünde atılacak adımların başında elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırmak ve/veya fosil yakıt kaynaklı salımları azaltacak önlemler almak (örneğin termik santrallerde desülfürizasyon ünitesi çalıştırmanın kanunen mecburi hale getirilmesi gibi) gelmektedir.

Bu çalışmayı daha da geliştirmek için halihazırda incelenen altı adet çevresel etkiye ilaveten abiyotik kaynak kullanımı, fosil yakıt kullanımı, arazi kullanımı ve su ayak izi gibi parametrelerin de incelenmesi faydalı olabilir. Çalışmada kullanılan CCalC programı sadece mevcut altı etki değerini hesaplayabildiği için daha kapsamlı bir etki değerlendirme analizi yapmak mümkün olmamıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Iglinski and M. Babiak, "Analysis of the potential of autonomous vehicles in reducing the emissions of greenhouse gases in road transport," *Proced. Eng.*, vol. 192, pp. 353-358, 2017.
- [2] V. Gallina, S. Torresan, A. Critto, A. Sperotto, T. Glade, and A. Marcomini, "A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment," *J. Environ. Manage.*, vol. 168, pp. 123-132, 2016
- [3] V. Georgatzi, Y. Stamboulis, and A. Vetsikas, "Examining the determinants of CO2 emissions caused by the transport sector: Empirical evidence from 12 European countries," *Econ. Anal. Policy*, vol. 65, pp. 11-20, 2020.
- [4] WWF. (2012, 10 Ekim). *Türkiye'nin Ekolojik Ayak İzi Raporu* [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.footprintnetwork.org/content/images/article_uploads/Turkey_Ecological_Footprint_Report_Turkish.pdf.
- [5] L.Trevisan and M. Bordignon, "Screening life cycle assessment to compare CO2 and greenhouse gases emissions of air, road, and rail transport: an exploratory study," *Procedia CIRP*, vol. 90, pp. 303-309, 2020.

- [6] G. Offer, M. Contestabile, D. Howey, R. Clague, and N. Brandon, "Techno-economic and behavioural analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system in the UK," *Energ. Policy*, vol. 39, pp. 1939-1950, 2011.
- [7] S. Verma, G. Dwivedi, and P. Verma, "Life cycle assessment of electric vehicles in comparison to combustion engine vehicles: a review," *Mater. Today Proceedings*, vol. 814, 2022, Art. no. 152870.
- [8] L. de Souza, E. Lora, J. Palacio, M. Rocha, M. Reno, and O. Venturini, "Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil," *J. Cleaner Prod.*, vol. 203, pp. 444-468, 2014.
- [9] K. Petrauskiene, M. Skvarnaviciute, and J. Dvarioniene, "Comparative environmental life cycle assessment of electric and conventional vehicles in Lithuania," *J. Cleaner Prod.*, vol. 246, 2020, Art. no. 119042.
- [10] D. Burchart-Korol, S. Jursova, P. Folega, J. Korol, P. Pustejovksa, and A. Blaut, "Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic," *J. Cleaner Prod.*, vol. 202, pp. 476-487, 2018.
- [11] Y. Biçer and İ. Dinçer, "Life cycle environmental impact assessments and comparisons of alternative fuels for clean vehicles," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 132, pp. 141-157, 2018.
- [12] F. del Pero, M. Delogu, and M. Pierini, "Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of internal combustion engine (ICE) and electric car," *Procedia Struct. Integrity*, vol. 12, pp. 521-537, 2018.
- [13] L. Yang, B. Yu, B. Yang, H. Chen, G. Malima, and Y. Wei, "Life cycle environmental assessment of electric and internal combustion engine vehicles in China," *J. Cleaner Prod.*, vol. 285, 2021, Art. no. 121899.
- [14] G. Naranjo, D. Bolonio, M. Ortega, and M. Garcia-Martinez, "Comparative life cycle assessment of conventional, electric and hybrid passenger vehicles in Spain," *J. Cleaner Prod.*, vol. 192, 2021, Art. no. 125883.
- [15] Y. Bıyık ve G. Civelekoğlu, "Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi," *Bilge Int. J. Sci. Techno. Res.*, c. 2, s. 2, ss. 157-166, 2018
- [16] T. Doğan Güzel and K. Alp, "Modeling of greenhouse gas emissions from the transportation sector in Istanbul by 2050," *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 11, pp. 2190-2201, 2020.
- [17] A. Ustabaş, "Mikro ve makro etkileri yönünden elektrikli otomobiller (Türkiye ekonomisi örneği)," *Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi*, c. 26, s. 1, ss. 269-291, 2014.
- [18] B. Yağcıtekin, M. Uzunoğlu, A.E.O. Karakaş, "Assessment of electrically-driven vehicles in terms of emission impacts and energy requirements: A case study for Istanbul," *J. Cleaner Prod.*, vol. 96, pp. 486-492, 2015.
- [19] *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, ISO 14040, 2006.
- [20] *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*, ISO 14044, 2006.

- [21] Carbon Calculations over the Life Cycle of Industrial Activities (CCaLC), *Bilgisayar Programı*, Manchester (Birleşik Krallık): Manchester Üniversitesi, 2016.
- [22] R. Hirschier and B. Weidama, *Implementation Of Life Cycle Impact Assessment Methods*, St. Gallen, Switzerland: Ecoinvent, July 2010.
- [23] F.G. Üçtuğ, “Stakeholder opinion-based comparison of life cycle environmental impacts of electricity generation in Turkey with selected European countries,” *Anadolu University J. Sci. Technol. A- Appl. Sci. Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 178-198, 2017.
- [24] MYEV. (2019, October 10). *How long should an electric car's battery last?* [Online]. Available: <https://www.myev.com/research/ev-101/how-long-should-an-electric-cars-battery-last#:~:text=Consumer%20Reports%20estimates%20the%20average,driven%2012%2C000%20miles%20per%20year.>
- [25] Yeşiltaylar. (2018, 8 Mayıs). *Geri dönüşüm sektörünün dünyadaki genel görünümü ve Türkiye'deki durumu* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.yesiltaylar.com.tr/tr/blog/geri-donusum-sektorunun-dunyadaki-genel-gorunumu-ve-turkiyedeki-durumu>.
- [26] K. Premrudee, U. Jantima, A. Kittinan, L. Naruetep, K. Kittiwat, and B. Sudkla, “Life cycle assessment of lead acid battery: case study for Thailand,” *Environ. Prot. Eng.*, vol. 39, no. 1, pp. 101-114, 2013.
- [27] Y. Dong, Y. Zhao, U. Hossain, Y. He, and P. Liu, “Life cycle assessment of vehicle tires: A systematic review,” *Cleaner Environ. Syst.*, vol. 2, pp. 100033, 2021.
- [28] B. Atılğan and A. Azapagic, “An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey,” *Energ. Policy*, vol. 93, pp. 168-186, 2016.
- [29] enerjiportali.com. (2021, 10 Ekim). *Türkiye Elektrik Enerjisi Üretim İstatistikleri* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.enerjiportali.com/turkiye-elektrik-enerjisi-uretim-istatistikleri-aralik-2020/>.
- [30] H. Abdi. (2010, October 10). *Normalizing Data* [Online]: Available: <https://personal.utdallas.edu/~herve/abdi-Normalizing2010-pretty.pdf>.
- [31] J. Timperley. (2018, May 3). *The Carbon Brief Profile: Turkey* [Online]. Available: <https://www.carbonbrief.org/carbon-brief-profile-turkey>.
- [32] tuik.gov.tr. (2021, 26 Ocak). *Motorlu Kara Taşıtları 2020* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Aralik-2020-37410>.
- [33] AA. (2020, February 21). *Turkey shows real market potential for electric cars* [Online]. Available: <https://www.aa.com.tr/en/energy/electricity/turkey-shows-real-market-potential-for-electric-cars-/28430>.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Effects of Mn-site doping on the magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.62}\text{Bi}_{0.05}\text{Ca}_{0.33}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ manganite system

Selda KILIÇ ÇETİN^{a,*}, Gönül AKÇA^a, Ahmet EKİCİBİL^a

^a Department of Physics, Faculty of Sciences and Letters, Çukurova University, Adana, TÜRKİYE

* Corresponding author's e-mail address: kilics@cu.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.947801

ABSTRACT

This study reports the effects of Ru element doping in $\text{La}_{0.62}\text{Bi}_{0.05}\text{Ca}_{0.33}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ ($x=0.0, 0.1$ and 0.2) manganite compounds on the magnetocaloric (MC) properties of materials obtained by solid-state method. XRD analysis showed that the samples crystallized in orthorhombic structure (with $Pnma$ space group). The magnetic phase transition temperatures of the samples were determined from the thermomagnetic curves as 221 K for $x = 0.0$ sample and 215 and 206 K for $x = 0.1$ and $x = 0.2$ samples, respectively, under 100 Oe applied field. Arrott plots confirm that the type of magnetic phase transition is second-order phase transition. The $-\Delta S_M^{max}$ values were calculated as 7.55, 3.51 and 2.69 J/kgK for $x = 0.0, 0.1$ and 0.2 samples, respectively. Relative cooling power (RCP) values decrease with Ru doping. It was concluded that the Ru additive had an effect on reducing the transition temperatures and magnetic entropy change values of the samples.

Anahtar Kelimeler: Magnetic entropy change, magnetocaloric effect, magnetic refrigeration, perovskites.

Mn-bölgesi Katkılamanın $\text{La}_{0.62}\text{Bi}_{0.05}\text{Ca}_{0.33}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ Manganit Sisteminin Manyetokalorik Özellikleri Üzerine Etkileri

ÖZ

Bu çalışma katıhal reaksiyon yöntemiyle elde edilen $\text{La}_{0.62}\text{Bi}_{0.05}\text{Ca}_{0.33}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ ($x=0.0, 0.1$ ve 0.2) manganit bileşiklerinde Ru elementi katkısının malzemelerin manyetokalorik özellikleri (MC) üzerindeki etkilerini bildirmektedir. XRD analizi, numunelerin ortorombik ($Pnma$ uzay grubu) yapıda kristalleştiğini göstermiştir. Örneklerin manyetik faz geçiş sıcaklıkları 100 Oe uygulanan alan altında katkısız $x = 0.0$ örneği için 221K, $x = 0.1$ ve $x = 0.2$ örnekleri için sırasıyla 215 ve 207K olarak belirlenmiştir. Arrott eğrileri tüm örneklerin ikinci dereceden faz geçişi sergilediğini doğrulamaktadır. 5 T alan altında $-\Delta S_M^{max}$ değerleri $x = 0.0, 0.1$ ve 0.2 örnekleri için sırasıyla 7.55, 3.51 ve 2.69 J/kgK olarak hesaplanmıştır. Örneklerin göreceli soğutma güç (RCP) değerlerinde bir azalma gözlemlenmiştir. Ru katkısının örneklerin geçiş sıcaklık ve manyetik entropi değişim değerlerinde bir düşüş gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Keywords: Manyetik entropi değişimi, manyetokalorik etki, manyetik soğutma, perovskitler.

I. INTRODUCTION

Since conventional cooling systems used in all areas of our lives have reached limit values in terms of energy efficiency and the demand for energy has increased in all areas, there is a need to develop new technologies that can replace these systems [1]. At this point, magnetic refrigeration (MR) systems are considered to be a good alternative to conventional cooling systems [2]. The MR systems are environmentally friendly and highly energy-efficient systems compared to commonly used systems [3]. These systems work based on magnetocaloric effect (MCE) principle. The MCE is simply expressed as the observed change in temperature of the magnetic material under an external magnetic field [2], [3]. Studies on materials with magnetocaloric (MC) properties, which form the basis of innovative and environmentally friendly magnetic cooling systems, have gradually increased. In addition, the generation of electrical energy from MC materials has gained importance in recent years [4], [5] and it is predicted that these MC devices will have higher energy efficiency when compared to Peltier and Seebeck type devices [6]. In these systems, when a changing magnetic field is applied to the magnetic material surrounded by a coil, it causes an electric current to be induced in the coil during heating and cooling conditions on the material. These enable the conversion of thermal energy to electrical energy without intermediate mechanical work conversion [6]. In this sense, it is important to find materials with high MC properties both for use in MR systems and for generating electrical energy in thermomagnetic generators.

Magnetic entropy change ($-\Delta S_M$) and adiabatic temperature change (ΔT_{ad}) values are two characteristic quantities that define MCE [2]. The MC properties of many material groups have been investigated due to the fact that the main purpose of the studies on magnetic cooling is to find magnetocaloric materials with suitable criteria. [1], [7]-[9]. Although different material groups with high MC properties have been discovered, most of them cannot be used in applications due to various reasons such as the type of magnetic phase transition, thermal and magnetic hysteresis, high raw material cost and complex material production method [8].

$R_{1-x}A_xMnO_3$ (where R is rare earth elements and A: alkaline earth elements or alkaline earth metals) perovskite manganites are predicted as materials with potential to be used as cooling materials in MR applications [9]. The perovskite manganites provide many of the general criteria required for applications. For example, they have the appropriate Curie temperature; show a large MCE over a wide temperature range and their hysteresis (thermal and magnetic) are almost zero [10]. Apart from the physical properties, production, cost and production processes affect the use of materials in applications. Perovskite manganites are low cost, easy to synthesize and show good corrosion resistance properties [11]. Perovskite manganites have been extensively studied for their outstanding properties as the best cooling material for MR systems. Among the studied perovskite manganites, significant MCE was observed in $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ perovskite manganite sample in the literature [8], [12], [13]. The effects of the variation of the average ionic radius of the A and B-sites and the material production method on the magnetocaloric properties of $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ manganite have been studied by different research groups [14]-[17]. In the light of the literature, Gencer *et al.* examined the effect of Bi doping on the magnetic and MC properties of $La_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ manganite and reported a large magnetic entropy change ($-\Delta S_M$) value for $La_{0.62}Bi_{0.05}Ca_{0.33}MnO_3$ [18]. Recently, Ruthenium has been an attractive doping element among research groups to observe the effect of ionic radius variation in the B-site on the magnetic and magnetocaloric properties of manganites [19]-[22]. Different effects of Ru doping on magnetic and magnetocaloric properties have been reported [20]-[22]. With this motivation, we investigated the effect of Ru doping on the MC properties of the $La_{0.62}Bi_{0.05}Ca_{0.33}Mn_{1-x}Ru_xO_3$ ($x = 0.0, 0.1$ and 0.2) manganite system.

II. MATERIAL AND METHODS

Solid state reaction method was used for preparation of $La_{0.62}Bi_{0.05}Ca_{0.33}Mn_{1-x}Ru_xO_3$ ($x = 0.0, 0.1$ and 0.2) samples. La_2O_3 , Bi_2O_3 , CaO , RuO_2 and MnO_2 raw materials were used to obtain the samples.

Sigma-Aldrich brand was preferred in the selection of raw materials of suitable purity. The raw materials determined according to stoichiometric ratio were mixed and ground for 60 minutes. Then, the solid solution was calcined in air at 600 °C for 6 h. Then the grinding process was repeated. The samples were pressed into tablets and sintered at 1200 °C for 24 h in air. The $\text{La}_{0.62}\text{Bi}_{0.05}\text{Ca}_{0.33}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ ($x = 0.0, 0.1$ and 0.2) samples were denominated in the study as LBCM for $x = 0.0$, LBCMR-1 for $x = 0.1$ and LBCMR-2 for $x = 0.2$. The structural, magnetic and MC properties of the samples and the effect of Ru doping on these properties were investigated in detail. X-ray diffractometer (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) were used for structural analyses. XRD measurements were performed over the range of $10^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ in increments of 0.0131° . Magnetization measurements ($M(T)$ and $M(H)$) were obtained by using PPMS (Physical Property Measurement System, DynaCool-9) to determine magnetic properties and calculate magnetic entropy change values ($-\Delta S_M$).

III. RESULTS AND DISCUSSION

The x-ray diffraction pattern of the LBCM is shown in Fig.1a. The observed and calculated x-ray pattern of the LBCM sample is represented by the red and black lines, respectively. The difference between the observed and the calculated is plotted by the blue line. Bragg reflections are indicated by green ticks. The XRD patterns of LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples are given in Fig.1b. It is seen that the diffraction peaks, which are compatible with the perovskite structure, are sharp and narrow. High Score Plus software was used to define phases and crystal structure. The diffraction peaks for all samples matched the orthorhombic system with $Pnma$ space group. In addition, small peaks belonging to the Mn_3O_4 phase (marked with Δ in Fig.1) are observed in the diffraction patterns of the samples. The Bragg position and miller indices of the samples are seen in Fig. 1b. The lattice parameters (a , b and c cell parameters) and unit cell volume (V) of the samples were determined by FullProf program. The results obtained for the samples are given in Table 1. It is seen that Ru doping to the Mn-site causes an increase in a , b and c cell parameters and V values. Since the radius of the Ru^{4+} ion is higher than that of the Mn^{4+} ion [23], an increase in the mean ionic radius ($\langle r_{\text{Mn}} \rangle$) of the Mn-region was observed. This induces the changing of the a , b and c cell parameters. As a result, the V values of the samples change. The perovskite structure is preserved when the tolerance factor is between 0.75 and 1 [24]. This factor is given by the following equation,

$$t = (r_A + r_O) / \sqrt{2}(r_{\text{Mn}} + r_O) \quad (1)$$

where the ionic radii of the A cation, Mn cation and oxygen are represented with r_A , r_{Mn} and r_O , respectively. The t value is a measure of whether the structure can remain stable after doping in the A and B regions, and is used to determine the mismatch between the A-O and Mn-O bond lengths. The calculated t values of the samples are given in Table 1. The variation of the results between 0.75 and 1 confirms that the samples show perovskite structure. It was observed that the t values of the samples decreased with the increase of Ru doping. The decrease in t is due to Ru (0.705 \AA) having a higher ionic radius than Mn (0.645 \AA) [23]. Addition of the higher ionic radius element to the Mn-site causes $\langle r_{\text{Mn}} \rangle$ to increase and t to decrease. However, the change in t value for samples does not affect the crystal structure.

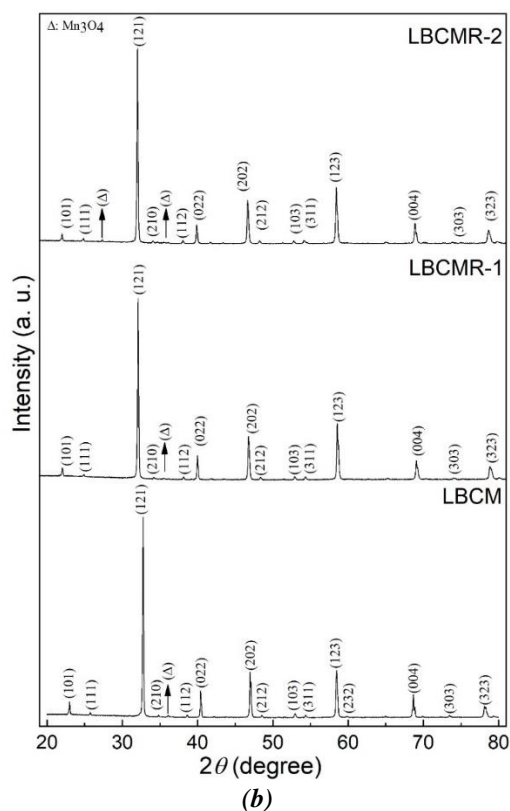
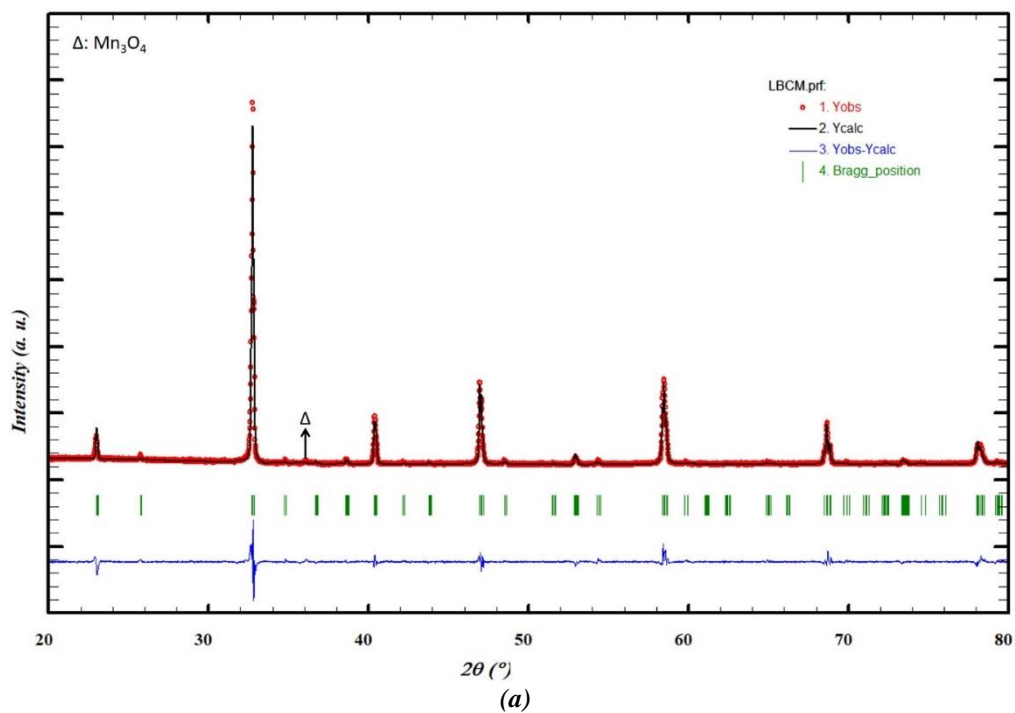


Figure 1. (a) Rietveld plot of the LBCM sample. (b) X-ray diffraction patterns for LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples.

Table 1. Some structural parameters of the $La_{0.62}Bi_{0.05}Ca_{0.33}Mn_{1-x}Ru_xO_3$ manganites.

Sample	a (Å)	b (Å)	c (Å)	V (Å ³)	t
LBCM	5.4647	7.7294	5.4837	231.6273	0.9481
LBCMR-1	5.4768	7.7434	5.4921	232.9128	0.9427
LBCMR-2	5.4921	7.7666	5.5010	234.6443	0.9373

The morphology and composition of the samples are generally investigated by SEM/EDS measurements, which is a convenient and sufficient method [25]. We obtained SEM images and EDS spectra of the samples given in Figure 2a-c in order to investigate the morphological properties and elemental composition. It is seen that the EDS spectra of the samples contain peaks belonging to La, Bi, Ca, Mn and O atoms. In addition, the fact that no peak belonging to any other element was observed in the EDS spectra indicates that there is no impurity peak belonging to the sample production process and that no elemental loss has been experienced in this process. From the SEM images of the samples, it is seen that the volumetric particle structures have different sizes and in different polygonal shapes. For all samples, it is seen that there are intergranular gaps. The volume of these gaps increases with increasing Ru doping. This means that the intergranular connectivity is adversely affected. Besides, it is seen that the grain boundaries that are evident for LBCM samples become indistinct with increasing Ru contribution. This means that the Ru doping may adversely affect the physical properties of the samples. By using Image J Software, the size distribution histogram for the LBCM sample is given Fig.2d. The average grain size of the particles is 2.03, 3.75 and 2.52 μm for LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples, respectively.

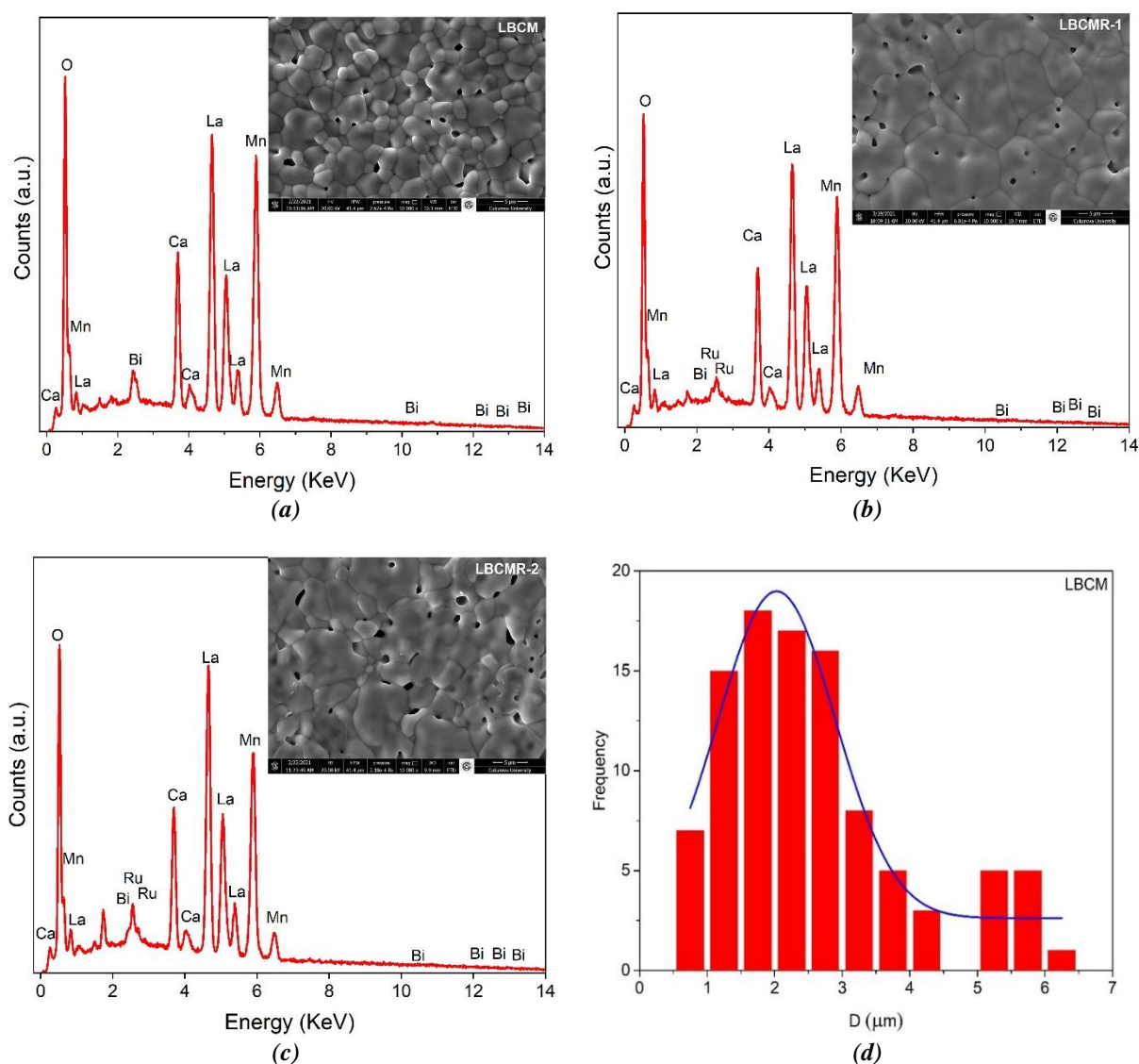


Figure 2.(a-c) The EDS spectra and SEM images taken at 10 KX magnification of the samples, (d) The size distribution histogram for LBCM sample.

To investigate the magnetic structure of the samples and their magnetic properties, we have performed the $M(T)$ measurements for all samples in ZFC and FC modes. In both modes, 100 Oe magnetic field

was applied to the samples. Figure 3a-c show the $M(T)$ curves. Both $M(T)_{ZFC}$ and $M(T)_{FC}$ curves of the samples show similar behavior with temperature. That is, with increasing temperature, the magnetization decreases and its value drops to almost zero at a certain temperature, meaning that the samples show a phase transition from ferromagnetic (FM) to paramagnetic (PM). For the LBCM sample, this transition occurs in a narrower temperature range than for the LBCMR-1 and LBCMR-2 samples. This situation points out that the magnetic entropy change value ($-\Delta S_M$) of the LBCM sample may be higher than that of the other samples. From the $M(T)$ curves of all samples, at the low-temperature region, it is seen that the ZFC and FC magnetization values show a difference that may arise from magnetic anisotropy, domain wall pinning effect and canted nature of spin [26]. The observed difference between magnetization values shows an increase with increasing Ru doping. The magnetic phase transition temperature called as Curie temperature (T_C) is generally determined from the inflection point of the $dM/dT(T)$ curve. T_C values of the LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples are 221, 215 and 207 K, respectively. Gencer *et al.* [27] have been reported that the T_C value of the LBCM sample is 248 K. It is seen that there is a difference that may arise from processes of material production [27], [28]. The T_C value of the perovskite manganite strongly depends on the Mn^{3+}/Mn^{4+} ratio [29], [30]. The change in this ratio affects the physical properties of the manganite and this is explained by double exchange interaction [31], [32]. With Ru doping in the Mn-site, the ratio of Mn^{3+}/Mn^{4+} changes, resulting in a decrease in T_C .

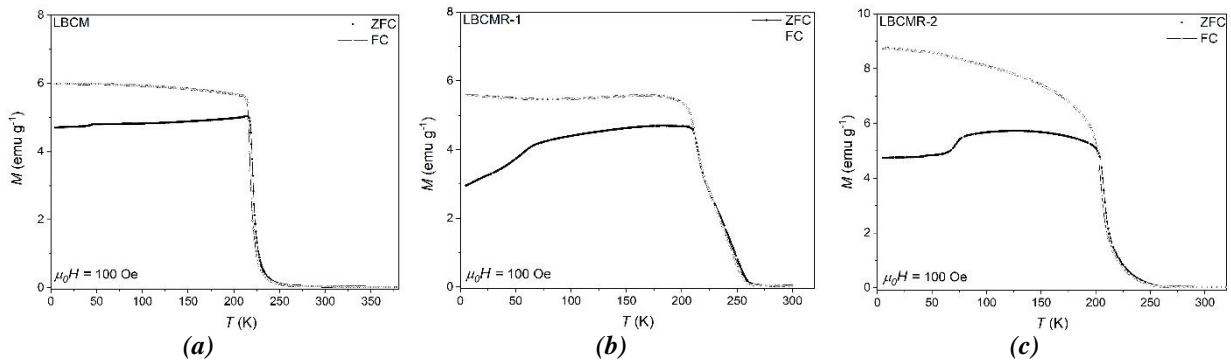


Figure 3. (a-c) The $M(T)$ curves of the samples at ZFC and FC modes.

Fig. 4a-c show isothermal magnetization curves for the LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples performed under applied magnetic fields up to 5 T around T_C values of the samples. Above the T_C , the $M(H)$ curves of the samples change linearly with increasing magnetic field. This behavior verifies that all samples exhibit PM property. At low temperatures, the $M(H)$ curves of the LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples change rapidly with increasing magnetic field and reach saturation. The samples show FM properties. For the LBCM sample only, the $M(H)$ curves show a rapid increase of magnetization like a sharp step at a threshold field known as metamagnetic transition. The metamagnetic transition implies that the FM and AFM-CO phases may coexist [33].

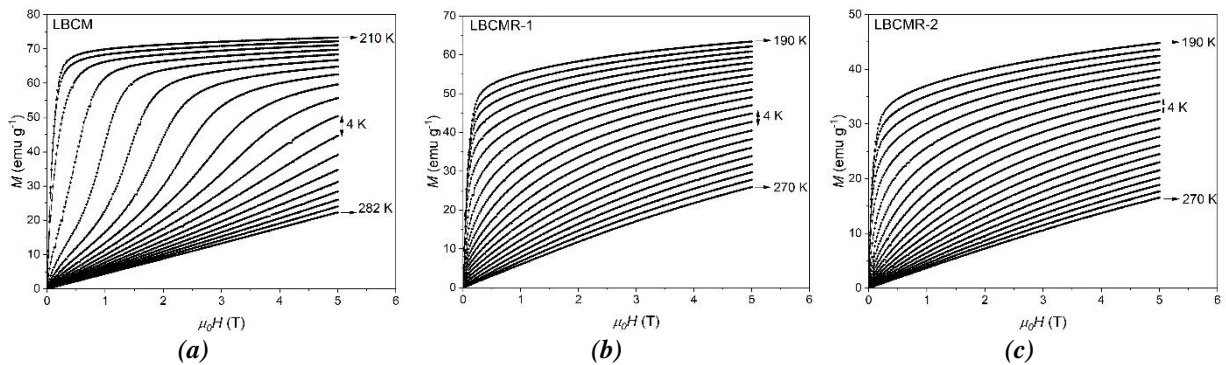


Figure 4. (a-c) The $M(H)$ curves of the samples.

The type of the magnetic phase transition for MC materials is a quite important parameter that affects the usability of that material in MR technology applications. This parameter is related to direct the working efficiency and the reversibility of a magnetic refrigerant [8]. The samples show first order magnetic phase transition (FOMT) or second order phase transition (SOMT). If the samples exhibit FOMT, their magnetic and thermal hysteresis is large which negatively affects the working efficiency and reversibility of the system. According to the explanations mentioned above, in the way of the practical applications, both the hysteresis of the samples should be as small as possible [8]. A Banerjee criterion is mostly used to determine the order of the magnetic phase transition [34]. According to this criterion, the Arrott plots ($\mu_0 H/M$ versus M^2 curves) of the samples are obtained from the $M(H)$ measurements. If the Arrott plots have a positive slope around T_C , the phase transition of the samples is the SOMT. Otherwise, the transition is first order. The Arrott plots of the samples are given in Fig.5a-c. These curves for all samples have positive slope around T_C . According to this result, the samples show SOMT.

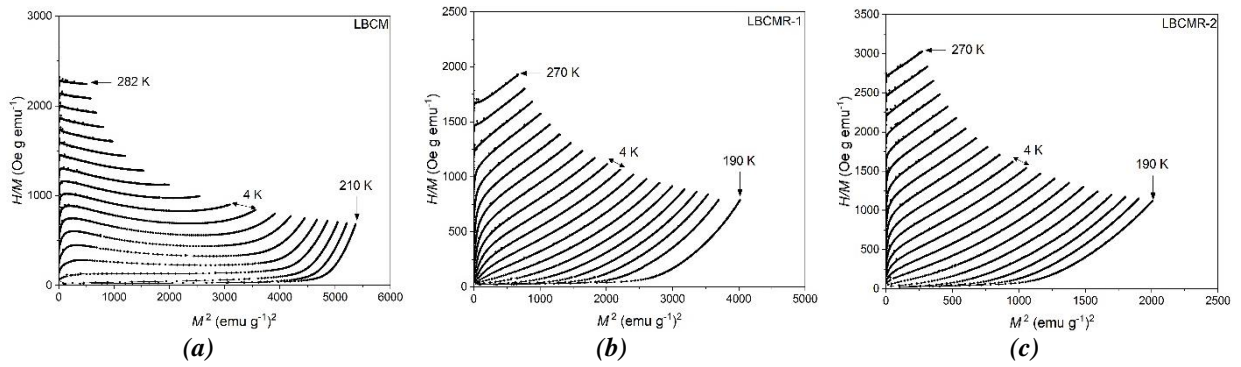


Figure 5. (a-c) The Arrott plots of the samples.

The $-\Delta S_M$ and ΔT_{ad} are the two fundamental quantities describing MCE [2, 8]. These quantities can be determined by direct or indirect measurement methods. While ΔT_{ad} is measured by direct measurement methods, the numeric value of $-\Delta S_M$ is calculated indirectly with the following equation [2].

$$-\Delta S_M(H, T) = \sum \frac{M_i - M_{i+1}}{T_{i+1} - T_i} \Delta H_i. \quad (2)$$

In the equation, M and T represent magnetization and temperature, respectively. We have calculated $-\Delta S_M$ values of the samples under different magnetic fields and obtained the curves of $-\Delta S_M$ as a function of the temperature. The $-\Delta S_M$ curves of the samples are given in Figs. 6a-c. The curves around T_C show a maximum peak defined as the maximum magnetic entropy change ($-\Delta S_M^{max}$). The $-\Delta S_M^{max}$ value is 5.99, 1.86 and 1.41 J/kgK under 2 T magnetic fields for LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2, respectively. It is seen that there is a decrease in this value with the contribution of Ru. This result may arise from the change observed in Mn^{3+}/Mn^{4+} ratio and grain sizes of the samples.

The RCP is one of the criteria that is as important as the $-\Delta S_M$ and ΔT_{ad} values in the selection of the MC materials for MR applications [2], [8], [10]. The total cooling energy of the MC material given as (J/kg) by RCP [35]. The RCP term formulizes with the product of $-\Delta S_M^{max}$ by δT_{FWHM} , where δT_{FWHM} is the full width at half maximum of the $-\Delta S_M(T)$ curves. RCP values at 2 T for LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples were calculated as 107.82, 81.84 and 43.71 J/kg, respectively. With Ru doping at Mn-site, it is observed the RCP values decrease. According to obtained results, the replacement of Ru with Mn caused a decrement in values of magnetic entropy change and RCP. The decrease in the values of $-\Delta S_M^{max}$ and RCP is compatible with Ru-doped studies in the literature [19], [21].

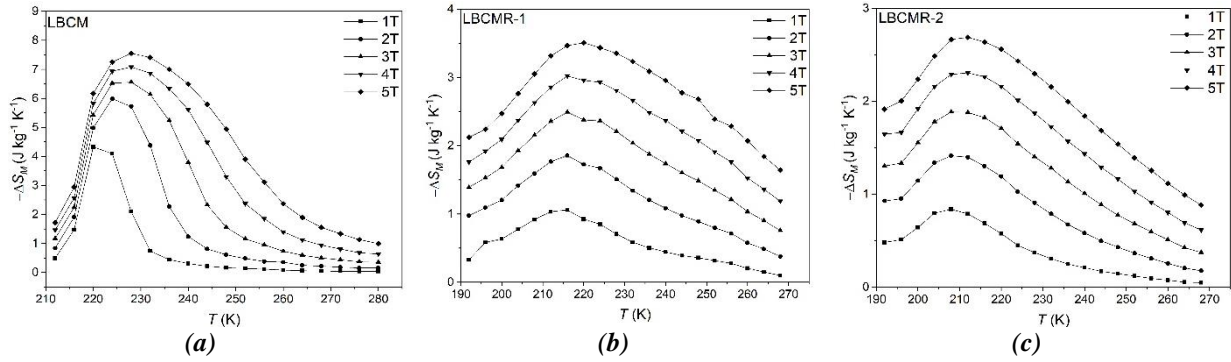


Figure 6. (a-c) $-\Delta S_M(T)$ curves of the samples for different magnetic fields

IV. CONCLUSION

In this study, we have investigated the magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.62}\text{Bi}_{0.05}\text{Ca}_{0.33}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ ($x=0.0, 0.1$ and 0.2) samples. All samples were prepared by solid state method. The samples analyzed by XRD technique at room temperature crystallize in orthorhombic structure. From $M(T)$ measurements, it is understood that all samples exhibited a magnetic phase transition from FM to PM. T_C values of the LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples are determined as 221, 215 and 207 K, respectively. The T_C value of the samples decreases with increasing Ru concentration. The decrease in T_C may arise from the changing of the $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$ ratio with Ru doping. It is also thought that this decrease is due to presence of $\text{Ru}^{4+}\text{-O-Ru}^{4+}$ super exchange interactions in the structure, weakening the double exchange interactions. From the Arrott plots, it can be seen that all samples show the SOMT. The $-\Delta S_M^{\text{max}}$ value is 5.99, 1.86 and 1.41 J/kgK under 2 T magnetic fields for LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2, respectively. The RCP values under 2 T for LBCM, LBCMR-1 and LBCMR-2 samples were found to be 107.82, 81.84 and 43.71 J/kg, respectively. The results showed that with the increase of Ru addition, the double exchange interactions and accordingly, the transition temperature and MC properties were negatively affected. Besides, a large $-\Delta S_M^{\text{max}}$ and RCP values were obtained for the LBCM sample, and in this sense, this material can be considered as a candidate cooling material for magnetic cooling applications in the 200-250 K temperature range.

ACKNOWLEDGMENTS: This work is supported by the Research Fund of Çukurova University, Adana, Turkey, under grant contracts no: FBA-2019-12320.

V. REFERENCES

- [1] V. Franco, J. S. Blázquez, J. J. Ipus, J. Y. Law, L. M. Moreno-Ramírez, A. Conde, "Magnetocaloric effect: from materials research to refrigeration devices," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 93, pp. 12-232, 2018.
- [2] A. M. Tishin, Y. I. Spichkin, *The Magnetocaloric Effect and its Applications*, 1st ed., London, UK: IOP Publishing LTD, 2003, ch. 11, pp. 351-401.
- [3] V. K. Pecharsky, K. A. Gschneidner Jr., "Advanced magnetocaloric materials: what does the future hold?," *Int. J. Refrig.*, vol. 29, pp. 1239-1249, 2006.
- [4] R. A. Kishore, S. Priya, "A review on design and performance of thermomagnetic devices," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, vol. 81, pp. 31-44, 2018.

- [5] A. Waske, D. Dzekan, K. Sellschopp, D. Berger, A. Stork, K. Nielsch, S. Faehler, “Energy harvesting near room temperature using a thermomagnetic generator with a pretzel-like manetic flux topology,” *Nat. Energy*, vol. 4, pp. 68-74, 2019.
- [6] E. Brück, “Thermomagnetic generator,” *Patent Application Pub.* 0037342, Apr. 28, 2011.
- [7] E. Brück, “Developments in magnetocaloric refrigeration,” *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 38, pp. R381–R391, 2005.
- [8] M. H. Phan, S. C. Yu, “Review of the magnetocaloric effect in manganite materials,” *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 308, pp. 325–340, 2007.
- [9] Y. Xu, M. Meier, P. Das, M. R. Koblischka, U. Hartmann, “Perovskite manganites: potential materials for magnetic cooling at or near room temperature,” *Cryst. Eng.*, vol. 5, pp. 383-389, 2002.
- [10] B. F. Yu, Q. Gao, B. Zhang, X. Z. Meng, Z. Chen, “Review on research of room temperature magnetic refrigeration,” *Int. J. Refrig.*, vol. 26, pp. 622-636, 2003.
- [11] A. Kitanovski, J. Tušek, U. Tomc, U. Plaznik, M. Ožbolt, A. Poredoš, “Magnetocaloric materials for freezing, cooling, and heat-pump applications,” in *Magnetocaloric Energy Conversion*, 1st ed., Cham, Switzerland: Springer, 2015, ch. 2, pp. 23-37.
- [12] Z. B. Guo, Y. W. Du, J. S. Zhu, H. Huang, W. P. Ding, D. Feng, “Large Magnetic Entropy Change in Perovskite-Type Manganese Oxides,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 78, pp. 1142-1145, 1997.
- [13] G. C. Lin, Q. Wei, J. X. Zhang, “Direct measurement of the magnetocaloric effect in $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$,” *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 300, pp. 392-396, 2006.
- [14] X. X. Zhang, J. Tejada, Y. Xin, G. F. Sun, K. W. Wong, X. Bohigas, “Magnetocaloric effect in $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}$ and $\text{La}_{0.60}\text{Y}_{0.07}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}$ bulk materials,” *Appl. Phys.*, vol. 63, no. 23, pp. 3596-3598, 1996.
- [15] V. S. Kolat, H. Gencer, M. Gunes, S. Atalay, “Effect of B-doping on the structural, magnetotransport and magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ compounds,” *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 140, pp. 212-217, 2007.
- [16] P. Nisha, S. S. Pillai, M. R. Varma, K. G. Suresh, “Influence of cobalt on the structural, magnetic and magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$,” *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 327, pp. 189-195, 2013.
- [17] Y. Regaieg, F. Ayadi, J. Monnier, S. Reguer, M. Koubaa, A. Cheikhrouhou, S. Nowak, L. Sicard, S. Ammar-Merah, “Magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ produced by reactive spark plasma sintering and by conventional ceramic route,” *Mater. Res. Express*, vol. 1, 046105, 2014.
- [18] H. Gencer, S. Atalay, H. I. Adıguzel, V. S. Kolat, “Magnetocaloric effect in the $\text{La}_{0.62}\text{Bi}_{0.05}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ compound,” *Physica B*, vol. 357, pp. 326–333, 2005.
- [19] A. O. Ayaş, S. Kılıç Çetin, M. Akyol, G. Akça, A. Ekicibil, “Effect of B site partial Ru substitution on structural magnetic and magnetocaloric properties in $\text{La}_{0.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ ($x = 0.0, 0.1$ and 0.2) perovskite system,” *J. Mol. Struct.*, vol. 1200, 127120, 2020.
- [20] Z. Mohamed, I. S. Shahron, N. Ibrahim, M. F. Maulud, “Influence of Ruthenium Doping on the Crystal Structure and Magnetic Properties of $\text{Pr}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ Manganites,” *Crystals*, vol. 10, no. 4, 295, 2020.
- [21] M. Pektas, T. Izgi, H. Gencer, S. Atalay, V. S. Kolat, N. Bayri, “Effects of Ru substitution on the structural, magnetic and magnetocaloric properties of $\text{Pr}_{0.68}\text{Ca}_{0.22}\text{Sr}_{0.1}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ ($x = 0, 0.05, 0.1$ and 0.2) compounds,” *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.*, vol. 31, pp. 15731–15741, 2020.

- [22] A. Bhargav, M. Prajapat, D. S. Rana, S. P. Sanyal, "Magnetic Properties of Ru-Doped $\text{Nd}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{Mn}_{1-x}\text{Ru}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.10$) Manganites," *J. Supercond. Nov. Magn.*, vol. 32, pp. 1991–1996, 2019.
- [23] R. D. Shannon, "Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides," *Acta Crystallogr. Sect. A*, vol. 32, pp. 751- 767, 1976.
- [24] S. Tarhouni, A. Mleiki, I. Chaaba, H. B. Khelifa, W. Cheikhrouhou-Koubaa, M. Koubaa, A. Cheikhrouhou, E. K. Hlil, "Structural, magnetic and magnetocaloric properties of Ag-doped $\text{Pr}_{0.5}\text{Sr}_{0.5-x}\text{Ag}_x\text{MnO}_3$ manganites ($0.0 \leq x \leq 0.4$)," *Ceram. Int.*, vol. 43, pp. 133-143, 2017.
- [25] M. K. Verma, N. D. Sharma, N. Choudhary, S. Sharma, D. Singh, "Comparative study of $\text{La}_{0.6}\text{R}_{0.1}\text{Ca}_{0.3}\text{Mn}_{0.9}\text{Cr}_{0.1}\text{O}_3$ (R = La, Eu and Ho) nanoparticles: effect of A-cation size and sintering temperature," *J. Mater. Sci. : Mater. Electron.*, vol. 30, pp. 12328–12338, 2019.
- [26] S. Kılıç Çetin, G. Akça, A. Ekicibil, "Impact of small Er rare earth element substitution on magnetocaloric properties of $(\text{La}_{0.9}\text{Er}_{0.1})_{0.67}\text{Pb}_{0.33}\text{MnO}_3$ perovskite," *J. Mol. Struct.*, vol. 1196, pp. 658-661, 2019.
- [27] F. Ayadi, S. Ammar, S. Nowak, W. Cheikhrouhou-Koubaa, Y. Regaieg, M. Koubaa, J. Monnier, L. Sicard, "Importance of the synthesis and sintering methods on the properties of manganite ceramics: The example of $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$," *J. Alloys Compd.*, vol. 759, pp. 52-59, 2018.
- [28] M. Oumezzine, O. Peña, T. Guizouarn, R. Lebullenger, M. Oumezzine, "Impact of the sintering temperature on the structural, magnetic and electrical transport properties of doped $\text{La}_{0.67}\text{Ba}_{0.33}\text{Mn}_{0.9}\text{Cr}_{0.1}\text{O}_3$ manganite," *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 324, no. 18, pp. 2821-2828, 2012.
- [29] A. Selmi, R. M'nassri, W. Cheikhrouhou-Koubaa, N. C. Boudjada, A. Cheikhrouhou, "The effect of Co doping on the magnetic and magnetocaloric properties of $\text{Pr}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Mn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ manganites," *Ceram. Int.*, vol. 41, pp. 7723-7728, 2015.
- [30] M. Dhahri, A. Zaidi, K. Cherif, J. Dhahri, E. K. Hlil, "Effect of indium substitution on structural, magnetic and manganites magnetocaloric properties of $\text{La}_{0.5}\text{Sm}_{0.1}\text{Sr}_{0.4}\text{Mn}_{1-x}\text{In}_x\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.1$)," *J. Alloys Compd.*, vol. 691, pp. 578-586, 2017.
- [31] C. Zener, "Interaction between the d-shells in the transition metals. II. ferromagnetic compounds of manganese with perovskite structure," *Phys. Rev.*, vol. 82, pp. 403-405, 1951.
- [32] R. Mahendiran, S. K. Tiwary, A. K. Raychaudhuri, T. V. Ramakrishnan, "Structure, electron-transport properties, and giant magnetoresistance of hole-doped LaMnO_3 systems," *Phys. Rev. B*, vol. 53, pp. 3348-3358, 1996.
- [33] V. S. Kolat, T. Izgi, A. O. Kaya, N. Bayri, H. Gencer, S. Atalay, "Metamagnetic transition and magnetocaloric effect in charge-ordered $\text{Pr}_{0.68}\text{Ca}_{0.32-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x=0, 0.1, 0.18, 0.26$ and 0.32) compounds," *J. Magn. Magnet. Mater.*, vol. 32, pp. 427-433, 2010.
- [34] B. K. Banerjee, "On a generalised approach to first and second order magnetic transitions," *Phys. Lett.*, vol. 12, pp. 16-17, 1964.
- [35] M. Botello-Zubiarte, M. Grijalva-Castillo, D. Soto-Parra, R. Sáenz-Hernández, C. Santillán-Rodríguez, and J. Matutes-Aquino, "Preparation of $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ manganites by four synthesis methods and their influence on the magnetic properties and relative cooling power," *Materials*, vol. 12, no. 2, pp. 309, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Tıbbi Ortamlarda Kullanılan Portatif Hava Temizleme Sistemi

 Yiğit Ali ÜNCÜ^a,  Onur KOÇAK^{b,*}

^a *Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Programı, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, TÜRKİYE*

^b *Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: okocak@baskent.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.946520

Öz

Toplum içerisinde ortak kullanıma açık alanlarda hava kalitesinin korunması sağlık açısından önemlidir ve güncel bir problemdir. Bu problem, havalandırmanın yetersiz olduğu birçok ortak kullanım alanı ile birlikte büyük veya küçük sağlık hizmeti veren kuruluşlarda kendini sıklıkla salgın hastalıklarla ya da yaşanan ölümler ile göstermektedir. Bu problemin önüne geçilebilmesi için bu zamana kadar atılan adımlar yetersiz kalabilmektedir. Çalışma kapsamında, partikül tutucu filtreler, UV lambalar kullanılarak, küçük ve taşınabilir, medikal seviyede hava kalitesi sağlayan bir hava temizleme sistemin tasarlanmıştır. Bu sistem EN ISO 14644-1 temiz oda standartlarına uygun olacak şekilde UV-C teknolojisinden yararlanılarak tasarlanmıştır. Bu cihaz, sağlık kuruluşlarındaki toplu taşıma araçları, bekleme ve yoğun bakım odaları, mikrobiyoloji ve biyokimya laboratuvarları gibi yerlerde kullanılabilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: İç hava kalitesi, İç hava kirliliği, Partikül madde, Hava temizleme sistemleri

Portable Air Purification System Used in Medical Environments

ABSTRACT

The protection of air quality in public areas in the community is important for health and is a current problem. This problem often manifests itself with epidemic diseases or deaths in large or small healthcare institutions, along with many common areas where ventilation is insufficient. The steps taken so far are insufficient to prevent this problem. In the study, a small and portable air purification system was designed using particulate filters and UV lamps, providing medical-grade air quality. This system has been designed in accordance with EN ISO 14644-1 cleanroom standards using UV-C technology. This device can be used in health institutions such as public transportation vehicles, intensive care waiting rooms, microbiology, and biochemistry laboratories.

Keywords: Indoor air quality, Indoor air pollution, Particular matter, Air purification systems

I. GİRİŞ

Tedavi süreçlerinde sıklıkla maruz kalınan hastane mikrobu ve ameliyathane mikropları (virüs, bakteri vb.) hastalara kalıcı hasarlar verebilmekte hatta ölümlerine sebep olabilmektedir. Bu tip istenmeyen durumların oluşmaması için sağlık hizmeti verilen alanların zemin dezenfeksiyonu ve sterilizasyonu kadar hava ortamlarının da sterilize edilmesi, her türlü bakteriden ve canlı organizmadan arındırılmış olması gerekmektedir [1]-[7]. Tıbbi alan zeminleri antiseptik ve dezenfeksiyon malzemeleri ile temizlenmektedir. Fakat ameliyathaneler dışında hava filtreleme, temizleme ve sterilizasyon uygulamaları yaygın değildir. Klimalar ve merkezi havalandırma üniteleri hava sterilizasyonu uygulamalarında yetersiz kalmaktadır. Tüm tıbbi alanlara yeterli sterilizasyon altyapısı kazandırmak ekonomik olarak da sürdürülebilir değildir [8]. Günümüzde bu sebep ile birden fazla hava temizleme sistemi tasarlanmıştır ve bunlar kullanımı ev tipi olmakla beraber medikal seviyede bulunmayan birbirlerine benzeyen sistemlerdir. Bu çalışmada tasarlanan prototip; filtreler, motor ve hava temizleme sisteminden (UV-C radyasyonu) oluşan ve medikal düzeyde taşınabilir hava temizleme sistemi için gerekli koşulları sağlayan portatif medikal bir sistemdir. Bu sistem sayesinde sadece sağlık kuruluşlarına yönelik değil, toplumun birçok noktasında temiz havaya ulaşılacak istenmiştir.

Emily ve arkadaşları yaptıkları çalışmada portatif hava temizleyicilerin kapalı alanlardaki hava kalitesi ve sağlık üzerindeki etkilerini incelemek için sistematik bir literatür çalışması yapmışlardır [9]. Miao ve arkadaşları çalışmalarında Çin'de bulunan bir yaşlı bakım evinde hava temizleme cihazının yaşlıların sağlıkları üzerindeki etkilerini incelemiştir [10]. Maria ve arkadaşları çalışmalarında hava temizleme cihazlarını SARS-CoV-2 virüsüne sahip pozitif vakaların bulunduğu ev ortamlarında deneyerek hastalığın üzerindeki etkilerini incelemiştir [11]. Elizabeth ve arkadaşları hava temizleme cihazlarının kapalı alanlardaki etkilerini gözlemiştir ve en iyi sonuca ulaşılacak doğru yöntemler üzerine çalışmalar yapmıştır [12]. Tengfei ve arkadaşları çalışmalarında kapalı ortamlarda bulunan hava temizleme cihazının konumunun temizleme kalitesine olan etkilerini araştırmıştır [13]. Jingjing ve arkadaşları çalışmalarında sigara dumanı kullanarak yaptıkları duman testinde hava temizleme cihazının çalışma verimine ve filtrelerin ömründeki değişime dikkat çekmişlerdir [14]. Jiao Cai ve arkadaşları çalışmalarında Çin'de bulunan 20 şehir yerleşkesinde hava temizleme cihazlarını test etmiş ve bu sistemin bu tür yerler için olumlu ama dünya genelinde kirlilik için yetersiz olduğu sonucuna ulaşmıştır [15]. Angus Shiue ve arkadaşları yaptıkları çalışmada hava temizleme cihazının belirli standartlara göre verimliliğini test etmiştir [16].

Medikal düzeyde hava temizleme sistemlerinde dört ana nokta bulunmaktadır. Bunların ilki, medikal seviyenin en önemli göstergesi olan EN ISO 14644-1 standardıyla ilgilidir. Bu standartta, belli metre küp içerisinde asgari partikül seviyeleri belirtilmektedir. Çalışmada, medikal seviye sterilizasyon gerçekleştirilmesi hedeflendiğinden; temiz oda standardının sağlanması gerekmektedir. Tıbbi alan içerisinde, hava giriş çıkışı olmadığından ISO-6 temiz oda standardının sağlanabilmesi için; havanın saatte en az altı kez çevrilmesi yeterli olmaktadır. Hava giriş çıkışının sabit tutulmadığı alanlarda ise bu çevrim, saatte en az 20 olmalıdır. Bu nedenle taşınabilirlik medikal hava temizleme sistemleri için saatte 20 çevrim hedef alınarak, motor ve filtre ölçüleri belirlenmiştir [17], [18]. İkincisi bu cihazlarda kullanılan filtre tipleridir. Günümüzde kullanılan üç farklı filtre vardır. Bunlar; kaset, aktif karbon ve HEPA (Yüksek Etkinlikte Partikül Yakalayıcı) filtrelerdir. Bu filtrelerin kendi içlerinde farklı sınıfları mevcuttur. Kaset filtreler büyük partikülleri tutarak, arkasına konulan daha hassas filtrelerin yükünü hafifletir. Aktif karbon filtreler ortamdaki kötü ve zehirli gazları emer. HEPA filtreler ise 0,3 µm boyutundaki partikülleri tutarak hassas filtre görevini üstlenir [19]. Üçüncüsü hava temizleme cihazlarında kullanılacak olan motorun seçimidir. Cihazın medikal düzeyde çalışabilmesi için dikkat edilmesi gereken parametreler; debi, ağırlık, tür ve basınç-debi eğrisidir. Bu parametreler dikkate alarak kademeli fan dönüş hızlarına sabit olması sebebiyle de çalışmada EC (Electronically Commutated) motor tercih edilmiştir. Sonuncusu ise hava temizleme işleminin yerine getirilmesinde kullanılan yöntemlerdir. Temizleme işlemi negatif iyon teknolojisi, yüksek kalite filtrelerin kullanımı ve UV-C radyasyonu kullanımı gibi birçok farklı şekilde sağlanmaktadır. Aynı zamanda bu işlem iki farklı sistem altında yürütülmektedir. Bu iki sistem medikal seviye iklimlendirme sistemi ve klasik iklimlendirme sistemidir. Medikal seviye iklimlendirme sistemi, klasik iklimlendirme sisteminden

farklı olarak nem ve sıcaklık parametreleri dışında canlı ve cansız olarak kirleticiler, taze hava, egzoz havası, hava akış yönleri ve basıncı gibi risk parametrelerini de dikkate alır [17]. Hava temizleme sistemleri filtrasyon, absorpsiyon, foto katalitik oksidasyon, negatif hava iyonları, termal olmayan plazma olmak üzere beş ana başlıkta incelenebilir [19]. Filtrasyon sıralaması genelde; kaba filtreden, daha hassas filtreye doğru yapılır. Bu özellik sayesinde kaba filtre ilk olarak büyük tanecik çapına sahip partiküllerin geçişini engeller. Daha sonra daha hassas olan diğer filtreler kademe kademe partikül geçişini engelleyerek daha hassas filtrenin ömrü uzatılır. Absorpsiyon filtrelerinde HEPA filtreler ve ozon ile absorpsiyon yapılmaktadır. Absorpsiyon filtreleri; gaz moleküllerini yakalar ve tutarlar. Ozon tipi filtrasyon, ozon gazının kararsızlığı ve sağlığa olumsuz etkisi olduğu için medikal amaçlı kullanımlarda tercih edilmemektedir [20], [21].

Günümüzde, karşılaşılan salgınlar lokal (bir hastalık patlaması) olarak, genel (epidemik) olarak ve dünya çapında (pandemik) olmak üzere görülebilir. Dünyada da etkili olan pandemi (Covid-19) ile mücadeleye destek olmak, sosyal, kültürel ve ekonomik hayatın normale dönmesine katkı sağlamak amacıyla hava temizleme cihazlarının üretilmesi önemli hale gelmiştir. Çalışma kapsamında tasarlanan yerli hava temizleme cihazının içerisinde; UV lamba, HEPA filtre, aktif karbon filtre ve kaba filtre ile temizlenen hava, sağlığa zararlı gazlardan, mikroorganizmalardan, toz ve partiküllerden ayrıştırılarak kapalı ortamlardaki havanın medikal seviye sterilizasyonu sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; pandemik koşullar dolayısıyla, kapalı alanlarda veya sağlık kuruluşlarında/hastanelerde oluşabilecek enfeksiyonların önlenmesi, bununla beraber enfeksiyonların sebep olduğu ölümlerinde önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

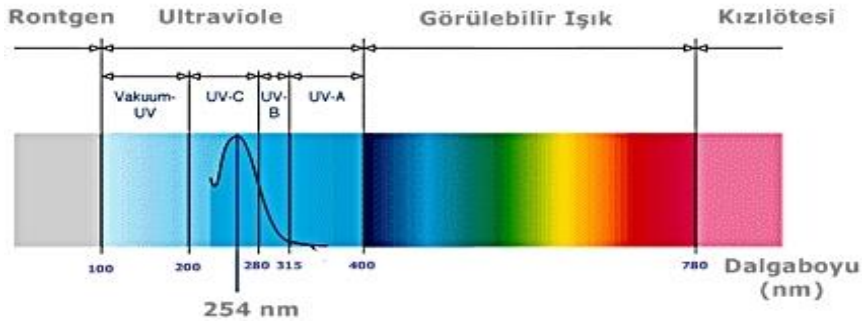
Tasarlanan hava temizleme cihazında kaset, aktif karbon ve HEPA olmak üzere üç farklı filtre kullanılmıştır. HEPA filtre, TS EN 1822-1 (Yüksek verimli hava filtreleri- Bölüm 1: Sınıflandırma, performans testi, işaretleme) standardına, aktif karbon filtre TS EN 779 (Genel havalandırma için partikül hava filtreleri - Filtrasyon performansının belirlenmesi) standardına göre tasarlanıp, medikal seviyede ki debi değeri hedefine ulaşmak için gerekli filtre ebatları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre 1200 m³/s 'lik debiyi sağlayan motor, tasarıma dahil edilmiştir. Farklı debi değerlerine göre motor performansı ve üretilen ses düzeyi (dB değeri) test edilerek optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Filtre performansları duman testi ile ölçülmüş ve saatlik temizleme hedefine ulaşılmıştır. Bu çalışmada portatif bir hava temizleme cihazının tasarımı, üretimi ve performans denemeleri ortaya koyulmuştur.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

UV-C radyasyonu, 200 nm ile 280 nm arasında olup, zararlı mikroorganizmaları (bakteri ve virüsler) etkisiz hale getirmektedir. Bunu mikroorganizmaların DNA'sının içindeki genetik kodlamayı yok ederek gerçekleştirmektedir. Bu sayede mikroorganizmaların üremeleri de engellenmiş olur. UV-C ışınlarının antiseptik özelliği sayesinde, kimyasallara karşı aşırı rezistansı bulunan parazitleri de yok etme kapasitesine sahiptirler [8]. Mikroorganizmalar, UV-C dalga boyunu (Şekil 1) kolaylıkla absorbe eden organik yapılardır. Bir mikrobun DNA'sı, zayıf moleküler bağlarından dolayı negatif olarak etkilenir. Kısa süre içerisinde DNA'da onarılmaz hasarlar meydana getirebilir. Bu durum mikrobun genetik yapısına zarar vererek mikrobun ölmesine ve/veya çoğalamamasına neden olur. Mikroorganizmalar, UV-C ışınlarına doğrudan maruz kalmalıdır. Mikroorganizmalar yansıyan UV-C ışınlardan da etkilenirler fakat bu durumda mikropların yok edilmesi daha da uzun sürer. UV-C ışınına maruz kaldıklarında küf ve bazı bakterilerde hızlı hücre ölümü gerçekleşmeyebilir. Etkisi olmayan halde olan mikroplarda bazı biyolojik aktiviteler olabilir ancak hücrelerde çoğalma olamadığından dolayı çoğalamayacak ve etkisiz hale geleceklerdir [10]. Havalandırma sistemlerindeki hava filtreleri, UV-C ışınlarıyla kıyaslandığında mikropları öldüremez. Hava filtreleri verimlilik oranlarına göre havada bulunan mikropların bir kısmını süzerek tutar. Ayrıca UV dezenfeksiyon sisteminin birlikte kullanımı, mikroplar için tutup ve öldür sistemi haline getirebilir.

UV-C ışınları, mikroplara etki edere yok etmek için bu mikropları saklayan toz parçacıkları gibi basit organik maddeleri de alt seviyelere indirger. Mikroplar tutunabilecek toz filtrelerden geçtiklerinde

ve/veya mikropları saklayan toz parçacıkları taşıyan hava içerisinde geçtikleri için dezenfeksiyon ampullerinden gelen UV-C ışınına maruz kalırlar. Bulaşıcı hastalık riskinin olduğu durumlarda ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 'nin belirlediği %85 verimlilikteki veya daha üzerindeki filtrelerin kullanılması gerekmektedir [22]. Böylelikle en az oranda toz geçecektir. Kullanılan lambaların UV-C bandında (200-280 nm) olması, tasarlanan sistemde sadece filtreler ile değil UV-C ışınım yardımı ile de organik uçucuların etkisizleştirilmesine katkı sağlamaktadır. Kanat, çalışmasında UV-C ışınımın DNA tahribatı etkilerine detaylı olarak yer vermiştir [23]. Literatürde destekleyici birçok çalışma ayrıca yer almaktadır. Şekil 1'de UV-C bandının elektromanyetik spektrumunda ki konumu görülmektedir.



Şekil 1. Elektromanyetik Spektrumda UV-C [23]

Hava temizleme sistemleri filtrasyon, absorpsiyon, foto katalitik oksidasyon, negatif hava iyonları, termal olmayan plazma olmak üzere beş ana başlıkta incelenebilir. Filtreleme, havada bulunan istenmeyen gaz, buhar ya da başka tanecikleri ayıran malzemelere filtre denilmektedir. Havalandırma sistemlerinde dış havadaki tanecikleri, toz ve benzeri istenmeyen cisimleri tutarak havalandırma cihazları girişlerinde gerekli ayrışmayı yapmak için besleme havalarındaki virüs ve bakterileri azaltmak amacıyla uygun filtreler kullanılır. Filtreler en az kaçığa izin vermeyecek şekilde üretilerek ihtiyaç olan hava kalitesine bağlı olarak çeşitli filtrelendirme sistemleri kullanılmaktadır [24].

Absorpsiyon filtreleri, HEPA filtreler ve ozon ile absorpsiyon yapılmaktadır. Absorpsiyon filtreleri; gaz moleküllerini yakalar ve tutarlar. Ozon tipi filtrasyon, ozon gazının kararsızlığı ve sağlığa olumsuz etkisi olduğu için medikal amaçlı kullanımlarda tercih edilmemektedir [24]. Foto katalitik oksidasyon, kullanılan foto katalizörler iç havada bulunan alkanlar, alkenler, alkoller, aromatikler, klorlu hidrokarbonlar, aldehytler ve ketonlar gibi birçok uçucu organik bileşikler (UOB) CO₂ ve H₂O gibi çok küçük moleküllere kadar parçalayabilirler. En yaygın foto katalizörler TiO₂ ve ZnO gibi yarı iletkenler ve UV ışınıdır. Tepkimeler sonucu hidroksil grubu oluşur ve OH- kirletici molekülleri okside eder ve çok etkili değildir [24]. Bu hava temizleme sistemi uygulaması literatürde farklı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Özellikle daha nitelikli dezenfeksiyon işlemleri için uygulanmaktadır [25]-[28].

Negatif hava iyonları, pozitif yüklü virüse yapışır çökmesini sağlar. Havada bulunan partiküller, pozitif iyonludur. Negatif iyonlar manyetik çekim ile negatif iyonlara çekilirler [24]. Goldstein ve arkadaşları ile Nagato ve arkadaşlarının çalışmaları farklı teknikler ile negatif iyon jeneratörü tasarımlarını ve uygulamalarını aktarmaktadır [29], [30]. Bahsedilen teknikler günümüzde iyon jeneratörlü sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Termal olmayan plazma, UOB, aerosol parçacıkları ve mikroplar gibi kirleticileri uzaklaştırma bilmektedirler. Fakat plazma sonucunda oluşan anorganik ve organik kimyasal türler çevreye yayılıp sağlık riski oluşturabilirler [24].

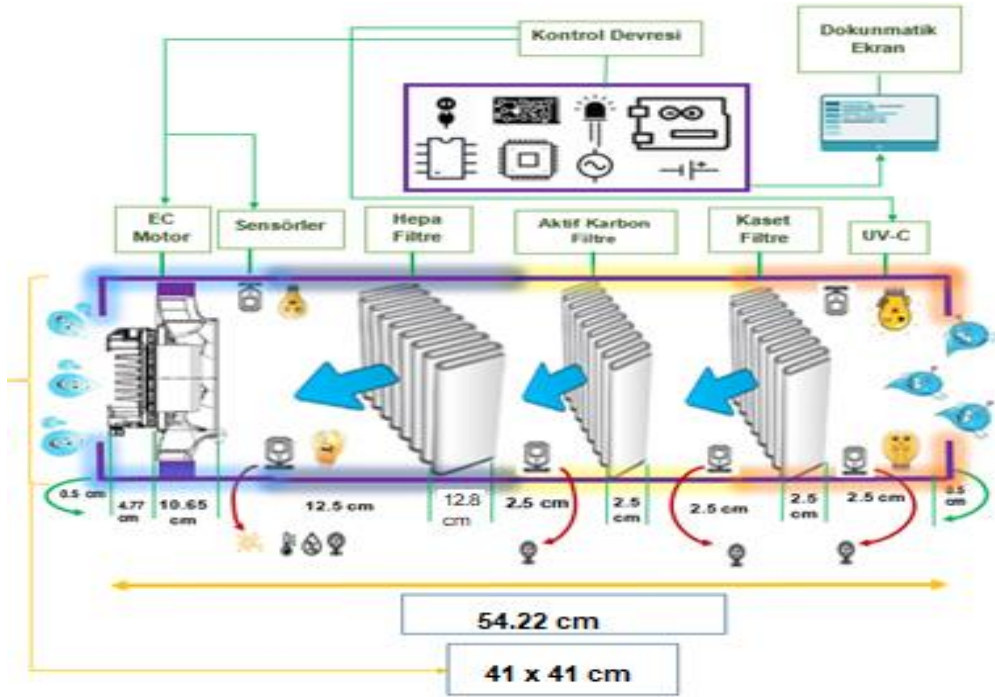
Sistemin ön tasarımı ele alınarak şasenin malzemesine karar verilmiş ve tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda cihaz içerisine konulacak malzemelerin bölme içi tasarımlarına ve genel tasarımlarına karar verilmiştir. Hava menfezlerinin tasarımı ele alınmıştır. Filtreler, UV-C lambalar ve motor şasede konumlandırılmıştır. Cihazın düşük ağırlığa sahip olması gerektiğinden şase yapımında alüminyum kullanılmıştır. Cihazın sanal tasarımı CATIA programında yapılmıştır (Şekil 2). Son adımı olarak

cihaz yalıtılmış ve kaplanmıştır. Bir problem olan gürültünün önüne geçilmesi ve aynı zamanda yalıtım maddesinin üstüne anti bakteriyel gözeneksiz malzeme konumlandırılması ile havanın temiz kalması sağlanmıştır.



Şekil 2. Cihaz CATIA çiziminin yandan ve arkadan görünümü

Şekil 3'te blok diyagramı verilen prototipte; çok sayıda elektronik bileşen olduğundan ve bu bileşenlerin bağlantı sayılarını karşılayabilen en uygun mikro denetleyici olan Arduino MEGA 2560 seçilmiştir. Çalışma içinde bulunan üç çok amaçlı sensör, dokunmatik ekran ve EC (Elektronik değişkenli motor) motorun kontrolü için uygun olan MEGA 2560, dört ayrı TX-RX (Asenkron seri haberleşme) portu, pwm modülü, I²C (entegre devre) modülü, 15 analog giriş ve 54 dijital girişe sahiptir. 16 MHz' lik osilatör ile çalışmada kullanılacak tüm bileşenleri kontrol edebilecek kapasitededir.

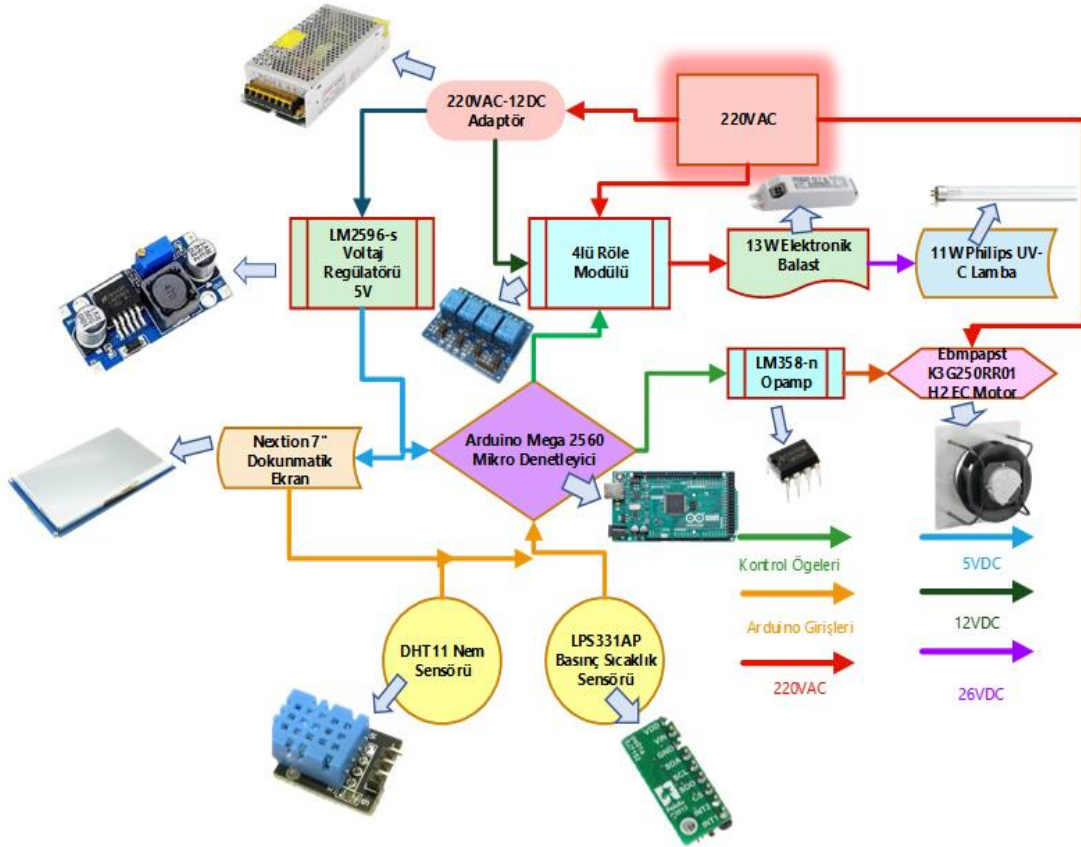


Şekil 3. Cihazın blok diyagramı

Sistemin ekranında Nextion 7" dokunmatik ekran kullanılmıştır. Röle ve adaptörün bağlantıları yapıp, diğer bileşenlere bağlanmaları için hazır hale getirilmiştir. NC modunda kullanılan röle yalnızca komut gönderildiğinde elektrik akışını sağlamaktadır. Sistemde 5V gerilimli gerekli akımı karşılayabilecek bir voltaj regülatörü gerekmektedir. Bunun sebebi; arduinonun kendi üzerinde bulunan voltaj regülatörünün, sistemdeki dokunmatik ekranın akım ihtiyacını karşılamasının imkansızlığıdır. Bu nedenle sisteme LM2596 voltaj regülatörü eklenmiştir. Bu sayede; rölelerin,

sensörlerin, dokunmatik ekranın ve arduinonun gerilim beslemesi sağlanmıştır. Bu voltaj regülatörü, sistemde hali hazırda bulunan 12 VDC voltaj regülatöründen gelen gerilimi 5 VDC şeklinde beslemesi sağlaması için üzerindeki ayar pininden ayarlanmıştır. UV-C ampullerin çalışmasını kararlı hale getirmek için elektronik balastlar alınmıştır. Ampuller 11W'lık olduğundan alınabilecek balastın minimum 13 W olması gerekmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda distribütörden gerekli balastların temini sağlanıp UV-C lambalara (Philips TUV 11W) bağlantısı yapılmış ve lambalar çalıştırılıp, sisteme montajı yapılmıştır. LPS331AP sensörü basınç ve sıcaklık sensörü olarak kullanılmıştır (Şekil 4).

DHT11 Nem sensörü ise cihaz çıkışına; temizlenen havanın nemini ölçmek için konumlandırılmıştır. Sistem çıkışının 0-5V olması ve motorun kontrol aralığı 0-10V olması sebebiyle, sistemdeki RC filtrenin sonrasına kazancı iki olan evirmeyen yükselteç (LM 358N) eklenmiştir. K3G250RR01H2 EC motorun kontrol edilmesi için arduinonun DAC portları kullanılmıştır. Ancak motorun hız kontrol aralığı (0-10VDC) olduğundan ve arduino maksimum 5V çıkış verebildiğinden dolayı; LM358N yükseltecinde, evirmeyen yükselteç modunda, kazancı 2 olacak şekilde devre kurulumu yapılmıştır. Şekil 5'te devrenin elektronik şeması görülmektedir.



Şekil 4. Cihazın elektronik şeması

Tasarlanan cihazın boyutları içten içe $47 \times 55 \times 55$ cm'den, içten içe $40 \times 40 \times 54$ cm'dir. Cihaz içerisinde rahat çalışılabilmek için cihaz yüksekliği 60 cm'e çıkartılmıştır. Yapılan bu cihaz boyut hesabının doğruluğunu test edebilmek için $40 \times 40 \times 60$ cm'lik bir şase yaptırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Cihazın şase, motor, filtreler, UV-C'lerin ve elektronik bileşenlerinin gösterimi

Tasarlanan sistemde, üç farklı filtre kullanılmıştır. Bunlar; kaset, aktif karbon ve HEPA filtrelerdir. Bu filtrelerin kendi içlerinde farklı sınıfları mevcuttur. Bu sınıflar da sistemin sağlayacağı temiz oda sınıfına, verimine ve basınç kaybına etki etmektedir. Bu süreçte atılan adımlardan biri olarak filtre boyutlandırılması yapılmıştır. Bunun sebebi projenin hedeflerinden biri olan taşınabilirlik için medikal düzeyde sağlanacak debi değerine yakın standart filtre boyutlarını kullanmak yerine hedefe ulaşmak için gerekli ebatlar iki adet formül kullanılarak hesaplanmıştır. Filtreler, model ve sınıflarına göre farklılık gösteren kağıtlardan yapılır. Kullanılacak kağıdın açık alanı belirlendikten sonra kağıt katlanır ve açık haldeki filtre kağıdının bir kere katlanması sonucu bir plise oluşur. Katlanmış haldeki kağıt, istenilen boyutlardaki çerçevenin içerisine konur ve filtrenin ebatları Eş.1 ile belirlenir.

$$\text{Derinlik (m)} = \frac{\text{Kağıt Alanı (m}^2\text{)} \times \text{Katlama Sıklığı(m)}}{2 \times \text{Çerçeve Alanı (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

Debi hesaplamak için kullanılan formül Eş. 2'de gösterilmiştir.

$$\text{Alan(m}^2\text{)} = \frac{\text{Debi (} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{)}}{\text{Hız (} \frac{\text{m}}{\text{sn}} \text{)} \times 3600 (\frac{\text{sn}}{\text{s}} \text{)}} \quad (2)$$

Uygulaması yapılan çalışmada en son olarak 1200 m³'lük debiye ulaşılmıştır. Bu sonuçta sistemin 60 m³'lük odada bir saatte 20 çevrimine eşittir. Filtre boyutlandırılmasının debide kayba sebep olmasından dolayı 1200 m³'e ulaşılması için belirlenen en yakın değer 1290 m³/s' dir. Sistem saatte 20 çevrim ile çalışacağından dolayı 1290 m³'lük debiye ulaşabilmesi için oda hacminin 64.5 m³'e eşit olması gerekmektedir. Bu sonuca Eş.3 ile ulaşılmıştır. Eş. 3'de Q (m³/ s) ortama verilen hava debisi, K hava değişim katsayısı (defa/saat= 1/s), V(m³) ise ortamın toplam hacmidir.

$$Q = K \times V \quad (3)$$

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sağlık kuruluşlarında ortalama bir hasta odasının (yaklaşık 60 m³) medikal düzeyde hava çevriminin sağlanabilmesi hava değişim katsayısının 20 (1/s) olması gerekir. Eş.3'e göre ortama verilmesi gereken temiz hava debisi; ortamın temiz hava ihtiyacının karşılanabilmesi için en az 1200 m³/s debiyi sağlayan motor seçilmesi gerekmektedir. Motor seçiminde sadece debi göz önüne alınmamıştır ve farklı durumlarda değerlendirilmiştir. Bu sebeple EC motorlar kullanılmıştır. Bu motorların bir diğer faydası ise kademeli çalışarak farklı çalışma şekilleri sunabilmesidir. Sonuç olarak motor; birinci kademesi saatte 8, ikinci kademesi saatte 12, üçüncü kademesi saatte 18, dördüncü kademesi saatte 20 ve beşinci kademesi saatte 24 çevrimi yapabilecek şekilde, beş kademeli sistemle tasarlanmıştır.

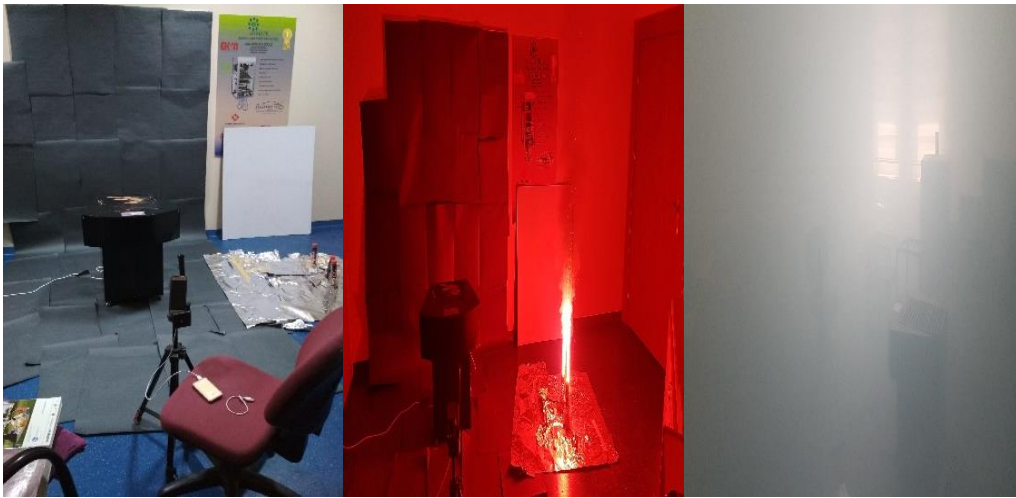
Tablo 1’de 8, 12, 18, 20 ve 24 çevrime göre ayarlanmış kademelerin; motorun bu çevrimleri sağlayabilmeleri için ayarlanması gereken ve filtre boyutlandırılmasından kaynaklı oluşan kayıp sonucu sistem çıkışında üretecekleri debi değerleri gösterilmiştir. Tabloda gösterilen oda hacmi; verim düşümü sonucu motorun, istenilen çevrimleri sağlayabilmesi için varsayım olarak kabul edilmiştir. Tabloda gösterilen sistem çıkış debileri, çalışmanın hedeflediği oda hacmi olan 60 m³’e bölüldüğünde, karşılık gelen çevrimleri sağladığı görülmektedir. Yapılacak desibel testinde; cihazın çıkışından ölçülen desibel (dB) değerleri, Tablo 1’de gösterilen sistem çıkış debisiyle kıyaslanmıştır.

Tablo 1. Kademe buton sisteminin parametreleri

Oda Hacmi (m ³)	Çevrim (1/s)	Motorun Ayarlanması Gerekten Debi (m ³ /s)	Motor Verimi (%)	Sistem Çıkış Debisi (m ³ /s)
64,5	24	1548	97	1501
64,5	20	1290	97	1251
64,5	18	1161	97	1126
64,5	12	774	97	750
64,5	8	516	97	500

1. Kademe butonla, sayısal kontrolle 4.96 Volt gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 500 m³/s debi elde etmektedir. 2. Kademe butonla, sayısal kontrolle 6.37 Volt gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 750 m³/s debi elde edilmektedir. 3. Kademe butonla, sayısal kontrolle 7.25 Volt gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 1126 m³/s debi elde etmektedir. 4. Kademe butonla, sayısal kontrolle 8.30 V gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 1251 m³/s debi elde etmektedir. 5. Kademe butonla, sayısal kontrolle 9.02 Volt gönderilip çalıştırılan motor, çıkışta 1501 m³/s debi elde edilmektedir. Bu sayede kademelere göre desibel testi yapılarak, sisteme yapılan yalıtımın etkisi gözlenmiştir. Testler sonucunda kademelere göre azalmanın 3.5 dB ile 9 dB arasında seyrettiği görülmüştür.

Duman testinde hesaplamalar sonucu yapılan kademe sisteminin, uygulamada istenilen değerleri sağlayıp sağlamayacağını görmek için yapılmıştır. Ortamın dumanla kaplanması için duman kaynağı olarak meşale kullanılmıştır. Test sırasında duman ortamda yayılana kadar beklenmiş, daha sonra cihaz çalıştırılıp ortamdaki dumanın azalımı gözlenmiştir.



Şekil 6. Test düzeneğinin oluşturulması, meşalelerin yakılması ve dumana maruz bırakılan ortam

Yapılan duman testinde ilk olarak; yaklaşık 120 m³’lük odada 3 adet meşale yakılıp oda tamamen dumanla kaplanmış ve cihaz 4. Kademe olan saatte 20 çevrim butonuyla filtrasyon işlemine

başlatılmıştır. Çalışmanın hedefi; 60 m³ lük odayı 60 dakika, 20 çevrim ile temizleyebilmektir. Deneyin yapıldığı ortamın hacmi, hedeflenen hacmin yaklaşık 2 katı olduğundan, deney süresinin ters orantıdan yaklaşık 2 saat çıkması beklenmektedir (Şekil 6). Deneydeki filtreleme işlemi yaklaşık 90 dakika sürmüştür. Deney sırasında, ortam içerisine giren ve çıkan hava kontrollü olarak salınmak istenmiştir. Cihazı çalıştırma ve kontrol amaçlı ortam içerisine girişler en az düzeyde tutularak gerçekleştirilmiştir. Ancak ortamdaki sızdırmazlık tam olarak sağlanamamıştır. Oluşan bu kayıplardan dolayı cihazın 120 dakikada filtrelemesi gereken hava, yaklaşık 90 dakikada filtrelenmiştir. Cihaz; teorik ve deneysel hesaplamalarla bulunup ayarlanan çalışmanın hedefi olan 1200 m³/s' lik havayı, deneysel uygulama sonucu filtrelemeyi başarmıştır.

IV. SONUÇ

Dünya üzerinde önemini ve güncel bir problem olarak konumunu koruyan hava kirliliği yeterli adımların atılmaması sebebi ile her geçen gün etkisini arttırmaya devam etmektedir. Bu durum, sağlık kuruluşlarında ve toplum içerisinde ortak kullanım alanlarında yaşanan ölümlere ve salgın hastalıkların daha hızlı yayılmasına neden olur. Bu sebeple çalışmada bahsedilen probleme yönelik medikal düzeyde hava temizleyen, taşınabilir gerekli standartları karşılayan bir sistem çözüm olarak sunulmuş ve yerli ve milli olarak prototipi gerçekleştirilmiştir.

Cihaz sistemi içerisindeki UV lamba, HEPA filtre, aktif karbon filtre ve kaba filtre sayesinde hava, sağlığa zararlı gazlardan, mikroorganizmalardan, toz ve partiküllerden ayrıştırılıp; havanın medikal seviye sterilizasyonu sağlanmıştır. Böylelikle; pandemi koşullarında (Covid-19) oluşan kapalı ortamlarda ve/veya hastaneler gibi sağlık kuruluşlarında meydana gelen enfeksiyonların ve enfeksiyondan kaynaklı ölümlerin önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Seçilen motor sayesinde standart da uygun olarak saatte çevrimle çalışabilmektedir ve EC motorun bir getirisi olarak kademe seçeneği farklı alternatifler sunmaktadır.

Yapılan bu çalışma kategori olarak, uluslararası düzeyde yenilik kapsamına girmektedir. Bir ürünün medikal seviye olabilmesi için tasarım bileşenlerinin (elektronik ve hammadde vb.) medikal standartlara uygun üretilmiş ve belgeli olması, tasarımın en başından başlayarak tıbbi cihaz standartlarına uygun gerçekleştirilmesi, iç test ve ön muayene prosedürlerini tamamlamış olmalıdır. Tasarlanan bu ar&ge ürünü, ileride CE belgeli bir tıbbi cihaz olabilmesi ve medikal seviye hava temizleme yapılabilmesi için gerekli tasarım kriterleri planlanacak ve cihaz son haline getirilecektir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri Destekleme Programı, ‘Taşınabilir Medikal Seviye Hava Temizleme Sistemi’ başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir. Bu projede emeği geçenlere teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

[1] P.S. Brachman, “Nosocomial infection control: an overview,” *Reviews of Infectious Diseases*, vol. 3, no. 4, pp. 640-648, 1981.

[2] R.P. Wenzel, R.L. Thompson, S.M. Landry, B.S. Russell, P.J. Miller, S. Ponce de Leon, “Hospital-acquired infections in intensive care unit patients: an overview with emphasis on epidemics,” *Infect Control*, vol. 4, no. 5, pp. 371-375, 1983.

[3] R.W. Haley, D.H. Culver, J.W. White, W.M. Morgan, T.G. Emori, “The nationwide nosocomial infection rate: a new need for vital statistics,” *American Journal of Epidemiology*, vol. 121, no. 2, pp. 159-167, 1985.

- [4] D. Pittet, D. Tarara, R.P. Wenzel, “Nosocomial bloodstream infection in critically ill patients. Excess length of stay, extra costs, and attributable mortality,” *The Journal of the American Medical Association*, vol. 271, no. 20, pp. 1598- 1601, 1997.
- [5] E. Pollock, E.L. Ford-Jones, M. Corey, G. Barker, C.M. Mindorff, R. Gold, J. Edmonds, D., Bohn, “Use of the pediatric risk of mortality score to predict nosocomial infection in a pediatric intensive care unit,” *Critical Care Medicine*, vol. 19, no. 2, pp. 160-165, 1991.
- [6] J.L. Vincent, D.J. Bihari, P.M. Suter, H.A. Bruining, J. White, M.H. Nicolas-Chanoin, M. Wolff, R.C. Spencer, M. Hemmer, “The prevalence of nosocomial infection in intensive care units in Europe. Results of the European Prevalence of Infection in Intensive Care (EPIC) Study. EPIC International Advisory Committee,” *The Journal of the American Medical Association*, vol. 274, no. 8, pp. 639-644, 1995.
- [7] V. Jean-Louis, “Nosocomial infections in adult intensive-care units,” *Lancet*, vol. 362, no. 9382, pp. 2068-2077, 2003.
- [8] M.M. Khan, Y. Celik, “Cost of nosocomial infection in Turkey: an estimate based on the university hospital data,” *Health Services Management Research*, vol. 14, no. 1, pp. 49-54, 2001.
- [9] E. Cheek, V. Guercio, C. Shrubsole, S. Dimitroulopoulou, “Portable air purification: Review of impacts on indoor air quality and health,” *Science of The Total Environment*, vol. 766, pp. 142585, 2021.
- [10] M. Guo, M. Zhou, S. Wei, J. Peng, Q. Wang, L. Wang, D. Cheng, W. Yu, “Particle removal effectiveness of portable air purifiers in aged-care centers and the impact on the health of olderpeople,” *Energy and Buildings*, vol. 250, pp. 111250, 2021.
- [11] M. Rodríguez, M. L. Palop, S.Seseña, A. Rodríguez, “Are the portable air cleaners (PAC) really effective to terminate air borne SARS-CoV-2,” *Science of the Total Environment*, vol. 785, pp. 147300, 2021.
- [12] E. Cooper, Y.Wang, S.Stamp, E. Burman, D.Mumovic, “Use of portable air purifiers in homes: Operating behaviour, effect on indoor PM2.5 and perceived in door air quality,” *Building and Environment*, vol. 191, pp. 107621, 2021.
- [13] T. Zhang, S. Wang, G. Sun, L. Xu, D.Takaoka, “Flow impact of an air conditioner to portable air cleaning,” *Building and Environment*, vol. 360, no. 1323, pp. 2047-2056, 2010.
- [14] J. Pei, W. Dai, H. Li, J. Liu, “Laboratory and field investigation of portable air cleaners’ long-term performance for particle removal to be published in: Building and environment,” *Building and Environment*, vol. 181, pp. 107100, 2020.
- [15] J. Cai, W. Yu, B. Li, R. Yao, T. Zhang, M. Guo, H. Wang, Z. Cheng, J. Xiong, Q. Meng, H. Kipen, “Particle removal efficiency of a house hold portable air cleaner in real-world residences: A single-blindcross-overfieldstudy,” *Energy and Buildings*, vol. 203, pp. 109464, 2019.
- [16] A. Shiue, S. Hu, C. Tseng, E. Kuo, C. Liu, C. Hou, T. Yu, “Verification of air cleaner on-site modeling for PM2.5 and TVOC purification in a full-scaleindoorairqualitylaboratory,” *Atmospheric Pollution Research*, vol. 10, no. 1, pp. 209-218, 2019.
- [17] T.C Sağlık Bakanlığı İnşaat ve Onarım Dairesi Başkanlığı. (2010, 20 Ağustos). *Türkiye sağlık yapıları asgari tasarım standartları 2010 yılı kılavuzu* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ekutuphane.saglik.gov.tr/Yayin/414>.

- [18] *Cleanrooms and associated controlled environments-Part1: Classification of air cleanliness by particles concentration*, ISO 14644–1, 2016.
- [19] W.J. Fisk, “Health benefits of particle filtration,” *Indoor Air*, vol. 23, no. 5, pp. 357-368, 2013.
- [20] M.P. Cal, M.J. Rood, S.M. Larson, “Gas phase adsorption of volatile organic compounds and water vapor on activated carbon cloth,” *Energy & Fuels*, vol. 11, pp. 311-315, 1997.
- [21] K.W. Jo ve H.H. Chun, “Application of fibrous activated carbon filter in continuous-flow unit for removal of volatile organic compounds under simulated indoor conditions,” *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 14, no. 1, pp. 347–354, 2014.
- [22] ASHRAE. (2014, July 2). *Ashrae standards strategic plan* [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/2014-2015-ashrae-standards-strategic-plan.pdf>.
- [23] K. Aydın, “Ultraviyole ışınları ile suların dezenfeksiyonu,” *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, İzmir, Türkiye, 2009, ss. 989-1004.
- [24] N. Hoda. (2019, 2 Ocak). *İklimlendirme sistemlerinde iç hava kalitesi için havanın filtrelenmesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.iccevrekalitesi.net/pdf/seminer/2015-19.pdf>.
- [25] S.B. Kim, C.H. Sung, “Kinetic study for photocatalytic degradation of volatile organic compounds in air using thin film TiO₂ photocatalyst,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 35, no. 4, pp. 305-315, 2002.
- [26] T. Obee, R.T. Brown, “TiO₂ photocatalysis for indoor air applications: effects of humidity and trace contaminant levels on the oxidation rates of formaldehyde, toluene, and 1,3-butadiene,” *Environmental Science & Technology*, vol. 29, no. 5, pp. 1223-1231, 1995.
- [27] L.M. Sattler, H.M. Lijstrand, “Method for predicting photocatalytic oxidation rates of organic compounds,” *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 53, pp. 3-12, 2003.
- [28] R.M. Alberici, W.F. Jardim, “Photocatalytic destruction of VOCs in the gas-phase using titanium dioxide,” *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 14, no. 1-2, pp. 58-68, 1997.
- [29] N.I. Goldstein, R.N. Goldstein, M.N. Merzlyak, “Negative air ions as a source of superoxide,” *International Journal of Biometeorology*, vol. 36, pp. 118–122, 1992.
- [30] K. Nagato, Y. Matsui, T. Miyata, T. Yamauchi, “An analysis of the evolution of negative ions produced by a corona ionizer in air,” *International Journal of Mass Spectrometry*, vol. 248, no. 3, pp. 142-147, 2006.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

(1-x).Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃/x.Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ (x=0, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.0) Kompozit Malzemelerinin Yapısal, Morfolojik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi

 Atilla COŞKUN^{a,*},  Benay PERK^b,  Okan AVCI^b,  Barış ALTAN^a

^a Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

^b Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: acoskun@mu.edu.tr

doi: 10.29130/dubited.1001376

Öz

Bu çalışmada sol-jel yöntemi kullanılarak hazırlanan (1-x).Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃/x.Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ (x=0, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.0) kompozit malzemelerinin yapısal, morfolojik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir. Ana ve kompozit malzemelerin x-ışınları kırınım (XRD) desenlerinden, kristal yapı simetrisinde herhangi bir değişiklik meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Kompozit malzemelerin ana pikinin, Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃ ve Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ bileşiklerinin ana pikleri arasında optimize olduğu bulunmuştur. Atomik kuvvet mikroskobu çalışmalarından, bileşiklerin yüzeyindeki tane oluşumlarının aynı doğrultuda olduğu ve çok fazla farklılıkların olmadığı bulunmuştur. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) çalışmaları Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃ ve Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ bileşiklerinin yüzey morfolojilerinin birbirlerinden farklı olduğunu göstermiştir. Elektriksel öz direnç ölçümlerinden, Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃ bileşiğinin yarıiletken ve Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ bileşiğinin 199,1 K'in altında iletkenlik özelliği gösterdiği ortaya çıkarılmıştır. Yarıiletken özellik gösteren Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃ bileşiğine %25 oranında Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ bileşiği katıldığında elde edilen kompozit malzemenin, 88,4 K'in altında iletkenlik özelliği kazandığı ve Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ fazının hacimsel oranının artması sonucunda T_{İM} geçiş sıcaklığının yüksek sıcaklıklara doğru (184,8 K) kaydığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Manyetokalorik etki, X-ışınları kırınım, Sol-jel yöntemi

Investigation of Structural, Morphological and Electrical Properties of (1-x).Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃/x.Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ (x=0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0) Composite Materials

ABSTRACT

In this study, (1-x).Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃/x.Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ (x=0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.0) composite materials were prepared using the sol-gel method and the structural, morphological, and electrical properties were investigated. From the x-ray diffraction (XRD) analysis, was observed that there was no change in the crystal structure symmetries of the pure and composite materials. It was found that the main peak of the composite materials changing between the main peaks of Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃ and Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ compounds. From atomic force microscopy studies, it has been found that the grain formations on the surface of the compounds are in the same direction and there is not much difference between them. Scanning electron microscopy (SEM) studies have shown that the surface morphologies of Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃ and Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ compounds differ from each other. From the electrical resistivity measurements, it was revealed that the Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃ compound was a semiconductor and the Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ compound showed a conductivity behavior below 199.1 K. When 25% of the Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ compound is added to the Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO₃ compound, which has semiconductor properties, the obtained composite material was gained conductivity below 88.4 K. As a result of the increase in the volumetric

ratio of the Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ phase, the T_M transition temperature has shifted towards higher temperatures (184.8 K).

Keywords: Magnetocaloric effect, X-ray diffraction, Sol-gel method

I. GİRİŞ

Gündelik hayatta yaygın olarak kullanılan klima ve buzdolabı gibi soğutucuların ticari olarak üretilmesi ve kullanıma sunulması ekonomik anlamda önemlidir. Bu tür cihazların kullanıldığı soğutma teknolojilerinin temeli klasik gaz-sıkıştırma yöntemine dayanmaktadır. Gazlı soğutma teknolojisi ile soğutma yapan sistemlerin çalışma süreçlerinde karşılaşılan sorunlar ve bakım aşamalarında ortaya çıkan atıkların çevreye oldukça zararlı etkileri olmaktadır. Bu nedenle bilim insanları uzun yıllardan beri, klasik soğutma teknolojisine alternatif olabilecek farklı soğutma sistemleri üzerinde çalışmaktadırlar. Bunlar içerisinde, alışlagelen gaz-sıkıştırma prensibine dayalı soğutucu elemanlarına alternatif olarak ortaya çıkan ve manyetokalorik etkiye (MKE) dayanan manyetik soğutma (MS) sistemleri, üzerinde en fazla ve yoğun olarak çalışılan bir uygulama alanıdır [1-3]. Çevre dostu, verimli ve oldukça dayanıklı olarak da adlandırılabilir olan MS sistemleri gaz soğutma teknolojisine alternatif olabileceği potansiyeline sahiptir. MS sistemlerinde aktif soğutucu eleman olarak kullanılan manyetik malzeme aileleri üzerinde yapılan çalışmaların temelinde oda sıcaklığı civarında kullanılabilirlikleri yatmaktadır. Bu beklenti, manyetik tabanlı soğutuculara, teknolojik ve bilimsel önemlerinin yanı sıra yüksek ticari önem kazandırır. Son yıllarda yapılan araştırmalarda, peroksit yapıdaki manganit bileşiklerin düşük manyetik alanlarda yüksek MKE değerine sahip olmalarından dolayı soğutma teknolojilerinde kullanılabilme potansiyellerinin olduğunu ortaya konulmuştur [4,5].

(R_{1-x}A_x)MnO₃ (R=La, Pr gibi nadir toprak elementi, A ise Ca, Sr, Ba ve Pb gibi +2 değerlikli veya Na, Li, Ag, K gibi +1 değerlikli elementler) kimyasal formundaki manganit bileşiklerini üzerine yapılan çalışmalarda, oldukça yüksek MKE değerleri elde edilmiş ve oda sıcaklığı civarında manyetik soğutucu sistemlerin geliştirilmesinde, bu bileşiklerin teknolojik bir potansiyele sahip olduğu ortaya konmuştur [6,7]. Belli bir sıcaklıkta paramanyetik-ferromanyetik faz geçişi (Curie sıcaklığı, T_C) gösteren bu malzemelerde T_C değeri, R_{1-x}A_xMnO₃ bileşiğinde “A” yerine katılan elementin değerliğine ve miktarına bağlı olarak geniş bir sıcaklık aralığında değişmektedir. R_{1-x}A_xMnO₃ bileşiğindeki nadir toprak elementinin eksiltip yerine +1 veya +2 değerlikli bir elementin katılması sonucunda, yeni bileşik Mn iyonlarının karışık değerlikli olduğu (Mn⁺³ ve Mn⁺⁴ bir arada) bir hale dönüşür. +2 değerlikli element katkısı bileşik içerisindeki bir Mn⁺³ iyonunu Mn⁺⁴ iyonuna yükseltirken, her bir +1 değerlikli element katkısı ise iki Mn iyonunu Mn⁺³’den Mn⁺⁴’e yükseltmektedir. Katkılamaya bağlı olarak bileşik içerisinde bulunan Mn⁺³ ve Mn⁺⁴ iyonlarının sayıları arasındaki değişikliklere bağlı olarak farklılık gösterecek olan Mn⁺³/Mn⁺⁴ oranı bileşiğin yapısal, manyetik ve elektriksel özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Literatürde +1 ve +2 değerliğe sahip elementlerin farklı oranlarda “R” bölgesine ayrı ayrı [8,9] veya “R” bölgesine ve Mn yanına eş zamanlı [10,11] katkılamalarının yapıldığı çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde, Pr_{0.5}Sr_{0.5}MnO₃ (PSMO) ve Pr_{0.5}Sr_{0.41}Ca_{0.09}MnO₃’ün (PSCMO) bileşiklerinin R-bölgesine yapılan katkı elementlerine bağlı olarak bileşiklerin yapısal, manyetik ve manyetokalorik özelliklerinin değiştiği ortaya konulmuştur [9]. Ayrıca, lantan tabanlı manganit bileşiğinin R-bölgesine yapılan Pr ve Sr katkısına ek olarak Mn yanına yapılan Ti katkılaması sonucunda elde edilen La_{0.55}Pr_{0.1}Sr_{0.35}Mn_{1-x}Ti_xO₃ bileşiklerinin manyetik ve manyetokalorik özelliklerinde olumsuz yönde bir durumun meydana geldiği araştırmacılar tarafından açıklanmıştır [10]. Bu çalışmalardan başka, farklı özellik gösteren iki manganit bileşiğini farklı oranlarda karıştırarak kompozit olarak üretmek veya bir manganit bileşiği içerisinde safsızlık oluşturacak şekilde, oksitli bir bileşiğin farklı oranlarda manganit bileşiğinin içerisine karıştırılması gibi çalışmalara da son zamanlarda rastlanmaktadır [12-14]. Bu çalışmaların birinde, sol-jel yöntemi kullanılarak elde edilen La_{0.7}Ca_{0.3}MnO₃ ve La_{0.8}Sr_{0.2}MnO₃, bileşiklerinin belli oranda karıştırılması sonucunda elde edilen kompozit malzemelerin, manyetik ve manyetokalorik özelliklerinin ana malzemelere göre daha zayıf olduğu ancak teknolojik uygulamalar için oldukça önemli bir parametre olan “bağlı soğutma gücünün” üç kat arttığı bulunmuştur [12]. Yukarıda sözü edilen çalışmalardaki en

genel hedefler, oda sıcaklığı civarında oldukça geniş bir sıcaklık aralığında, düşük manyetik alana uygulayarak oldukça yüksek MKE değerlerinin elde edilmesine yöneliktir.

Bu motivasyonla yapılan çalışmada, $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ ve $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ manganit bileşikleri sol-jel yöntemi ile nano boyutta üretilmiş ve belirli oranlarda $((1-x).\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3/x.\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ $x=0, 0.25, 0.50, 0.75$ ve 1.0) ultrasonik banyo yardımıyla karıştırılarak kompozit malzemeler elde edilmiştir. Saf bileşikler ve kompozit malzemeler $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 24 saat hava ortamında sinterlenmiş ve yapısal, morfolojik ve elektriksel özelliklerinde meydana gelen değişiklikler açıklanmaya çalışılmıştır.

II. DENEYSEL YÖNTEMLER

$\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ ve $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ manganit bileşikleri sol-jel yöntemi kullanılarak nano boyutta üretilmişlerdir. Bu bileşikleri üretmek için, yüksek saflıkta $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ tuzları kullanılmıştır. Bileşikler uygun stokiometrik oranlarda elde etmek için, hassas terazi kullanılarak tartma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bileşiklerin çözündürülmesinde saf su kullanılmıştır. Sıvı hale gelmesi sağlanan başlangıç tuzları birleştirilerek, 600 ml'lik bir beher içerisine alınarak ısıtıcı manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilmişlerdir. Manyetik karıştırıcı üzerinde kademeli olarak, $100\text{ }^\circ\text{C}$ 'den $350\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar olacak şekilde ısıtma işlemi kontrollü olarak yapılmıştır. Bu aşama içerisinde bileşiklerin polimer yapı oluşturup jel haline gelmesi için sitrik asit ve etilen glikol kullanılmıştır (1 mol metal için 10 mol sitrik asit ve etilen glikol). Jelleşme sonucunda elde edilen çökelti, porselen krozelere konularak, yüksek sıcaklık fırınında $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'de ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Isıl işlem sonucunda oldukça homojen ve nano boyutta toz şeklinde başlangıç bileşikler elde edilmiştir. Kompozit malzemeleri üretmek için, toz haldeki ($600\text{ }^\circ\text{C}$ 'de yakıldıktan sonra elde edilen) $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ ve $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiklerinden, $(1-x).\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3/x.\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ ($x=0, 0.25, 0.50, 0.75$ ve 1.0) olacak şekilde 1'er gramlık üç farklı kompozit toz malzeme tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan üç kompozit toz bileşik alkol içerisinde çözündürülmüş ve daha homojen hale gelmelerini sağlamak için ultrasonik banyo yardımıyla bir saat karıştırılıp, etüv fırını içerisinde kurumaya bırakılmıştır. Bu işlemlerin sonucunda, iki ana toz bileşik (1'er gram) ve üç farklı kompozit toz malzeme (1'er gram) şekil verilmeleri amacıyla, presleme aparatı yardımıyla 3-4 ton basınç uygulanarak 1,3 cm çapında tablet olarak preslenmişlerdir. Daha sonra elde edilen beş tablet yüksek sıcaklık fırınında $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 24 saat, hava ortamında kristalleşmelerinin sağlanması için sinterlenmişlerdir.

Bruker D8 Advance X-ışını difraktometresi, bileşiklerin kristal yapı özelliklerinin ortaya çıkarılması için kullanılmıştır. Ölçümler, 0.01° adımlarla $20^\circ < 2\theta < 80^\circ$ arasında gerçekleştirilmiştir. Saf ve kompozit malzemelerin yüzeyindeki tane oluşumlarının ve büyüklüklerinin belirlenmesi için, JEOL, JSM 5800 marka, enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisine (EDS) sahip, alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ve NT-MTD marka atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılmıştır. $10\text{-}320\text{ K}$ sıcaklık aralığında çalışan Janis marka düşük sıcaklık kapalı devre kriyostat sistemi, bileşiklerin metal-yalıtkan faz geçiş sıcaklıklarının (T_{IM}) bulunması için kullanılmıştır.

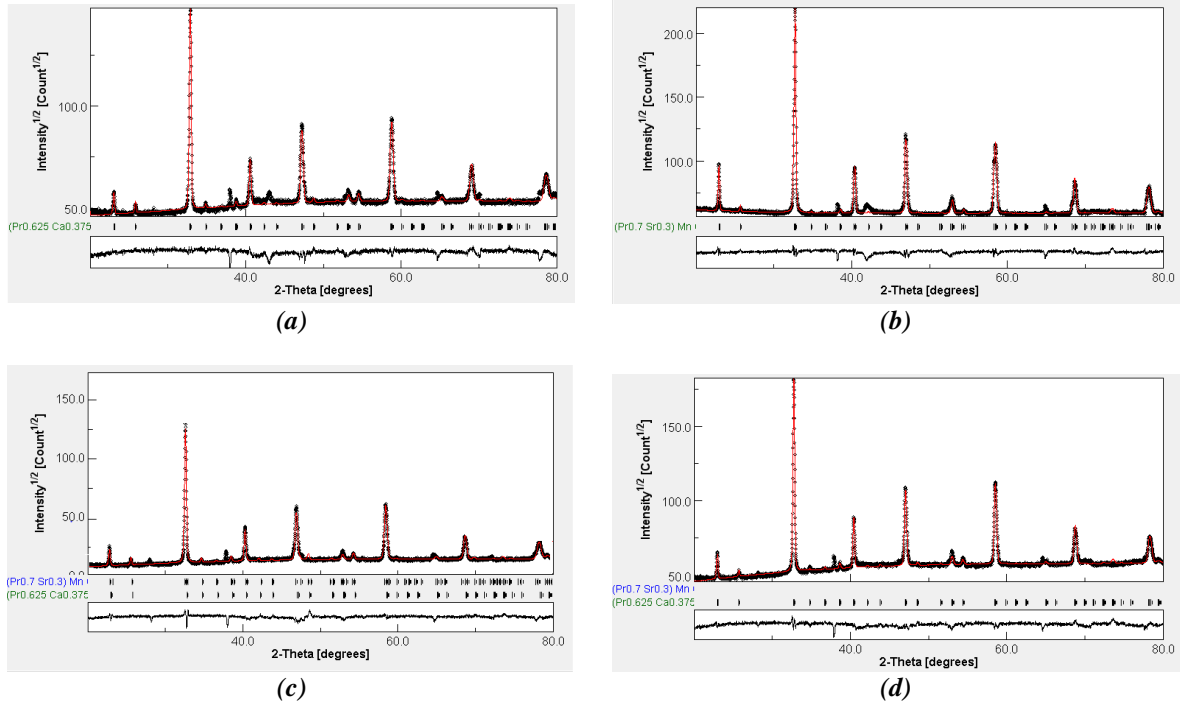
III. SONUÇLAR ve BULGULAR

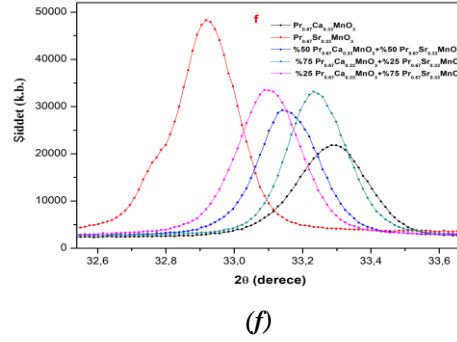
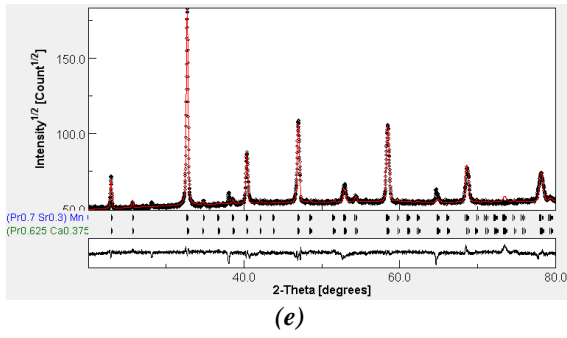
A. X-IŞINIMI KIRINIM DESENLERİ (XRD) ÇALIŞMALARI

$\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$, $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ ve üç farklı kompozit malzemenin uzay simetrisi ve kristal örgü parametrelerini bulmak için malzeme analizi (arıtım) yapan program (Material Analysis Using Diffraction, MAUD) programı kullanılmıştır. Literatürde bu iki bileşik ailesi üzerine yapılan çalışmalardan, kristal simetrisinin ortorombik yapıda oldukları bilinmektedir [15, 16]. Bu bilgiden yola çıkarak arıtım esnasında, $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiği için 1531240 [17] kodlu cif dosyası, $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiği için 4002468 [18] kodlu cif dosyası "Crystallography Open Database, (COD)" açık erim sitesinden alınarak kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin analizi yapılırken ise yukarıda

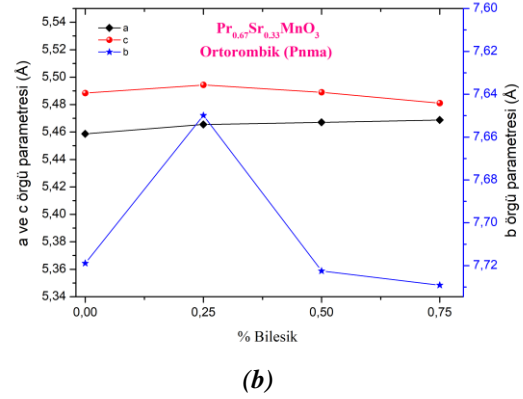
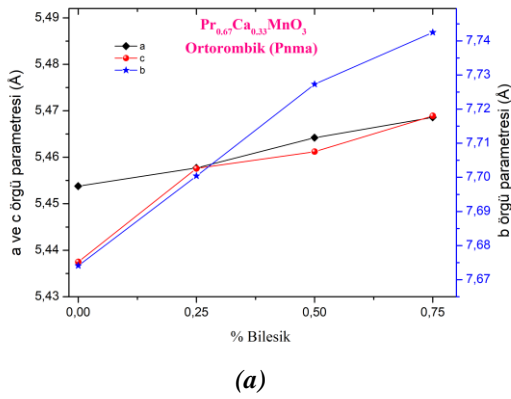
kodları verilen cif dosyaları eş zamanlı olarak arıtıma dahil edilmişlerdir. Bileşiklere ait arıtım sonrası elde edilen XRD desenleri Şekil 1’de, arıtımlar sonucunda elde edilen kristal simetri grupları ve kristal örgü parametreleri ise Tablo 1’de verilmiştir. XRD desenlerinden, tüm bileşiklerin peroskit fazın karakteristik piklerine sahip oldukları görülmektedir. $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ ve $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiklerinin *Pnma* olarak indekslenen ortorombik uzay grubuna sahip oldukları bulunmuştur. Bu iki bileşiğin farklı oranlarda karıştırılması ile üretilen kompozit malzemelerin de aynı uzay grubu ve simetrilere sahip oldukları ortaya çıkarılmıştır. Dolayısıyla kompozit malzemeler içerisinde herhangi bir yapısal faz dönüşümünün gerçekleşmediği söylenebilir. Kompozit malzemeleri oluştururken karıştırma işlemi olan kullanılan ultrasonik banyo aşamasına bağlı olarak, bu tekniğin yeni bir faz oluşumuna neden olmadığı söylemek mümkündür. Ayrıca $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiğinin kompozit malzeme içerisindeki hacimsel oranı azaldıkça, $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ fazına ait **a**, **b** ve **c** örgü parametrelerinin arttığı görülmüştür. Kompozit malzemeler içerisindeki $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ fazının, kompozit malzeme içerisinde hacimsel oranın artmasına bağlı olarak **a** örgü parametresinin sistematik olarak arttığı ancak **b** ve **c** örgü parametrelerinde benzer davranışın meydana gelmediği bulunmuştur. Bunlardan başka, kompozit malzemeler içerisindeki $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ ve $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ fazlarının arıtım sonucunda elde edilen deneysel yüzelerinin, teorik olanlara yakın olduğu ortaya çıkarılmıştır. Şekil 2’de $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ ve $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiklerinin ve kompozit malzemelerin, değişen yüzdelere bağlı olarak, örgü parametrelerindeki değişimleri gösteren grafikler de gösterilmiştir. Yukarıda sözü edilen örgü parametrelerindeki değişimlerin davranış eğilimleri, grafiklerde daha açık bir şekilde görülmektedir.

Şekil 1e’de saf bileşiklerin ve kompozit malzemelerin XRD desenlerindeki ana pikinin (şiddeti en yüksek pik) $32,5^\circ < 2\theta < 33,7^\circ$ arasındaki kırınım deseni gösterilmektedir. Kompozit malzemelerin ana pikinin, $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ ve $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiklerinin ana pikleri arasında kaldığı görülmektedir. Özellikle kompozit malzemelerin ana piki, içerisinde fazla olarak bulunan ana bileşiğin ($\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ veya $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$) pikine doğru yaklaştıkları gözlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada, ana bileşikler kullanılarak elde edilmesi planlanan kompozit malzemelerin hedefe uygun olarak başarılı bir şekilde üretildikleri görülmektedir.





Şekil 1. Saf ve kompozit malzemelerin XRD desenleri (a) $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ (b) $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (c) %75 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %25 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (d) %50 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %50 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (e) %25 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %75 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (f) bileşiklerin $32,5^\circ < 2\theta < 33,7^\circ$ arasında, üst üste çizilen XRD pikleri



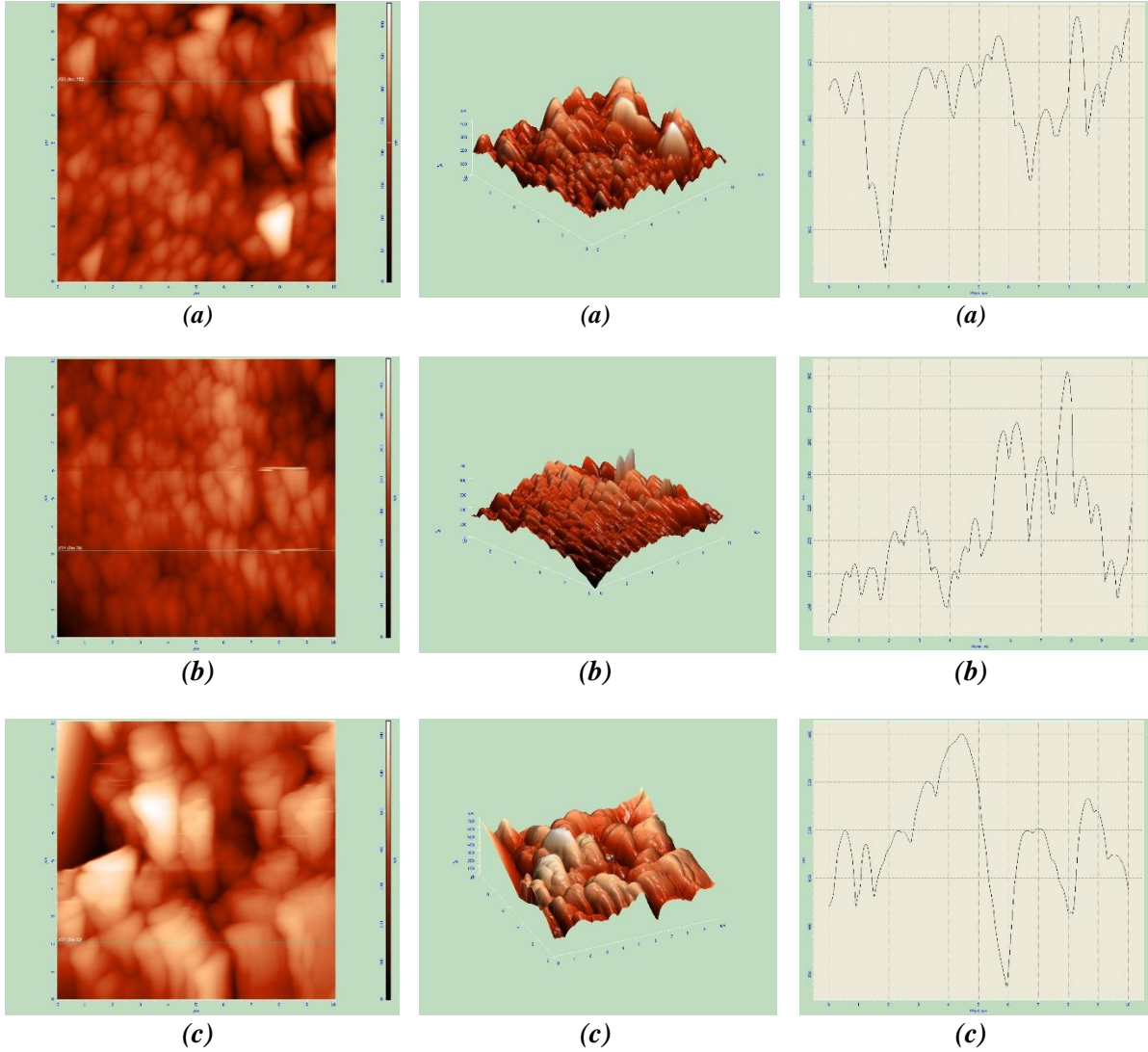
Şekil 2. (a) $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ ve (b) $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ fazlarının, kompozit malzemeler içerisindeki değişen yüzdelere bağlı olarak örgü parametrelerindeki değişimlerinin grafiksel gösterimi

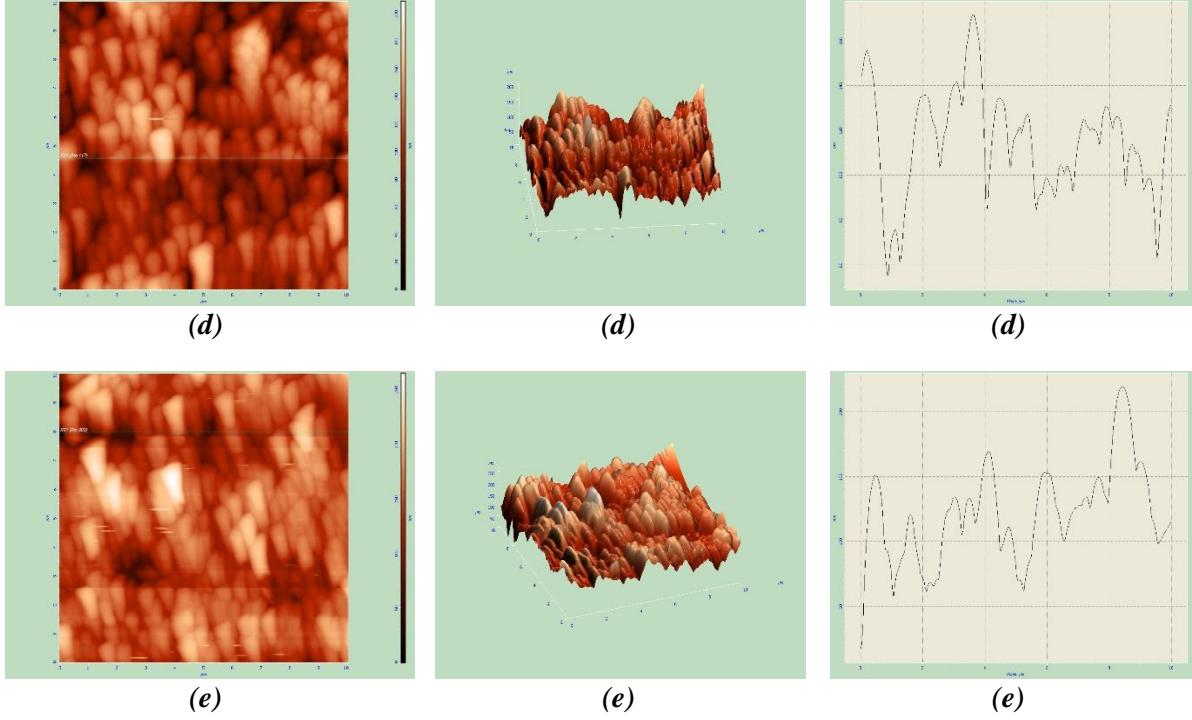
Tablo 1. $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ ve $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ bileşiklerinin ve kompozit malzemelerin kristal örgü parametreleri ve peroskit fazların hacimsel oranları

Ortorombik (Pnma)	a (Å)	b (Å)	c (Å)	Faz yüzdesi (%)
$Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$	5,4538	7,6741	5,4375	100
$Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$	5,4587	7,7189	5,4884	100
%75 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$	5,4577	7,7004	5,4576	80
%25 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$	5,4655	7,6499	5,4943	20
%50 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$	5,4642	7,7273	5,4612	55
%50 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$	5,4671	7,7225	5,4889	45
%25 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$	5,4686	7,7425	5,4689	30
%75 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$	5,4688	7,7291	5,4811	70

B. ATOMİK KUVVET MİKROSKOBU (AFM) ÇALIŞMALARI

Bileşiklerin tamamının $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ alan içerisinde kontak mod (temas modu) kullanılarak alınan iki-üç boyutlu AFM görüntüleri ve yüzey üzerinden herhangi bir anda yapılan tarama sırasında (iki boyutlu şekiller üzerinde gösterilmiştir) elde edilen çizgi profilleri, Şekil 3'de verilmiştir. Bileşiklerin tamamında, yüzeydeki tanelerin oluşum şekilleri ve yönelimleri benzerlik göstermektedir. Tanelerin tamamının aynı yönde dikey bir şekilde büyüdüğü iki ve üç boyutlu görüntülerden anlaşılmaktadır. %50 $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ + %50 $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ kompozit malzemesi dışındaki diğer tüm bileşiklerin tane büyüklüğü neredeyse aynıdır. Bu bileşiğin tanelerinin diğerlerine oranla daha büyük olduğu hem iki boyutlu AFM görüntüsünden hem de bileşiğe ait çizgi profilinden görülmektedir. Bu kompozit haricindeki diğer bileşikler ve kompozit malzemelerin çizgi profillerinde yaklaşık on adet tepe bulunmaktadır. Bu durum $10\mu\text{m}$ 'lik bir hat boyunca on adet tane bulunması demektir. Ancak, %50 $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ + %50 $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ kompozit malzemesinin aynı uzunluktaki çizgi profilinde altı adet tepe varlığı göze batmaktadır. Bu durum bu bileşiğin tanelerinin diğerlerinden büyük olduğu anlamına gelir. Genel olarak tüm bileşiklerin tane oluşumu göz önüne alınırsa, bu durum biraz çelişki yaratmaktadır. Ancak bu sonucun kesin olarak doğru olduğunu söylemek mümkün değildir. Çünkü, $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ bir alan örnek yüzeyi içerisinde oldukça küçük bir yere karşılık gelmektedir. Bu bölgede homojen olmayan bir tane oluşumu söz konusu olabilir.

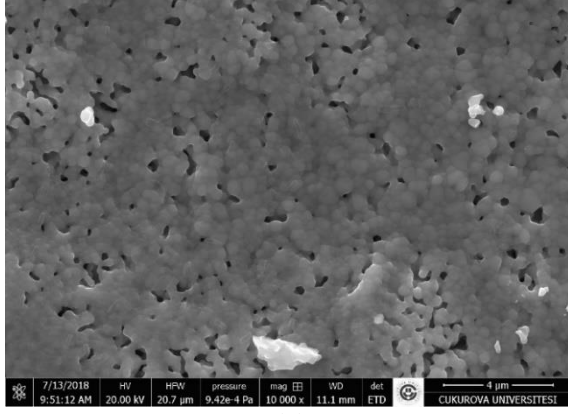




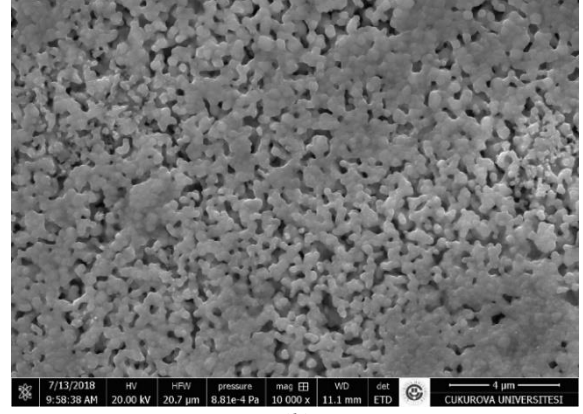
Şekil 3. Saf ve kompozit malzemelerin iki-üç boyutlu AFM görüntüleri ve çizgi profilleri sırasıyla, (a) $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ (b) $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (c) %75 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %25 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (d) %50 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %50 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (e) %25 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %75 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$

C. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ÇALIŞMALARI

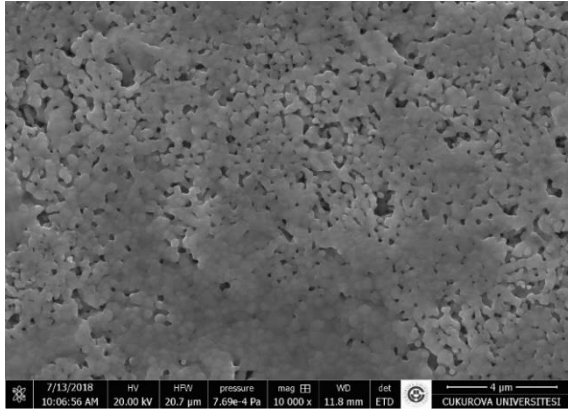
Bileşiklerin 10000 büyütmede çekilen SEM görüntüleri Şekil 4’de gösterilmiştir. Örneklerin tamamında homojen tanelere sahip yüzey oluşumlarının yer aldığı görülmektedir. Ana bileşikler olan $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ ve $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ ’nın yüzey morfolojileri ve tane büyüklüklerinin birbirinden oldukça farklı olduğu ilk göze batan özellik olarak ortaya çıkmaktadır. $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ bileşiğinin yüzeyindeki tanelerin az boşluk içeren ve birbirleriyle çoğunlukla sıkı paketli yapı oluşturdukları gözlenirken, $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ bileşiğinin yüzeyindeki taneler daha küçük, daha fazla boşluk içeren ve tanelerin birbirleriyle sıkı bir paketlenme içerisinde olmadığı görülmektedir. Bu iki bileşiğin karıştırılması ile elde edilen kompozit malzemelerin yüzey morfolojileri adeta iki ana bileşiğin ortalaması gibi gözükmemektedir. $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ bileşiğinin en az olduğu kompozit malzemenin yüzeyindeki tanelerin daha da küçüldüğü gözükmemektedir (Şekil 4c). Yer yer boşluklu ve sıkı paketlenmiş tane oluşumunun, aynı anda, yüzeyin farklı yerlerinde meydana geldiğini söyleyebiliriz. $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ ve $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ bileşiğini eşit oranda içeren kompozit malzemenin (Şekil 4e) yüzeyindeki tanelerin oldukça büyüdüğü gözlenmektedir. Benzer tane oluşumu bu kompozit malzemenin AFM görüntülerinden de elde edilmişti. $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ bileşiğinin en fazla içeren kompozit malzemenin yüzeyindeki tanelerin küçüldüğü, boşluklu ve diğer kompozit malzemelerde gözlenmemiş olan oldukça gözenekli yapılaşmanın meydana geldiği görülmektedir. Kompozit malzemelerin genelinden anlaşılacağı üzere, malzeme içerisindeki saf bileşik oranının artışı/azalışı, kompozit malzemelerin yüzeyinde sistematik bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bu durum, aynı uzay grubu ve simetriye sahip iki ana bileşiğin farklı oranlarda birleştirilmesi sonucunda, kristal yapı içerisinde rekabet halindeki iki farklı iyonik yarıçapa sahip iki farklı elementin, kristal örgü içerisinde yerleşmesindeki (Ca, Sr) farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



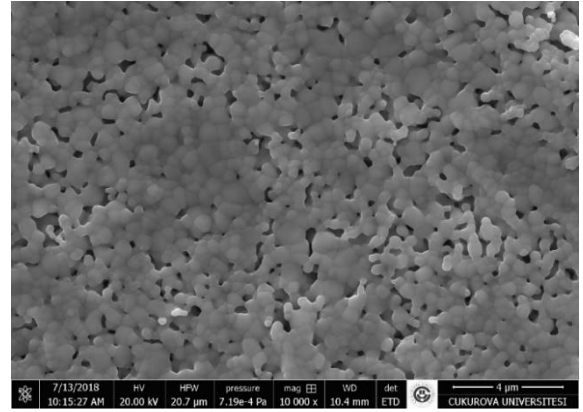
(a)



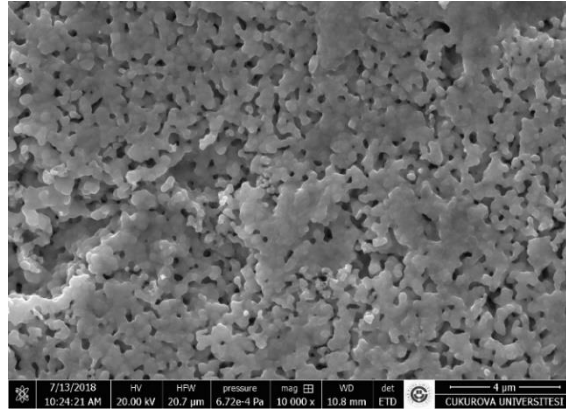
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4. Saf ve kompozit malzemelerin SEM fotoğrafları (a) $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ (b) $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (c) %75 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %25 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (d) %50 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %50 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (e) %25 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %75 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$

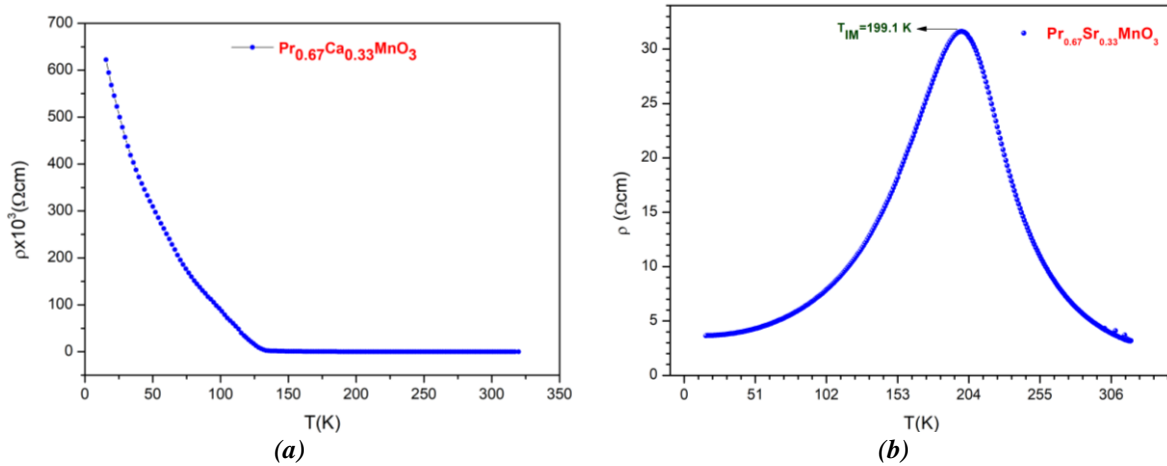
D. ELEKTRİKSEL ÖZDİRENÇ (ρ -T) ÖLÇÜMLERİ

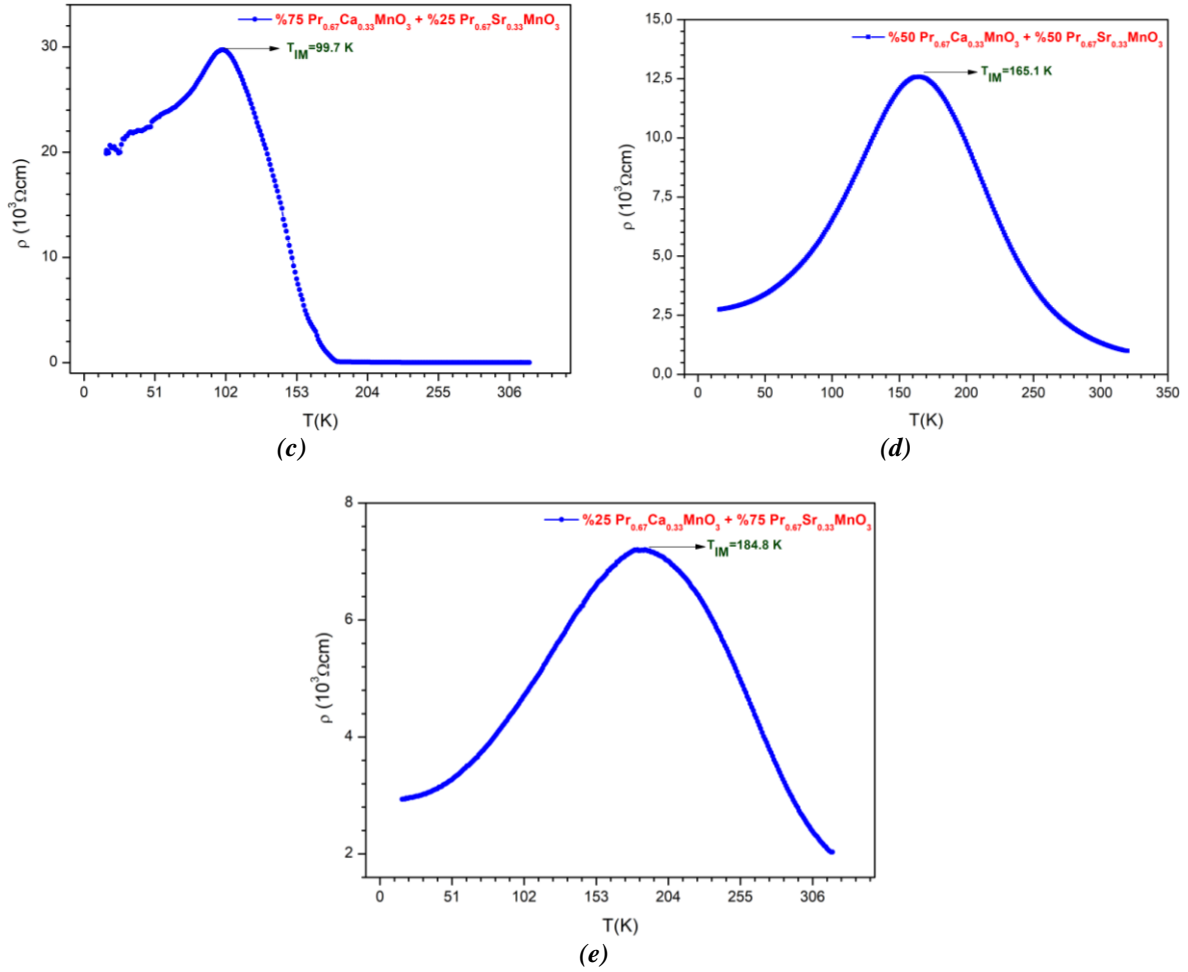
Bileşiklerin ve kompozit malzemelerin sıcaklıkla değişen iletkenlik durumlarının belirlenebilmesi için elektriksel özdirenç ölçümleri gerçekleştirilmiş ve 10-320 K sıcaklık aralığında yapılan ölçümlere ait grafikler Şekil 5’de verilmiştir. Sıcaklık-özdirenç değişim eğrisinde, bir tepe noktasının meydana geldiği sıcaklık ($d\rho/dT = 0$) metal-yalıtkan (yarıiletken) geçiş sıcaklığı (T_{IM}) olarak adlandırılır. Azalan sıcaklıkla, bileşikler yarı iletken veya yalıtkan bir durumdan metalik bir duruma geçiş gösterir. Tüm numunelerin özdirenç, sıcaklık azaldıkça ($d\rho/dT < 0$) artar ve maksimum değere ulaşır. Bu durumdan

sonra yapılan soğutma işlemi, numunelerin metalik iletkenlik ($d\rho/dT > 0$) özelliğe sahip olmasına yol açar [19].

Şekil 5a'da görülen belli bir sıcaklık değerine kadar neredeyse sabit bir davranış sergileyen $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiğine ait öz direnç eğrisi, yaklaşık 130 K'de yukarı yönlü dönüş yaptığı ve azalan sıcaklıkla beraber yukarı doğru gidiş eğiliminin hızlı bir şekilde artmıştır. Bu nedenle bu bileşiğin T_{IM} faz geçişi göstermemiştir. $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiğine ait öz direnç eğrisinin genel davranışından yola çıkarak bu bileşiğin yarıiletken özellik sergilediği söylemek mümkündür. Bu bileşiğin elektriksel direnç davranışı özelliğinin, literatürde yer alan bazı çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmektedir [20, 21]. Şekil 5b'de görülen $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiğinin 199,1 K'de metal yalıtkan faz geçişi (T_{IM}) sergilediği bulunmuştur. Dolayısıyla kompozit malzeme üretmek için kullanılan iki ana bileşiğin, aynı kristal yapıda olmalarına rağmen birbirlerinden farklı elektriksel özellik gösterdiği bulunmuştur. Kompozit malzemelerin tamamının öz direnç eğrilerinde T_{IM} geçiş sıcaklıklarının meydana geldiği gözlenmektedir. Özellikle, $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiğine %25 $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ bileşiği eklenmesi, yarıiletken gösteren bu bileşiğin düşük sıcaklıkta da olsa (99,7 K) T_{IM} geçişi göstermesine neden olmuştur. Kompozit malzemeler içerisindeki $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ fazının hacimsel oranındaki artışa bağlı olarak, kompozit malzemelerin T_{IM} geçiş sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı ve sırasıyla bu değer (%50 $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ +%50 $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$), (%25 $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ +%75 $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$) kompozit malzemeleri için 165,5 K ve 188,8 K olduğu öz direnç eğrilerinden bulunmuştur. Bu durumda kompozit bileşiklerin elektriksel özelliklerinin, içerisindeki hacimsel oranı daha baskın olan ana fazın özelliklerine yakın davranışlar sergilediğini ifade edebiliriz.

Bilindiği gibi, peroskit manganit bileşiklerindeki mangan iyonlarının Mn^{+3} ve Mn^{+4} karışık durumu, bileşiklerin manyetik, elektriksel ve yapısal özellikleri üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bileşikler içerisindeki $\text{Mn}^{+3} - \text{O}^{2-} - \text{Mn}^{+4}$, $\text{Mn}^{+4} - \text{O}^{2-} - \text{Mn}^{+3}$, $\text{Mn}^{+3} - \text{O}^{2-} - \text{Mn}^{+3}$ ve $\text{Mn}^{+4} - \text{O}^{2-} - \text{Mn}^{+4}$ etkileşmelerinin oranı ve baskınlığı, iletim mekanizmasının nasıl olacağından sorumludur. Çünkü bu etkileşmelerden bazıları iletme pozitif katkı sağlarken ($\text{Mn}^{+3} - \text{O}^{2-} - \text{Mn}^{+4}$ ve $\text{Mn}^{+4} - \text{O}^{2-} - \text{Mn}^{+3}$) bazıları da katkı vermemektedir ($\text{Mn}^{+3} - \text{O}^{2-} - \text{Mn}^{+3}$ ve $\text{Mn}^{+4} - \text{O}^{2-} - \text{Mn}^{+4}$). Aynı zamanda iletim mekanizmasına etki eden başka faktörlerin de, bileşiklerin kristal yapı (örgü parametreleri, Mn-O bağ uzunluğu ve Mn-O-Mn bağ açısı gibi) ve morfolojik (tane oluşumu ve büyüklüğü, tane sınırları gibi) özellikleri gibi, dikkate alınması gerekmektedir. Bazı durumlarında elektronların kristal örgü içerisindeki serbest hareketi oldukça kolay olmakta ve bileşik iyi iletkenlik özellikler sergilerken, bazı durumlarda bu durumun aksi oluşumların gerçekleştiği bilinmektedir. Çalışmada elde edilen öz direnç sonuçlarından yola çıkarak, kompozit malzemeler içerisindeki $\text{Pr}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ fazının hacimsel oranındaki artış ve buna bağlı olarak kristal örgü parametrelerindeki değişim iletim mekanizmasında iyileşmelere neden olduğunu söyleyebiliriz. Dolayısıyla, kompozit bileşiklerinin arasında serbest hareket eden elektronların hareket yollarında, kristal örgü parametrelerinden dolayı meydana gelen değişimler, komşu Mn iyonları arasındaki etkileşmelerin (yukarıda sözü edilmişti) gücünün artmasına neden olmuş ve bu durum iletkenliğe pozitif katkı yapmıştır.





Şekil 5. Saf ve kompozit malzemelerin sıcaklıkla değişen öz direnç eğrileri (a) $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ (b) $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (c) %75 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %25 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (d) %50 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %50 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ (e) %25 $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ + %75 $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ ve $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ bileşikleri sol-jel yöntemi ile üretilmiş, farklı oranlarda ultrasonik banyo yardımıyla karıştırılıp üç ayrı kompozit malzeme elde edilmiştir. XRD desenlerinden ana bileşiklerin aynı kristal geometriye sahip (farklı örgü parametrelerinde) oldukları bulunmuştur. Bunların birleştirilmesi ile üretilen kompozit malzemelerin uzay gruplarının da ana bileşiklerin uzay grupları ile aynı olduğu yapılan XRD arıtmaları sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Kompozit malzeme içerisinde yer alan iki farklı peroskit fazın örgü parametrelerinin değiştiği bulunmuştur. Bu durum saf bileşiklerdeki Ca ve Sr iyonlarının birbirlerinden farklı olan iyonik yarıçaplarından dolayı ($r_{Sr^{+2}}=1,36 \text{ \AA}$ ve $r_{Ca^{+2}}=1,18 \text{ \AA}$), kompozit içerisinde bu iyonların değişen sayısal oranların, kristal örgüde de değişiklik meydana getirdiği ile açıklanmıştır. Saf bileşiklerin yüzey morfolojilerinin birbirlerinden farklı olduğu ve bunların bir araya getirilmesi ile üretilen kompozit malzemelerin yüzey morfolojilerinin değiştiği SEM ve AFM analizleri ile ortaya konulmuştur. $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ bileşiği yarıiletken özellik gösterirken, $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ bileşiğinin 199,1 K'in altındaki sıcaklıklarda iletkenlik özellik kazandığı bulunmuştur. $Pr_{0.67}Ca_{0.33}MnO_3$ bileşiğine en az oranda $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ bileşiği katılarak elde edilen kompozit malzemenin, 99,1 K'in altındaki sıcaklıklarda iletkenlik özellik gösterdiği ve $Pr_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ fazının oranının kompozit malzemelerde artmasına bağlı olarak, T_{IM} faz geçişlerinin yüksek sıcaklıklara doğru kaydığı görülmüştür.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, farklı özellikte yapısal, morfolojik ve elektriksel özellik gösteren peroskit manganit bileşiklerin bir araya getirilmesi ile elde edilecek kompozit malzeme veya bileşiklerin, fiziksel özelliklerinde değişikliklerin meydana geleceği ortaya çıkarılmıştır. Özellikle elektriksel ölçüm sonuçlarından elde edilen bulgular, soğutma sistemlerinde kullanılan bu malzemelerin MKE değerlerinde ve uygulama sıcaklık aralığında da optimizasyonların yapılabileceğini gösteren bir ön çalışma olmuştur.

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Hashimoto, T. Numasawa, M. Shino, T. Okada, "Magnetic refrigeration in the temperature range from 10 K to room temperature: the ferromagnetic refrigerants," *Cryogenics*, vol. 21, pp. 647-653, 1981.
- [2] G. V. Brown, "Magnetic heat pumping near room temperature," *J. Appl. Phys.*, vol. 47, pp. 3673-3680, 1976.
- [3] A. C. Hudgins, Jr. A.S. Pavlovic, "Magnetocaloric effect in dysprosium," *J. Appl. Phys.*, vol. 36, pp. 3628-3630, 1965.
- [4] R. Szymczak, R. Kolano, A. Kolano-Burian, V.P. Dyakonov and H. Szymczak, "Giant magnetocaloric effect in manganites," *Acta Physica Polonica A*, vol. 117, pp. 203-206, 2010.
- [5] M. Quintero, J. Sacanell, L. Ghivelder, A. M. Gomes, A. G. Leyva and F. Parisi, "Magnetocaloric effect in manganites: metamagnetic transitions for magnetic refrigeration," *Appl. Phys. Lett.* vol. 97, pp. 121916-121919, 2010.
- [6] A. O. Ayas, M. Akyol, A. Ekicibil, "Structural and magnetic properties with large reversible magnetocaloric effect in $(La_{1-x}Pr_x)_{0.85}Ag_{0.15}MnO_3$ ($0.0 < x < 0.5$) compounds," *Philosophical Magazine*, vol. 96, no.10, pp. 922-937, 2016.
- [7] Y. Samancıoğlu, A. Coşkun, "Magnetic properties of A- and B-site cation doped $La_{0.65}Ca_{0.35}MnO_3$ manganites," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 507, no. 2, pp. 380-385, 2010.
- [8] N. Dhahri, M. Abassi, E. K. Hlil and J. Dhahri, "Magnetocaloric effect in perovskite manganite $La_{0.67-x}Eu_xSr_{0.33}MnO_3$," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 28, pp. 2795-2799, 2015.
- [9] M. Hsini, L. Ghivelder and F. Parisi, "Critical behavior investigated through magnetocaloric effect in $PrSrMnO$ and $Pr(Sr,Ca)MnO$ manganites," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 535, no. 1, pp. 168059-168067, 2021.
- [10] A. Guedri, S. Mnefgui, S. Hcini, E.K. Hlil, A. Dhahri, "B-site substitution impact on structural and magnetocaloric behavior of $La_{0.55}Pr_{0.1}Sr_{0.35}Mn_{1-x}Ti_xO_3$ manganites," *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 297, pp. 122046-122057, 2021.
- [11] I.Z. Al-Yahmadi, A.M. Gismelseed, F. Al Ma'Mari, A.D. Al-Rawas, S.H. Al-Harhi, A.Y. Yousif, H.M. Widatallah, M.E. Elzain, M.T.Z. Myint, "Structural, magnetic and magnetocaloric effect studies of $Nd_{0.6}Sr_{0.4}A_xMn_{1-x}O_3$ (A=Co, Ni, Zn) perovskite manganites," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 875, no.15, pp. 159977-159985, 2021.
- [12] M. Pekała, K. Pekała, V. Drozd, J.-F. Fagnard, P. Vanderbemden, "Effect of nanocrystalline structure on magnetocaloric effect in manganite composites $(1/3)La_{0.7}Ca_{0.3}MnO_3/(2/3)La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_3$," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 629, pp. 98-104, 2015.

- [13] A. El Boukili, O. Mounkachi, M. Hamedoun, P. Lachkar, E.K. Hlil, A. Benyoussef, M. Balli, H. Ez-Zahraouy, "A study of structural, magnetic and magnetocaloric properties of $(1-x)\text{La}_{0.6}\text{Ca}_{0.4}\text{MnO}_3/x\text{Mn}_2\text{O}_3$ composite materials," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 859, pp. 158392-158401, 2021.
- [14] P. Bisht, M. Arpit, G. Rabindra and N. Mahato, "Structural and magnetocaloric properties $(0.75)\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3/(0.25)\text{La}_{0.84}\text{Sr}_{0.16}\text{MnO}_3$ nanocomposite," *Physica B: Condensed Matter*, vol. 619, no. 15, pp. 413215-413224, 2021.
- [15] D. K. Baisnab, T. G. Kumary, A.T. Satya, A. Mani, J. Janaki, R. Nithya, L.S. Vaidhyanathan, M.P. Janawadkar, A. Bharathi, "Intricacies of strain and magnetic field induced charge order melting in $\text{Pr}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{MnO}_3$ thin films," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 323, pp. 2823–2827, 2011.
- [16] A. K. Saw, G. Channagoudra, S. Hunagund, R. L. Hadimani and V. Dayal, "Study of transport, magnetic and magnetocaloric properties in Sr^{2+} substituted praseodymium manganite," *Mater. Res. Express*, vol. 7, pp. 016105-016113, 2020.
- [17] J.A. Collado, C. Frontera, J.L.Garcia-Munoz, C.Ritter, M. Brunelli, M.A.G. Aranda, "Room temperature structural and microstructural study for the magneto-conducting $\text{La}_{5/8-x}\text{Pr}_x\text{Ca}_{3/8}\text{MnO}_3$ ($0 < x < 5/8$) series," *Chemistry of Materials*, vol. 15, pp. 167-174, 2003.
- [18] W. Boujelben, M. Ellouze, A. Cheikhrouhou, C. Dubourdieu, J. Pierre, W.B. Yelon, Q. Cai, K. Shimizu, "Neutron diffraction, NMR and magneto-transport properties in the $\text{Pr}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ perovskite manganite," *Physica Status Solidi, Sectio A: Applied Research*, vol. 191, pp. 243-254, 2002.
- [19] A. Coşkun, E. Taşarkuyu, A. E. Irmak, "High magnetic entropy change in $\text{La}_{0.70}\text{Ca}_{0.21}\text{Ag}_{0.09}\text{MnO}_3$ compound" *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 669, pp. 217-223, 2016.
- [20] S. Mukhopadhyay and I. Das, "Colossal enhancement of magnetoresistance in $\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ / $\text{Pr}_{0.67}\text{Ca}_{0.33}\text{MnO}_3$ multilayers: reproducing the phase-separation scenario," *EPL (Europhysics Letters)*, vol. 83, no. 2, pp. 27003-27008, 2008.
- [21] J. Barratt, M. R. Lees, G. Balakrishnan, and D. Mc K. Paul, "Insulator–metal transitions in $\text{Pr}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$ induced by a magnetic field," *Appl. Phys. Lett.* vol. 68, pp. 424-427, 1996.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Beyin Tümör Tespiti İçin Derin Öğrenme Temelli Bilgisayar Destekli Tanı Sistemi

 Tarıkcın DOĞANAY^{a,*},  Oktay YILDIZ^a

^a Sağlık Bilişimi, Bilişim Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1005401

Öz

Beyin MR segmentasyonu klinik uygulamalarda önem arz etmektedir. Beyin analizi çeşitli yaklaşımlarla bulgular ve anatomik bölgelerin doğru segmentasyonuna dayanır. Beyin MRI analizi, epilepsi, şizofreni, alzheimer, kanser ve bulaşıcı dejeneratif hastalıklar gibi beyin bozukluklarının tedavisi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hasta MRI görüntülerinin doktorlar tarafından manuel segmentasyonu görüntülerin dilim dilim ana hatlarının çıkarılmasını gerektirir. Ancak manuel segmentasyonun uzman görüşü ve teknolojik kısıtları nedeniyle bazı dezavantajları vardır. Bununla birlikte görüntü yorumlama son derece zaman alan bir işlemdir. Tecrübeye bağlı olarak hata yapma oranı da yüksektir. Bu çalışmada, beyin MR görüntülerinden otomatik tümör tespiti için uçtan uca Çok Ölçekli Çok Düzeyli Ağ (Multi-Scale Multi-Level Network MM-Network) modeli önerilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, UNet'teki evrişimli ağ seviyesinde çoklu uzamsal ölçeklerin küresel bağlamsal özelliklerini birleştirerek, ağlar boyunca özellik haritalarının boyutuna bağlı olarak alıcı alanın farklı oranlarda genişlemesini sağlayan genişletilmiş evrişim modülünden yararlanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda önerilen model ile yüksek doğrulukta tümör tespiti sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, Bilgisayar destekli tanı sistemi, Segmentasyon

Deep Learning Based Computer Aided Diagnostic System for Brain Tumor Detection

ABSTRACT

Brain MRI segmentation is important in many clinical applications. Brain analysis is based on various approaches, findings, correct segmentation of anatomical regions. Brain MRI quantitative analysis has been used commonly for characterization of brain disorders such as epilepsy, schizophrenia, Alzheimer's disease, cancer, and infectious degenerative diseases. In this study, an end-to-end deep learning segmentation method called Multi-Scale Multi-Level Network MM-Network has been developed. The main idea is to combine the global contextual features of multiple spatial scales at the convolutional network level in UNet. In addition, the extended convolution module is used, which allows the receptive field to expand at different rates depending on the size of the feature maps throughout the networks. The MM-Network model apply in this study was used for tumor segmentation in brain MR images, and successful results were obtained.

Keywords: Deep learning, Computer aided diagnosis system, Segmentation

I. GİRİŞ

Tıbbi görüntüleme, vücudun iç kısımlarını görsel temsil oluşturarak tıbbi analiz ve müdahale için kullanılan tekniktir. Bu işlem, Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRI), Bilgisayarlı Tomografi (CT), X-ray, Ultrason (US), endoskop, oftalmoskopi ve dermoskopi modaliteleri gibi noninvaziv olarak uygulanır. Görüntüleme modeliteleri hasta tanı, analizi, tedavi planı için önemlidir. Bilgisayar Destekli Tanı (Computer Aided Diagnosis - CAD) sistemi, radyolojik yorumlamalarda örneğin MR görüntülerinde beyin tümörü, tomografi görüntülerinde karaciğer nodülleri, mamografi görüntülerinde meme nodülleri gibi tıbbi görüntülerde var olan tümörlerin ortaya çıkmasını sağlar.

Tıbbi görüntü yorumlama ve teşhis için klinisyenlere yardımcı olmayı amaçlayan bir araçtır [1]. Tümör tanımlanmasına ulaşmak için CAD sistemleri üç ana aşamada gerçekleştirilir: Özellik çıkarma, Seçim ve Sınıflandırma. Bu üç adımın ayrı ayrı ele alınması ve ardından CAD performans ayarı için birlikte entegre edilmesi gerekir. Giriş görüntülerdeki şüpheli tümörleri lokalize etmek tespit aşamasında, tümör sınırlarını belirlemek ise segmentasyon aşamasında tanımlanır. Görüntü analiz uygulamalarında tıbbi görüntü segmentasyonu CAD sistemi için ön adımdır.

Son zamanlarda tıbbi görüntüleme teknikleri, beyin tümörü, Alzheimer hastalığı ve hafif bilişsel bozukluk teşhisi için kullanılmıştır. Bu tür tıbbi uygulamaların manuel olarak yorumlanması, karmaşık bir organ anatomisi ön bilgisi gerektirdiğinden zorlu bir süreçtir [2]. Ayrıca öznel, hataya açık ve zaman alıcıdır. Daha doğru, hızlı analiz ve teşhis için klinik uygulamalarda otomatik segmentasyon algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda daha düşük maliyet ve daha az kullanıcı müdahalesi ile otomatikleştirilmiş anlamsal bölümlenme yöntemleri sağlamak için sayısız gelişmelere tanık olunsada birçok tıbbi görüntüleme bölümlenme görevinde hala zorluklar mevcuttur. Daha spesifik olarak düşük kontrast, karmaşık geometri, düzensiz sınırlar, yüksek sınıflar arası veya sınıf içi varyasyonların yanı sıra bazı görüntüleme modalitelerinde gürültü ve artefakt varlığı, biyomedikal segmentasyon görevlerine ekstra engeller ekler [3]. Bununla birlikte görüntü kalitesi de önemlidir.

Bilgisayar Destekli Tanı sistemlerinde derin öğrenme, görüntü segmentasyon ve sınıflandırma, nesne algılama yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bununla birlikte çoklu tıbbi görüntü segmentasyonu için de literatürde bazı çalışmalar yer almaktadır. Mohammed A. Al-masni ve arkadaşları [4], “Derin Öğrenme Yolu Tabanlı CAD Sistemi Aracılığıyla Dijital Mamogramlarda Meme Kitlelerinin Eş Zamanlı Tespiti ve Sınıflandırılması” adlı çalışmada meme kitlelerin otomatik tespiti ve sınıflandırılması yapılarak radyologlara karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Bu çalışmada ilgi bölge (ROI) tabanlı evrişimsel sinir ağı uygulanarak tümör tespiti ve sınıflandırılma yapılmıştır. Zhao ve arkadaşları [5] yapmış oldukları “Piramit Ayrıştırma Ağı (PSPNET)” adlı çalışma ile literatürde yapılan diğer çalışmaları karşılaştırmışlar ve önerilen PSPNET ile doğruluk oranı %99,38 olan yüksek bir başarı elde etmişlerdir. Al-Masni ve Dong-Hyun Kim tarafından yapılan çalışmada [6], CMM-Ağ mimarisi ile dermoskopi görüntülerinden cilt lezyonları, retinal kan damarları segmentasyonu ve BraTS 2018 MR taramalarından beyin glioma segmentasyonu gerçekleştirilmiş, yapılan deneysel çalışmalarda UNet, DeepLabv3+, Ce-Net, UNet++ algoritmaları ile karşılaştırma yapılmış ve birçok kriterde yüksek performans elde etmişlerdir. Yıldız 2019 [7] yılında yapmış olduğu “Melanoma detection from dermoscopy images with deep learning methods: A comprehensive study” adlı çalışmada cilt kanseri türü olan melanom için otomatik tanı koyabilecek bir sistem önermiş, melanom tanısı için tasarlanan C4Net derin sinir ağ modeli ile beraber literatürde ön plana çıkmış AlexNet, GoogLeNet, ResNet, VGGNet derin öğrenme modelleri ve Yapay sinir ağları, En yakın komşu algoritması ve Destek vektör makinesi gibi geleneksel makine öğrenme yöntemlerini de kapsayan detaylı bir deneysel çalışma yapmıştır. Çalışmada önerilen C4Net derin sinir ağ modeli ile %96,94 doğrulukta melanom tanısı konulabilmektedir. Harun Bingöl ve Bilal Alataş [8] “Derin Öğrenme Yöntemleri Kullanılarak Beyin Tümörü Görüntülerinin Sınıflandırılması” çalışmada, derin öğrenme tekniklerinde sık kullanılan Alexnet, GoogLeNet ve Resnet50 mimarilerini kullanmışlar, Resnet50 mimarisi ile %85,71 başarı oranı elde etmişlerdir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, ağlar boyunca özellik haritalarının boyutuna bağlı olarak farklı oranlarda alıcı alanın genişlemesini sağlayan genişletilmiş evrişim modülü kullanılmıştır. Bu da minimum çözünürlük kaybıyla çok ölçekli bağlamsal bilgilerin yoğun tahminlerini üretmeyi sağlar. Literatürde birçok çalışma olmasına rağmen bu yöntem NIFTI formatındaki kaliteli, yüksek çözünürlüklü veriler ve 18750 veri sayısı ile segmentasyon açısından yüksek oranda doğruluk sağlanmıştır.

II. TEMEL KAVRAMLAR

A. MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME (MRI)

MRI, güçlü manyetik alanlar kullanarak vücuttaki fizyolojik süreçlerin, organların ve dokuların görüntülerini oluşturmak için kullanılan bir görüntüleme tekniğidir. MRI, vücudun kemikli olmayan kısımlarını veya yumuşak dokularını görüntülemek için kullanılır. BT taramalarından temel farkı, x-ışınlarının iyonlaştırıcı radyasyonunu kullanmasıdır. Diz ve omuz yaralanmaları, MRI taramalarında hem röntgen hem de BT taramalarına kıyasla daha iyi çözünürlükle görülebilir. Beyinde, MRI taramaları gri ve beyaz maddeyi ayırt etmek için kullanılabilir ve bu da anevrizma ve tümörlerin belirlenmesine yardımcı olur [9].

B. GÖRÜNTÜ SEGMENTASYONU

Görüntü segmentasyonu görüntü tanıma, makine öğrenmesi ve tıbbi görüntü işleme alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Görüntü ayrıştırma teknikleri, genelde MR görüntülerinin gri tonadaki histogram bilgilerini kullanır. RGB formatındaki renkli MR görüntüleri [0, 255] aralığındaki gri tonlara (Gray Scale) dönüştürülerek kullanılır. Genellikle MR görüntülerinde bulunan tümör bölgesi arka plana göre oldukça küçük bir orana sahiptir. Bu durum tümörün tespitini zorlaştırmaktadır. Bu amaçla ROI (Region of Interest) ile olası tümör bölgesi konveks bir alan içerisine alınarak inceleme yapılır [10].

C. UNet MİMARİSİ

Yapay zeka, insan zekasının karar verme ve problem çözme yeteneklerini taklit etmek için bilgisayar ve makinelerden yararlanır. Makine öğrenimi ya da yapay öğrenme, bilgisayarların örnek veri ya da geçmiş deneyimi kullanarak bir ölçüte göre başarımlarını artıracak biçimde programlanmasındır. Böylece, zamanla gelişen ölçülebilir bir performansla bilinçli kararlar verilebilir [7]. Regresyon, kümeleme, destek vektör makinesi, sığ sınıflandırıcılar gibi geleneksel makine öğrenme teknikleri, tıbbi görüntülemede on yıllardır kullanılmaktadır. Sinir Ağları, beyindeki birbirine bağlı nöronlardan ve karmaşık bilişsel görevleri yerine getirmek için çalışma işlevinden yararlanır. Bir sinir ağı, girdi, gizli ve çıktı katmanlarından oluşur. Giriş katmanı işlenecek verileri alırken, çıkış katmanı istenen görevin sonuçlarını sağlar. Giriş ve çıkış katmanları arasındaki sinir ağına birden fazla gizli katman dahil edilir. Bu nedenle, derin öğrenme genellikle çok sayıda gizli katman içeren derin bir yapıyı ifade eder. Bu mimarinin benzersiz özellikleri, esnekliği ve ölçeklenebilirliğidir [11].

UNet, geliştirilmiş tam evrişimli bir ağ modeli ve yapısı U şekline benzer. Diğer evrişimli sinir ağları ile karşılaştırıldığında, UNet daha az eğitim seti gerektirir ve daha yüksek segmentasyon doğruluğuna sahiptir. Ara katmanın simetri eksenini ile simetrik olan kodlayıcı ve kod çözücünden oluşur [12]. Kodlayıcı, görüntü özelliklerini evrişimli alt örnekleme havuzlama (down-sampling pooling) katmanları aracılığıyla çıkarır. Karşılaştırıldığında, kod çözücü özellik görüntülerinin yukarı örnekleme (up-sampling) katmanı ile gerçekleştirir ve karşılık gelen kodlayıcı ve kod çözücü katmanları arasında üst örnekleme katmanı, görüntünün ayrıntılarını kurtarmasına yardımcı olabilecek çapraz katman (cross-layer) bağlantıları vardır.

Genişletilmiş evrim modülü, ardışık havuzlama katmanları kullanmak yerine çok ölçekli bağlamsal özellikleri bir araya getirebilen dalgacık ayrıştırmasından esinlenmiştir. Filtrelerin alıcı alanını genişleterek bilgilerin çözülmesini kontrol eder. $F[x]$ 'in ayrık bir girdi ve $w[x]$ 'in ayrık bir filtre olduğu düşünülürse [6]; Standart uzaysal evrişim Eş. 1'deki gibi tanımlanır:

$$f[x] * w[x] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} f[k].w[x - k]. \quad (1)$$

Burada '*' ve '.' sırasıyla evrişim ve çarpma işlemlerini gösterir. Daha sonra, genişleme oranı r olan genişlemiş evrişim Eş. 2'deki gibi tanımlanır:

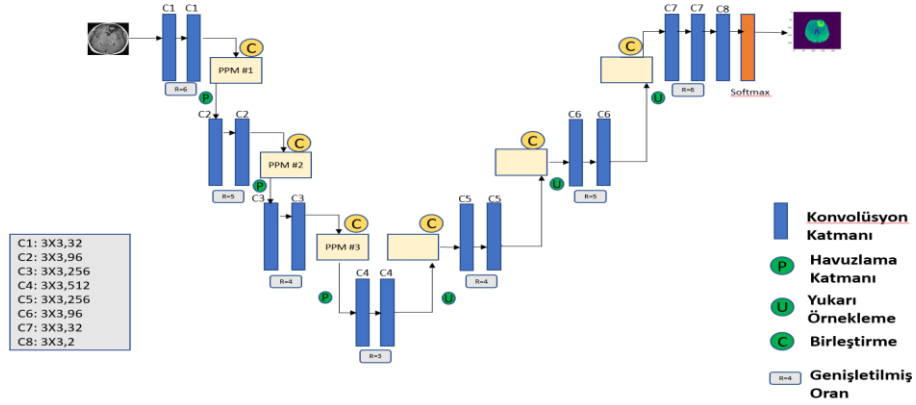
$$f[x] *_r w[x] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} f[k].w[r(x - k)]. \quad (2)$$

Genişleme hızı arttığında, sonuçtaki alıcı alanın katlanarak genişlediğine dikkat edilmelidir. Bu ilişki şu şekilde formüle edilebilir: $(2^{r+1} - 1) \times (2^{r+1} - 1)$, $r = 1$ olduğunda standart evrişim ile aynı hale gelir [13]. Böylece, genişletilmiş evrişim, öğrenme parametrelerinin sayısının doğrusal olarak arttığı bağlamsal bilginin çözünürlüğünü kontrol edilir [6].

Piramit Havuzlama Modülü (PPM) arka plan bilgilerini toplamak için kullanılır. Düzleştirilmiş ve birleştirilmiş çok seviyeli özellikleri sınıflandırma görevlerinde F-CNN'ye geçiren Uzamsal Piramit Havuzu (Spatial Pyramid Pooling) aksine, PPM çeşitli alt düzeyler arasındaki bilgi kaybı azaltılır ve etkili hiyerarşik küresel temsilleri çıkarılır [6]. PPM, kıvrımlı özelliklerin farklı ölçeklerle dört paralel piramit seviyesine alt örneklenmesiyle başlar. Daha büyük havuzlama faktörü, daha kaba özellikler üretirken daha ince temsiller daha küçük havuzlama faktörleriyle çıkarılır. Ardından, 1×1 evrişim kullanan darboğaz katmanı, bağlam boyutunu $1/N$ indirerek hesaplama yeteneğini geliştirmek için havuzlanmış her özellikten sonra doğrudan uygulanır; burada N , piramidin seviye boyutunu gösterir. Örneğin, havuzlama piramidinin seviye boyutu $N=4$ ise (bu çalışmadaki gibi), o zaman her seviyenin özellik haritaları $1/4$ faktörü kadar azaltılacaktır [6]. Piramidin hemen önündeki orijinal özellik haritalarına geri dönmek için havuzlama, çift doğrusal enterpolasyon yoluyla yukarı örnekleme, her piramit düzeyine uygulanır. Sonunda, küresel bağlam özelliklerini birleştirmek için tüm yukarı örneklenmiş özellik haritalarının orijinal özellik haritasıyla birleştirilmesi gerçekleştirilir.

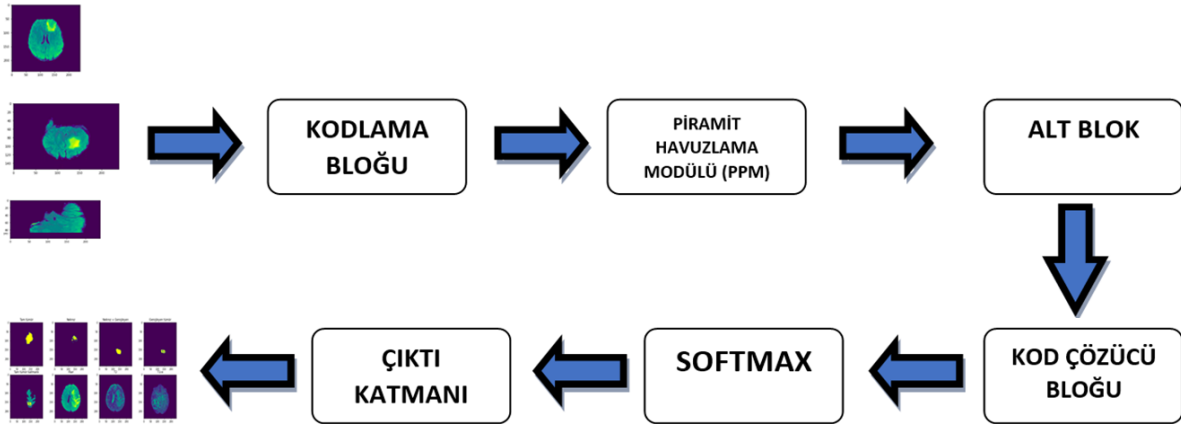
III. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, derin öğrenme UNet algoritması temel alınarak beyin tümör tanısı için yeni ve etkin, uçtan uca bir segmentasyon ağı kullanılmıştır. Önerilen model UNet mimarisine dayanmakta, genişleyen ve daralan yollardan, kodlayıcı (encoder) ve kod çözücü (decoder) olmak üzere iki ağıdan oluşmaktadır. Daralan yol, hiyerarşik özellikleri yakalamaktan sorumlu olan sıralı evrişim ve alt örnekleme katmanlarını içerir. Bu çalışmada UNet evrişimsel ağ yolunda sekiz evrişim ve üç havuzlama katmanı ve yedi yukarı evrişim, üç yukarı örnekleme ve genişleyen yolda tek bir softmax katmanı dahil olmak üzere dört ana seviyeden oluşur. Tümör tespiti için kullanılan mimarinin detayları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Beyin tümör tespiti için UNet mimarisi

Şekil 1’de görüldüğü gibi UNet mimarisi, kodlayıcı (encoder) ağındaki her seviyede (PPM #1, 2 ve 3) tekrar tekrar bağlanmasıyla gerçekleştirilir. Böylece, yeniden tasarlanan sık piramit havuzlama ağı, çok uzamli küresel bilgilerin çıkarılmasına ve öğrenilmesine ve bunların kodlayıcı ve kod çözücü ağlar arasında paylaşılmasına olanak tanır. Bununla birlikte, iç içe evrişim blokları veya yoğun bağlantılar kullanarak kodlayıcıyı kod çözücü boşluğu güçlendirilmiş ve orijinal UNet’ten farklılaştırılmıştır. Önerilen çalışma, kullanılan bileşenlerin yani genişletilmiş evrişim ve PPM çeşitli uzamsal ölçeklerin yakalanmasına yol açan her ağ katmanı aracılığıyla küresel çok ölçekli bağlamsal bilgiden tam olarak yararlanmak için yeniden tasarlanma şekline dayanır ve böylece giriş çözünürlüğü kaybını en aza indirir. Daha spesifik olarak PPM #1 ve 2’de olduğu gibi erken kodlayıcı düzeyinde PPM’nin uygulanması küresel ince taneli ve yapısal ayrıntıların öğrenilmesine ve ayrıca PPM kodlayıcının tepesindeyken giriş çözünürlüğünün (PPM #3) korunmasına neden olur. Şekil 2’de beyin tümör tespiti için blok diyagram verilmiştir.



Şekil 2. Beyin tümör tespiti için blok diyagram

A. DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Önerilen model, duyarlılık (Sensitivity), özgüllük (Specificity), doğruluk (Accuracy), Zar benzerlik katsayısı (Dice Similarity Coefficient), Jaccard indeksi ve Matthew korelasyon katsayısı dahil olmak üzere çeşitli performans değerlendirme ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Duyarlılık (Eş. 3), yüksek duyarlılığa sahip bir testte negatif sonuç, hastalığı ekarte etmek için yararlıdır. Yüksek duyarlılık testi, sonucu negatif olduğunda güvenilirdir. Özgüllük (Eş. 4), yüksek özgüllüğe sahip bir testte pozitif bir sonuç, hastalıkta karar vermek için yararlıdır. Doğruluk (Eş. 5), yüksek doğruluğa sahip bir test pozitif sonuç verir. Zar benzerlik katsayıları (Eş. 6) olarak da bilinen, Sørensen-Zar indeksi veya sadece zar katsayısı, iki veri kümesi arasındaki benzerliği ölçen istatistiksel bir araçtır. Bu indeks, oluşturulan görüntü segmentasyon algoritmalarının doğrulanmasında en yaygın kullanılan araçtır. Jaccard benzerlik katsayısı (Eş. 7) ya da Jaccard indeksi, kümeler arasındaki benzerliği istatistiksel olarak değerlendirir. Matthew (Eş. 8), çok sınıflı duruma doğal bir uzantıyla makine öğrenimi için standart bir performans analizidir [14].

$$\text{Duyarlılık (SEN)} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$\text{Özgüllük (SPE)} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4)$$

$$\text{Doğruluk (ACC)} = \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP} \quad (5)$$

$$\text{Zar Benzerlik Katsayısı (DSC)} = \frac{2 \cdot TP}{(2 \cdot TP) + FP + FN} \quad (6)$$

$$\text{Jaccard İndeksi (JAC)} = \frac{TP}{TP + FN + FP} \quad (7)$$

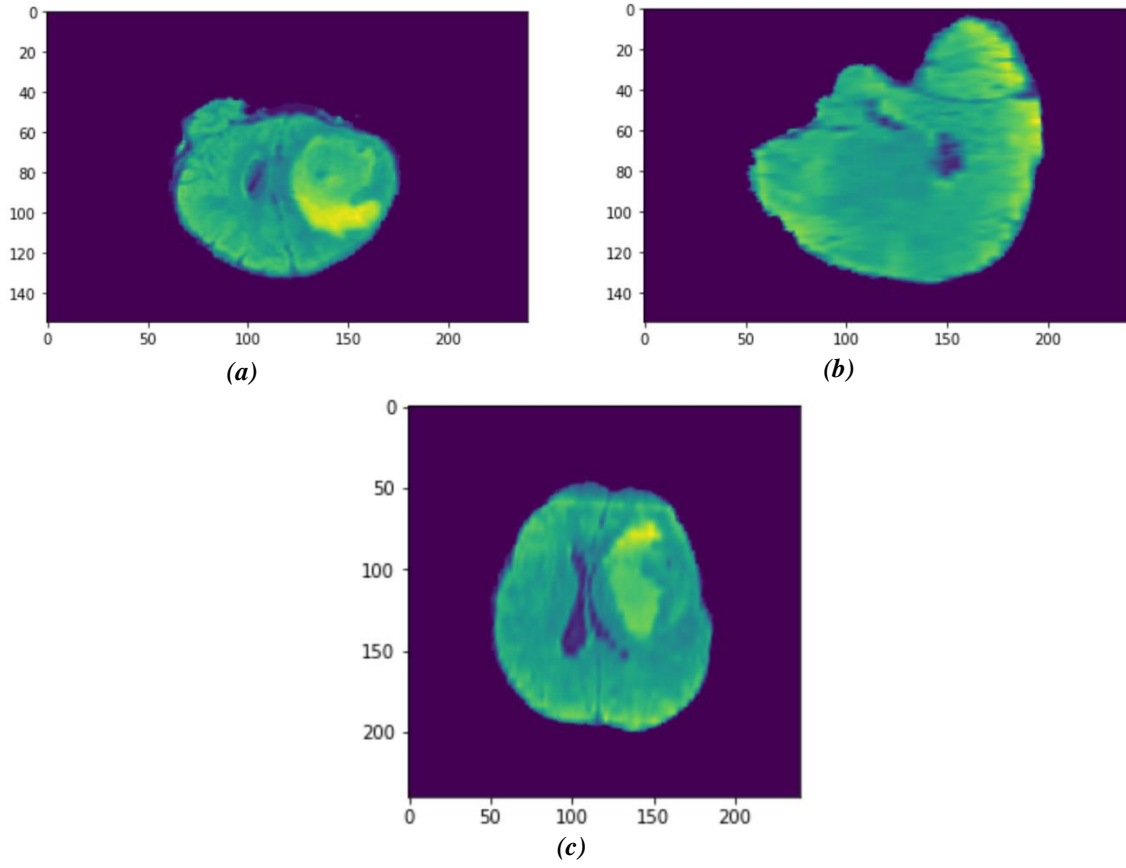
$$\text{Matthew (MCC)} = \frac{TP \cdot TN - FP \cdot FN}{\sqrt{(TP + FN)(TP + FN)(TN + FP)(TN + FN)}} \quad (8)$$

Burada;

TP Doğru Pozitif (True Positive), TN Doğru Negatif (True Negative), FP Yanlış Pozitif (False Positive) ve FN Yanlış Negatiftir (False Negative).

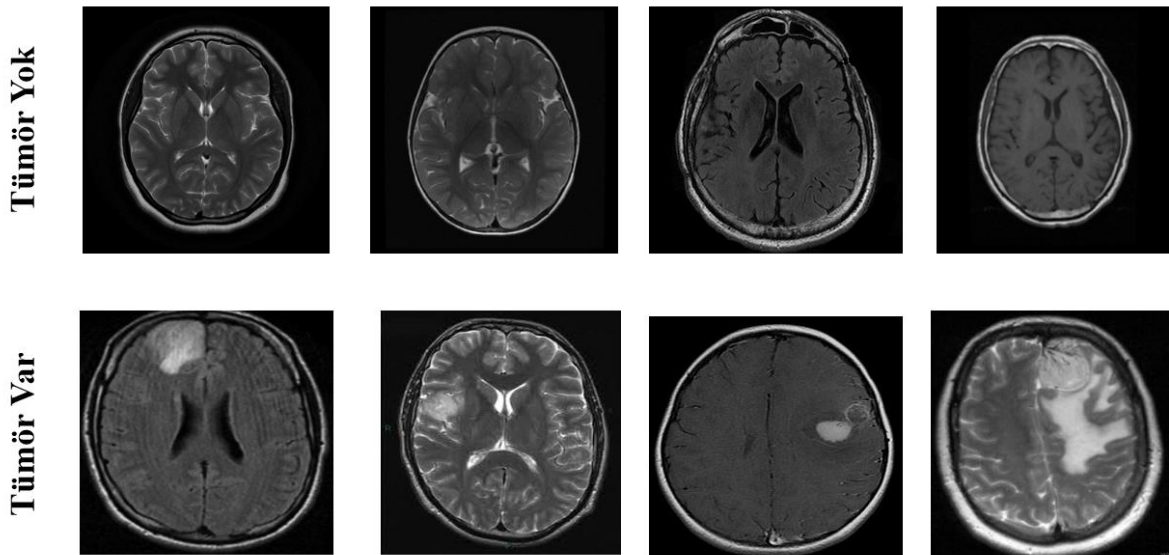
B. VERİ KÜMESİ

Multimodal Brain Tumor Segmentation Challenge (BraTS), beyin tümörleri ile ilgili yapılan çalışmalarda en büyük veriyi sağlayan kamuya açık veri kümesidir [15]. BraTS 2020 veri kümesi kullanılmıştır. Bu veri kümesi ile eğitim verisi için 18750 görüntü, doğrulama test veri işlemleri için 4650 görüntü kullanılmıştır. Şekil 3'de ham görüntüler sırası ile coronal, sagittal, axial kesitler verilmiştir.



Şekil 3. (a) Coronal (b) Sagittal ve (c) Axial ham görüntü kesitleri

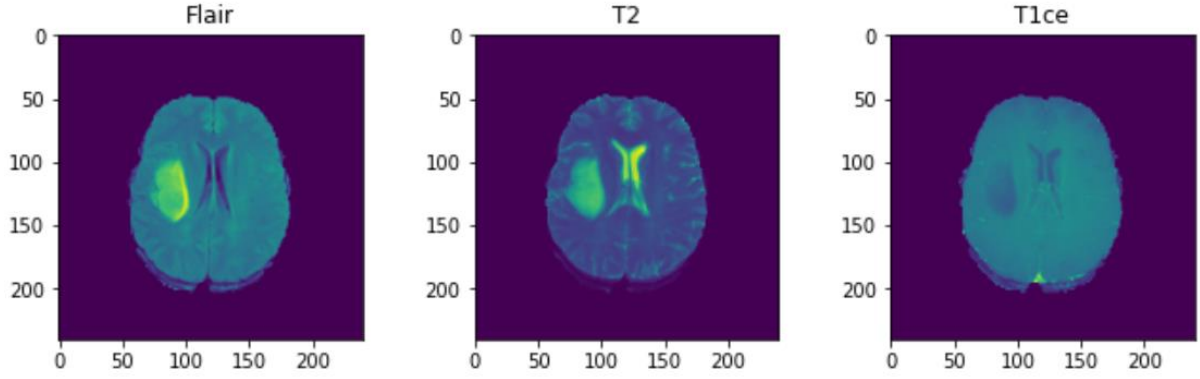
Şekil 4’de deneyler sırasında kullanılan veri seti iki kısma ayrılır. Birinci kısım sağlıklı (tümör olmayan) ikinci kısım ise sağlıklı (tümör olan) hasta görüntülerinden oluşmaktadır.



Şekil 4. Beyin MRI görüntüleri

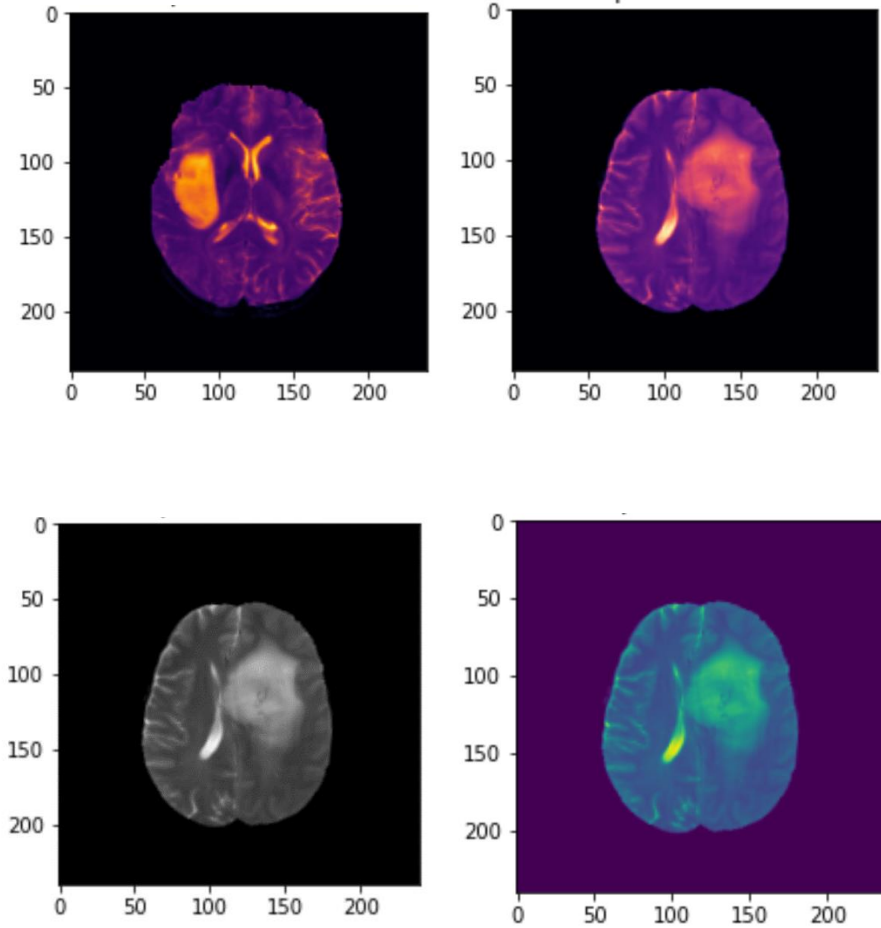
Veri kümesi beynin 3 boyutlu olarak çekilmiş MR görüntülerinden oluşmaktadır. Bu veri kümesindeki her görüntü, $240 \times 240 \times 155$ voksel boyutunda. Bu görüntüler T2 Fluid Attenuated Inversion

Recovery (FLAIR), Kontrastlı T1 ağırlıklı (T1CE), T1 ve T2 olarak adlandırılan 3D MR modalitesini içerir. Şekil 4'te veri kümesinin görselleştirilmiş hali verilmiştir.



Şekil 5. Veri kümesi

Tümör bölgesi T2 ve Flair görüntüsünde belirginlik gösterir. Radyoloji de tümörün ödem kısmı T2 görünümünden çekilir. Flair görünümü ise ödemin beyindeki diğer sıvı dolu yapılardan ayrımını yapmak için kullanılır. Bu çalışmada beyin tümörü tespit edilirken Flair ve T2 görüntüleri beraber incelenir ve eğitime alınır. Flair ve T2 görüntülerin birleştirilmiş durumu Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 6. Flair + T2

C. ÇOK ÖLÇEKLİ ÇOK DÜZEYLİ AĞ İLE BEYİN TÜMÖR TESPİTİ

DeneySEL çalışmalar, NVIDIA GeForce GTX 1050 ekran kartı bulunan bir bilgisayar üzerinde, Python TensorFlow ve Keras kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri kümesi olarak NIFTI formatındaki yüksek çözünürlüklü 18750 örneklem kullanılmıştır. Bu veri kümesinde 18750 örnek eğitim aşamasında 4650 örnek ise modelin test edilmesi aşamasında kullanılmıştır.

Model eğitilirken veri setinde bulunan tüm verileri aynı anda işlemesi bilgisayar donanım gücüne bağlı olarak zaman ve bellek açısından problem oluşturabilir. Batch_size değeri GPU belleğine uygun kullanmak için 2'nin katları şeklinde belirlenmiştir. Batch_size değerindeki değişiklikler model başarısında yüksek etkiye sahiptir. Bu çalışmada Tablo-1 ve Tablo-2'de de görüldüğü gibi Batch_size 16 ve Epoch 30 için en uygun değer %99,45 ile Adam belirlenmiştir.

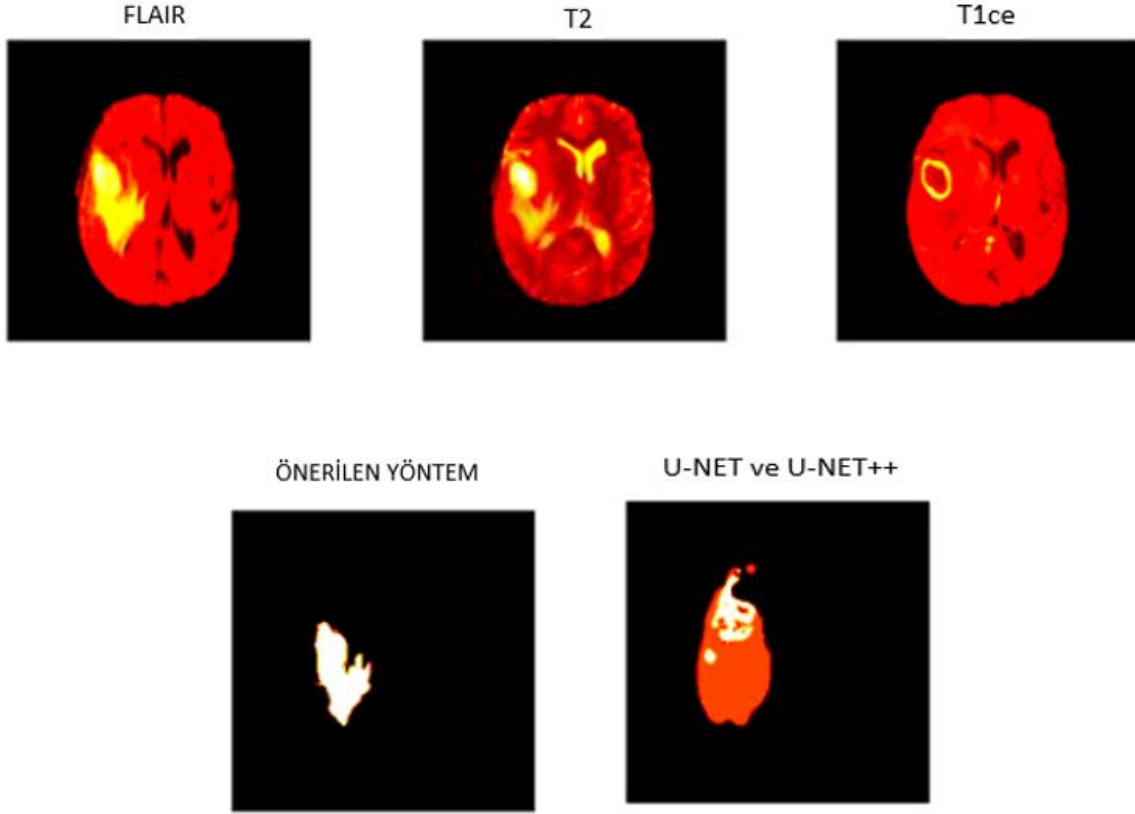
Tablo 1. Parametre karşılaştırma

Batch_Size	Epoch	Acc
4	10	90,50%
4	20	92,60%
4	30	93,20%
8	10	94,50%
8	20	95,20%
8	30	95,80%
16	10	96,90%
16	20	98,20%
16	30	99,45%

Tablo 2. Optimizer karşılaştırma

Optimizer	Acc
Adam	99,45%
SGD	89,60%
RMSprop	98,60%
Adagrad	90,70%
Adadelta	92,80%

Şekil 8'de Flair, T2, T1ce, UNet ve UNet++. Önerilen yöntem, veri görselleştirilmiş durumu verilmiştir. Tümör bölgesinin yüksek derece benzerliği ile başarılı bir sonuç vermiştir.



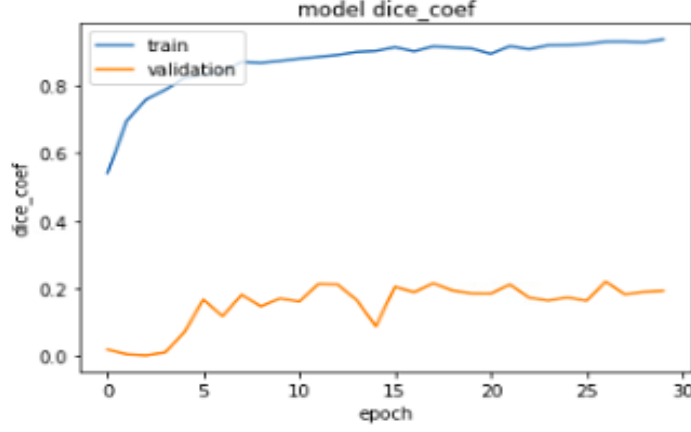
Şekil 7. Tümör Segmentasyon

Bu çalışmada 18750 beyin MRI görüntü üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. 14690 tümör olan (pozitif) örneklem ile tümör olmayan 4060 örneklem kullanıldı. Veri kümesinin büyüklüğü modeli daha başarılı hale getirdiği gözlemlendi. Modelin karışıklık matrisi (confusion matrix) değerleri Tablo-3'de verilmiştir.

Tablo 3. *Karışıklık Matrisi (Confusion Matrix)*

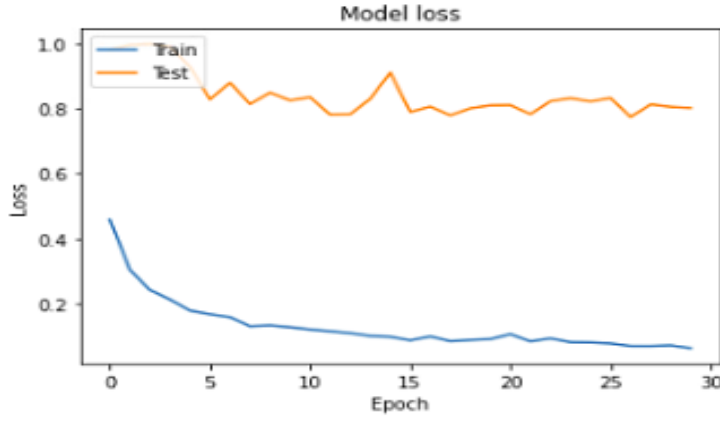
	Tahmin (Negatif)	Tahmin (Pozitif)
Gerçek (Negatif)	3995	65
Gerçek (Pozitif)	40	14650

Model 30 epoch değeri ile eğitilmiş, Dice coefficient değerleri sırası ile 0,9873 ve 0,9851 olarak bulunmuştur. Genişleyen tümör görüntüsünün iç kısmında bulunan küçük Nekroz alanları dahi daha başarılı bir şekilde tespit edilebilmiştir. Şekil 8'de epoch adımları sırasında eğitim ve geçiş süreçlerindeki dice coefficient grafik görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8. Dice - Coefficient grafiği

Şekil 9'da epoch adımları sırasında eğitim ve test süreçlerindeki hata oranı (model loss) grafik görüntüsü verilmiştir. Eğitim sırasında hata oranının düşük olması eğitimin başarılı bir yol izlediğini gösterir.



Şekil 9. Model kayıp eğrisi

IV. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

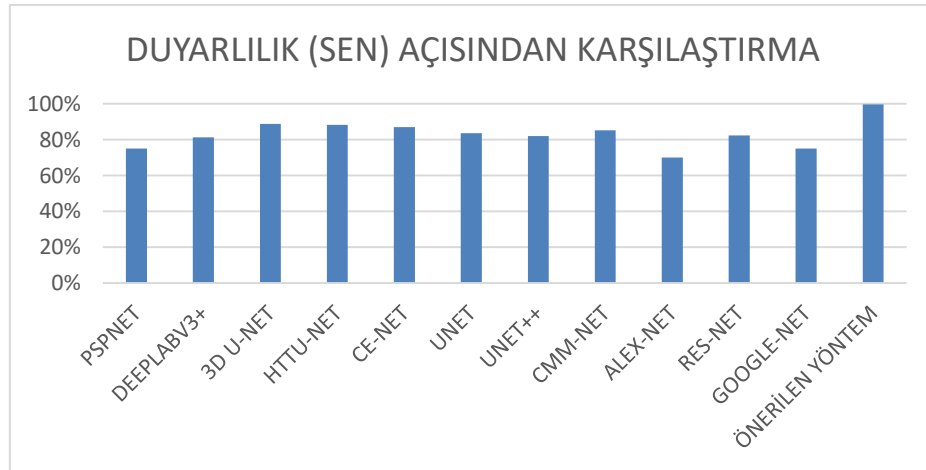
Gerçekleştirilen çalışmada, derin öğrenme UNet algoritması temel alınarak beyin tümör tanısı için yeni ve etkin bir uçtan uca bir segmentasyon ağı kullanılmıştır. Tanı modeli çıkarımında, UNet'in kodlayıcı ağına hem genişletilmiş evrişim hem de piramit havuzlama modüllerinden yararlanılmıştır. Önerilen segmentasyon yöntemi, son derin öğrenme yaklaşımlarına kıyasla beyin tümörleri tespiti üzerinde üstün performans göstermiştir. Ağlar boyunca özellik haritalarının boyutuna bağlı olarak farklı oranlarda alıcı alanın genişlemesini sağlayan genişletilmiş evrişim modülü kullanılır, bu da minimum çözünürlük kaybıyla çok ölçekli bağlamsal bilgilerin yoğun tahminlerini üretmeye yol açar. Kodlayıcı ağıdaki her düzeyde eklenen bloklar, uygun piramit temsillerini içerir. Bu durum uygulanan diğer yöntemlerden farklılığını gösterir. Bu piramit temsiller sayesinde görüntü segmentasyonu diğer mimariler ile karşılaştırıldığında çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda BraTS 2020 veri kümesinden 18750 örneklem model çıkarımı için kullanılmıştır. 4650 örneklem üzerinde yapılan testte %99,45 doğrulukta tümör tanısı gerçekleştirilmiştir.

Literatürde BraTS 2020 veri kümesini kullanan çalışmalar ile çok düzeyli çok ölçekli ağ modeli ile gerçekleştirilen deneysel çalışma karşılaştırması Tablo-4’de verilmiştir.

Tablo 4. Tümör segmentasyon performansı

METHOD	SEN	SPE	ACC	DSC
PSPNET [5]	%74,94	%99,73	%99,38	%76,89
DEEPLABV3+ [16]	%81,30	%99,30	%99,03	%82,86
3D U-NET [17]	%88,70	%99,50	-	%88,90
HTTU-NET [18]	%88,30	%99,90	-	%86,50
CE-NET [20]	%86,91	%99,28	%99,11	%82,90
UNET [21]	%83,63	%98,27	%98,16	%71,28
UNET++ [22]	%82,03	%98,31	%98,10	%83,05
CMM-NET [6]	%85,19	%99,55	%99,35	%83,95
ALEX-NET [8]	%70	%86,21	%79,59	-
RES-NET [8]	%82,35	%87,50	%85,71	-
GOOGLE-NET [8]	%75	%89,66	%83,67	-
ÖNERİLEN YÖNTEM	%99,72	%98,39	%99,45	%99,28

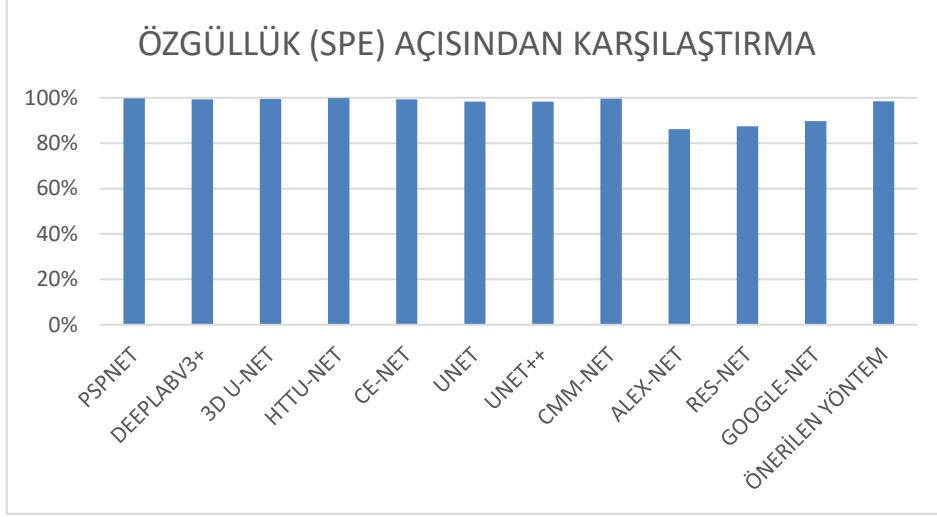
Tablo-4’de görüldüğü gibi; Önerilen çok düzeyli çok ölçekli ağ modelinin literatürde yapılan çalışmalar [5,6,8,16,17,18,20,21,22] ile kıyaslandığında daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Önerilen yöntemin Duyarlılık (SEN) açısından yüzdelik kıyaslaması Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. Duyarlılık karşılaştırması

Şekil 6’da görüldüğü gibi; Önerilen yöntem, PSPNET, DEEPLABV3+, 3D U-NET, HTTU-NET, CE-NET, UNET, UNET++, CMM-NET, ALEX-NET, RES-NET, GOOGLE-NET karşılaştırıldığında sırasıyla %33,06, %22,65, %12,42, %12,93, %14,73, %19,23, %21,56, %17,05, %42,45, %21,09 ve %32,95 SEN sonuçları önemli bir artış göstermiştir.

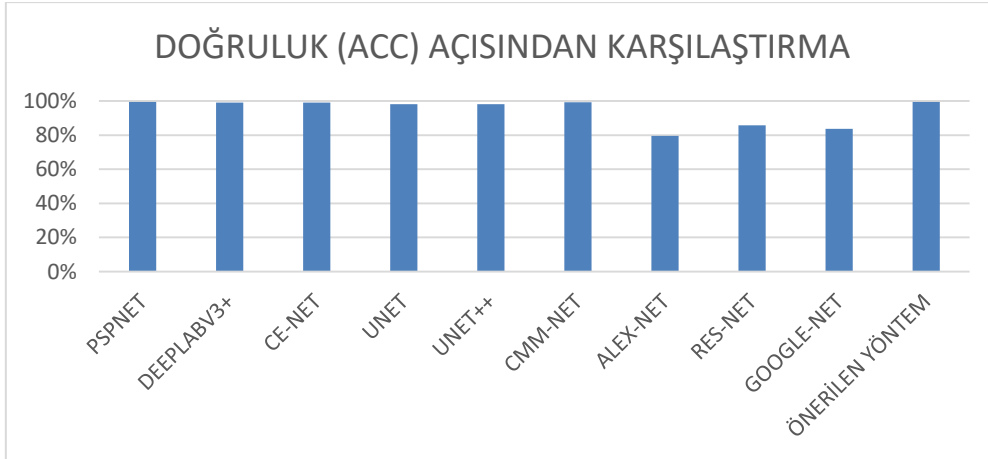
Önerilen yöntemin Özgüllük (SPE) açısından yüzdelik kıyaslaması Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Zar benzerlik katsayısı karşılaştırması

Şekil 11’de görüldüğü gibi; Önerilen yöntem, UNET, UNET++, ALEX-NET, RES-NET, GOOGLE-NET karşılaştırıldığında sırasıyla %0,12, %0,08, %14,12, %12,44 ve %9,73 SPE sonuçları önemli bir artış göstermiştir.

Önerilen yöntemin Doğruluk (ACC) açısından yüzdelerle kıyaslaması Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Doğruluk karşılaştırması

Şekil 12’de görüldüğü gibi; Önerilen yöntem, PSPNET, DEEPLABV3+, CE-NET, UNET, UNET++, CMM-NET, ALEX-NET, RES-NET, GOOGLE-NET karşılaştırıldığında sırasıyla %0,07, %0,42, %0,34, %1,31, %1,37, %0,10, %24,95, %16,03 ve %18,85 ACC sonuçları önemli bir artış göstermiştir.

Bilgisayar destekli tanı sistemi özellikle teşhis ve tanı da önemli rol oynamaktadır. Beyin analizi çeşitli yaklaşımlarla bulgular ve anatomik bölgelerin doğru sınıflandırılmasına dayanır. Bu çalışmada insan hayatını olumsuz yönde etkileyen bir hastalığın teşhisine yönelik yöntem geliştirilmiştir. Önerilmiş olan model %99,45 sonucu ile yüksek başarı performansına ulaşmıştır. Aynı model ile ileride tanı ve teşhis için medikal görüntüler üzerinden çalışma yapılabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Mohsen, E.S. El-Dahshan, E.S. El-Horbarty and A.B M.Salem, "Brain tumor type classification based on support vector machine in magnetic resonance images," *Annals of Dunarea de Jos University of Galati*, vol. Fascicle II, Year IX, 2017.
- [2] H. Chen, Q. Dou, L. Yu, J. Qin and P.A Heng, "VoxResNet: Deep voxelwise residual networks for brain segmentation from 3D MR images," *Neuroimage*, vol.170, pp.446-455, 2018.
- [3] S.S. Yadav and S.M. Jadhav, "Deep convolutional neural network based medical image classification for disease diagnosis," *Journal of Big Data*, vol.6, no.1, pp.113, 2019.
- [4] M. A. Al-masni, M. A. Al-antari, J.M Park, G. Gi, T.Y Kim, P.Rivera, E. Valarezo, M.T. Choi, S.M Han and T.S. Kim, "Simultaneous detection and classification of breast masses in digital mammograms via a deep learning YOLO-based CAD system," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol.157, pp.85-94, 2018.
- [5] Zhao, Hengshuang, Jianping Shi, Xiaojuan Qi, Xiaogang Wang and Jiaya Jia. "Pyramid Scene Parsing Network." *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp.6230-6239.
- [6] M.A. Al-masni and D.H. Kim, "CMM-Net: Contextual multi-scale multi-level network for efficient biomedical image segmentation," *Scientific Reports*, vol.11, no.1, pp. 10191, 2021.
- [7] O. Yıldız, "Melanoma detection from dermoscopy images with deep learning methods: A comprehensive study," *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* , vol.34, no.4, pp.2241-2260, 2019.
- [8] H. Bingol ve B. Alatas , "Classification of brain tumor images using deep learning methods," *Turkish Journal of Science and Technology*, c. 16, sayı. 1, ss. 137-143, 2021.
- [9] I. Rizwan I Haque and J. Neubert, "Deep learning approaches to biomedical image segmentation," *Informatics in Medicine Unlocked*, vol.18, pp. 100297, 2020.
- [10] F. Bulut, İ. Kılıç ve F. İnce, "Beyin tümörü tespitinde görüntü bölütleme yöntemlerine ait başarımların karşılaştırılması ve analizi," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 20, ss. 173-186, 2018.
- [11] R. Kijowski, F.Liu, F. Caliva and V.Pedoi, "Deep learning for lesion detection, Progression, and Prediction of Musculoskeletal Disease," *J Magn Reson Imaging*, vol. 52, no. 6, pp.1607-1619, 2020.
- [12] Y. Hou, Z. Liu, T. Zhang and Y. Li, "C-UNet: Complement UNet for remote sensing road extraction," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 21, no. 6, pp. 2153, 2021.
- [13] Y.Fisher and K.Vladlen, "Multi-Scale context aggregation by dilated convolutions," *CoRR*, vol. 1511.07122, 2016.
- [14] M. A. Al-masni, M. A. Al-antari, M.T. Choi, S.M. Han and T.S. Kim, " Skin lesion segmentation in dermoscopy images via deep full resolution convolutional networks," *Comput Methods Programs Biomed.* vol.162, pp. 221-231, 2018.

- [15] S. Bakas, M. Reyes, A. Jakab, S. Bauer, M. Rempfler, A. Crimi, "Identifying the best machine learning algorithms for brain tumor segmentation, progression assessment, and overall survival prediction in the BRATS challenge," 2018, arXiv:1811.02629.
- [16] Chen, L.Chieh and Zhu, Yukun and Papandreou, George and Schroff, Florian and Adam, Hartwig. "Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation." 2018, arXiv 1802.02611.
- [17] Isensee, F., Kickingereder, P., Wick, W., Bendszus, M. ve Maier-Hein, "No new-net.", *International MICCAI Brainlesion Workshop*, 2018, pp. 234–244.
- [18] N. M. Aboelenein, P. Songhao, A. Koubaa, A. Noor and A. Afifi, "HTTU-Net: hybrid two track U-Net for automatic brain tumor segmentation," *IEEE Access*, 2020, pp. 101406-101415.
- [19] J. Zhang, Z. Jiang, J. Dong, Y. Hou and B. Liu, "Attention Gate ResU-Net for Automatic MRI Brain Tumor Segmentation," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 58533-58545, 2020.
- [20] Gu, Zaiwang and Cheng, Jun and Fu, Huazhu and Zhou, Kang and Hao, "CE-Net: Context Encoder Network for 2D Medical Image Segmentation," in *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 38, no. 10, pp. 2281-2292, 2019.
- [21] R. Olaf and Fischer, P. Brox, Thomas," U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation," in *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*,2015, pp.234-241.
- [22] Z. Zhou, M. M. R. Siddiquee, N. Tajbakhsh and J. Liang. "UNet++: Redesigning Skip Connections to Exploit Multiscale Features in Image Segmentation." *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2020, pp.1856-1867.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

2,6-bis-benzimidazolpiridin Esaslı Çinko(II) Kompleksinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

 Fatih PEKDEMİR^{a,*}

^a Kimya Bölümü, Fen Fakültesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fatihpekdemir@beun.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1023528

ÖZ

Bu çalışmada, üç-dişli *bis*-benzimidazol piridin türevi ligant (L) ve bu ligantın nötr Zn(II) kompleksi [ZnLCl₂] sentezlendi. Elde edilen bu yeni koordinasyon bileşiğinin yapısı aydınlatılarak, elektrokimyasal özellikleri araştırıldı. Moleküllerin yapısal karakterizasyonunda çeşitli spektroskopik yöntemler (FT-IR, ¹H NMR, ¹³C NMR, MALDI-TOF-MS, UV-Vis gibi) kullanıldı. Elektrokimyasal özellikleri ise DMF içerisinde dönüşümlü voltametri (CV) tekniği ve kare dalga voltametri kullanılarak araştırıldı. Tarama hızı ve pik akımı arasındaki ilişki kullanılarak kompleksin elektrokimyasal mekanizması aydınlatılmış, kompleksin yarı-tersinir ve difüzyon kontrollü bir davranış sergilediği ortaya konulmuştur. Bu nedenle, kompleksin özellikle de redoks akışlı piller, güneş pilleri ve elektrokataliz gibi alanlarda uygulanabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çinko(II), Bis-benzimidazol, Üç-dişli ligant, Elektrokimya.

Synthesis, Characterization and Investigation of Electrochemical Properties of Zinc(II) Complex Based on 2,6-*bis*- benzimidazolepyridine

ABSTRACT

In this study, tridentate *bis*-benzimidazole pyridine derivative ligand and its neutral Zn(II) complex [ZnLCl₂] were synthesized. The structure of this novel coordination compound obtained was elucidated and its electrochemical properties were investigated. In the structural characterization of the compounds were used various spectroscopic methods (such as FT-IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR, MALDI-TOF-MS, UV-Vis). Its electrochemical properties were investigated in DMF using cyclic voltammetry (CV) technique. The obtained results showed that the complex exhibits quasi-reversible redox potential. Its electrochemical properties were investigated using cyclic voltammetry (CV) technique and square wave voltammetry in DMF. Using the relationship between the scanning rate and the peak current, the electrochemical mechanism of the complex was elucidated and it was lay out shown that the complex exhibits a quasi-reversible and diffusion-controlled behavior. Therefore, it is thought that the complex can be applied especially in fields such as redox flow cells, solar cells, and electrocatalysis.

Keywords: Zinc(II), Bis-benzimidazole, Tridentate ligand, Electrochemistry.

I. GİRİŞ

Benzimidazol, birbirine kaynaşmış benzen ve imidazol halkaları içeren hetero-halkalı bir moleküldür [1]. Halkadaki modifikasyona uygun konumlardaki atomlar (karbon ve azot atomları) çok sayıda benzimidazol bileşiğinin sentezlenmesine olanak sağlamaktadır. Benzimidazol halkası B12 vitamini gibi birçok doğal bileşiğin yapısında bulunmasının yanı sıra pürin bazlarına da yapısal olarak benzemektedir [2]. Benzimidazol türevi birçok molekül biyolojik olarak yüksek aktiviteye sahip olup özellikle tıp ve eczacılık alanlarında önemli bir yere sahiptir. Biyolojik olarak aktif olan türleri antimikrobiyal, antiviral, antifungal, antioksidan, antikanser, analjezik ve enzim inhibisyonu gibi çok çeşitli farmakolojik etkilere sahiptir [3-8].

Halka yapısındaki azot atomları molekülün elektronik özellikleri üzerinde etkili olmakla birlikte metal iyonlarına karşı da donör atom olarak davranmaktadır. Dolayısıyla periyodik tablodaki birçok geçiş metali ile koordinasyon bileşiği oluşturmaya elverişlidir. Benzimidazol türevlerinden elde edilen bu tür kompleks bileşikler koordinasyon kimyasında çok geniş yer tutmaktadır [9-11]. Bu çalışma kapsamında sentezlenen ligant molekülü iki benzimidazol halkası ve bir piridin halkası üzerindeki N atomlarından metale koordine olarak üç dişli bir şelat olarak davranmaktadır. Bu tip ligantlar ve metal komplekslerinin potansiyel uygulamaları literatürde geniş yer tutmaktadır. Başta biyolojik aktiviteleri sayesinde tıp ve biyokimya alanlarında olmak üzere elektrokimyasal ve fotofiziksel özellikleri sayesinde katalitik, sensör ve optik temelli uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır [12-16].

Bis-benzimidazol türevi ligant ve onların çeşitli metal komplekslerinin sahip olduğu geniş uygulama alanları bu moleküller üzerine olan ilgiyi arttırmıştır. Bu nedenle potansiyel uygulama alanlarını geliştirmeye yönelik farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip yeni moleküllerin sentezlenmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada selidamik asit ve *o*-fenilendiamin'den yola çıkılarak 2,6-*bis*(1-metil benzimidazol-2-il)-4-metoksipiridin (L) ve onun nötr Zn(II) kompleksi [ZnLCl₂] sentezlenmiştir. Kompleks molekülün yapısı aydınlatılarak spektroskopik ve elektrokimyasal özellikleri araştırılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

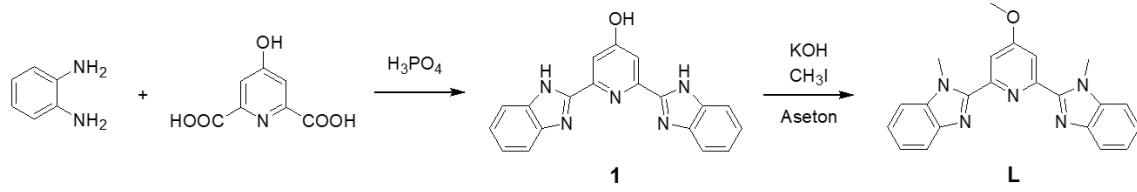
A. MATERYAL METOD

Bu çalışmada kullanılan çözücü ve kimyasal maddeler Merck, Acros ve ABCR firmalarından temin edilmiştir. Moleküllerin erime noktaları BUCHİ B-500 cihazı kullanılarak tespit edildi. İnfrared spektrumları ATR tekniği kullanılarak Perkin Elmer Spectrum 100 FT-IR spektrometresinden elde edildi. ¹H NMR ve ¹³C NMR spektrumları DMSO-*d*₆ çözücüsünde 400 MHz Bruker Biospin NMR Spektrometresinden alındı. Kütle spektrumları Rapiflex MALDI-TOF-MS (Bruker Daltonics, Bremen-GERMANY) cihazından alındı. Elektrokimyasal ölçümleri Biologic SP-50 Potentiostat cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Elektrokimyasal ölçümlerde 3 elektrotlu sistem (referans elektrot olarak Ag/AgCl/KCl_(doy) elektrot, karşıt elektrot olarak Pt tel ve çalışma elektrotu olarak da 5 mm çapında camsı karbon elektrot kullanılmıştır.

B. MOLEKÜLLERİN SENTEZİ

B. 1. Ligant Molekülünün (L) Sentezi:

Ligant molekülü iki basamakta sentezlenmiştir. İlk basamakta Philips metodu olarak bilinen karboksilli asit ile *o*-fenilendiaminin kondenzasyonu ile benzimidazol halkaları oluşturulmuştur [17, 18]. İkinci basamakta ise piridin ve benzimidazol halkalarındaki serbest -OH ve -NH protonları metil iyodür yardımıyla metillenerek arzu edilen ligant (L) molekülü elde edilmiştir [19].



Şekil 1. Ligant molekülünün sentez şeması.

İlk basamak;

2,6-bis(1H-benzimidazol-2-il)-4-hidroksipiridin (1) molekülünün sentezi literatürdeki prosedüre göre yapılmıştır [17]. 2.5 g (13.5 mmol) selidamik asit ve 3.0 g (28.5 mmol) *o*-fenilendiamin 30 mL fosforik asit içerisinde yuvarlak dipli bir balonda karıştırıldı. Daha sonra karışım 6 saat boyunca 180 °C’de karıştırılarak ısıtıldı. Süre sonunda oda sıcaklığına soğutulduktan sonra 400 mL saf suya döküldü. Oluşan çökelek süzüldü ve %10’luk Na₂CO₃ çözeltisi ile yıkandı. Yıkama sonrasında çökelek 300 mL saf suda süspansiyon edilerek 1M HCl yardımıyla pH’ı 4’e ayarlandı. Bu pH’da çökelek süzüldü ve vakum altında 50°C’de kurutuldu. Çökelek DMSO kullanılarak yeniden kristallendirilip saflaştırıldı (Şekil 1). Ürün, beyaz katı olup %85 verimle elde edildi, e.n. > 410 °C. Moleküle ait spektral veriler literatürde bulunduğu için burada tekrar verilmemiştir [17].

İkinci basamak;

Molekül 1’in 0.7 gramı 30 mL aseton içerisinde süspansiyon edildi. Karışımın üzerine 1.15 g KOH (%85) ve 0.7 mL metil iyodür eklendi. Reaksiyon karışımı oda sıcaklığında 24 saat karıştırıldı. Süre sonunda karışım 300 mL saf su üzerine döküldü ve oluşan krem renkli çökelek süzülerek bol saf suyla yıkandı. Elde edilen katı MeOH kullanılarak yeniden kristallendirildi (Şekil 1). Ürün, krem renginde katı olup %77 verimle elde edildi, e.n. 191-192 °C.

2,6-bis(1-metilbenzimidazol-2-il)-4-metoksipiridin (L): FT-IR (ATR, cm⁻¹) :3288, 3063, 1590, 1568, 1477, 1455, 1407, 1330, 1310, 1247, 1200, 1173, 1037, 900, 863, 728.

MALDI-TOF-MS (m/z): hesaplanan molekül iyon piki [M+H]⁺ 370.166, bulunan [M+H]⁺ 370.164.

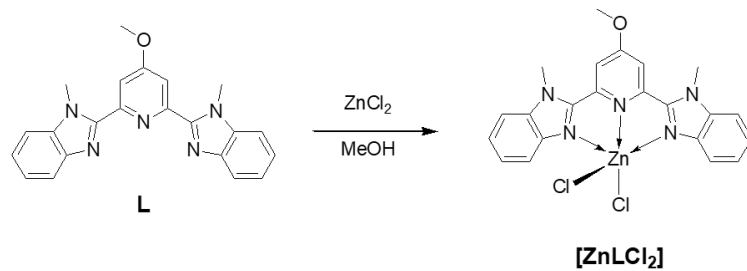
¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): 7.92 (s, 2H, H¹), 7.79 – 7.77 (m, 2H, H²), 7.71 – 7.69 (m, 2H, H⁵), 7.39 – 7.29 (m, 4H, H³⁻⁴), 4.26 (s, 6H, M1), 4.06 (s, 3H, M2).

¹³C NMR (101 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): 166.9, 151.5, 150.1, 142.4, 137.6, 123.8, 123.0, 120.0, 111.4, 111.3, 56.5, 33.0.

UV-Vis (1x10⁻⁵ M, DMF) nm (log ε): 315 (4,64).

B. 2. Kompleks Molekülün [ZnLCl₂] Sentezi:

0.10 g Ligant (L) molekülü 15 mL metanol içerisinde çözöldü. Daha sonra bu çözeltiye 0.10 g ZnCl₂.4H₂O’ nin 15 mL metanol içerisindeki çözeltisi yavaşça eklendi ve reaksiyon karışımı 4 saat reflüks edildi. Süre sonunda karışım oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve oluşan beyaz çökelek süzülerek alındı. Elde edilen beyaz katı bol metanol ve dietil eterle yıkandıktan sonra vakum altında 50 °C’de kurutuldu (Şekil 2). Ürün, %94 verimle elde edildi, e.n. > 410 °C.



Şekil 2. ZnLCl₂ kompleks molekülünün sentez şeması.

[ZnLCl₂]: FT-IR (ATR, cm⁻¹) : 3018, 1605, 1568, 1477, 1440, 1393, 1322, 1302, 1255, 1195, 1124, 1038, 1006, 918, 847, 780, 755, 647.

MALDI-TOF-MS (m/z): hesaplanan molekül iyon piki [M]⁺ 503.025, bulunan [M-Cl]⁺ 468.055.

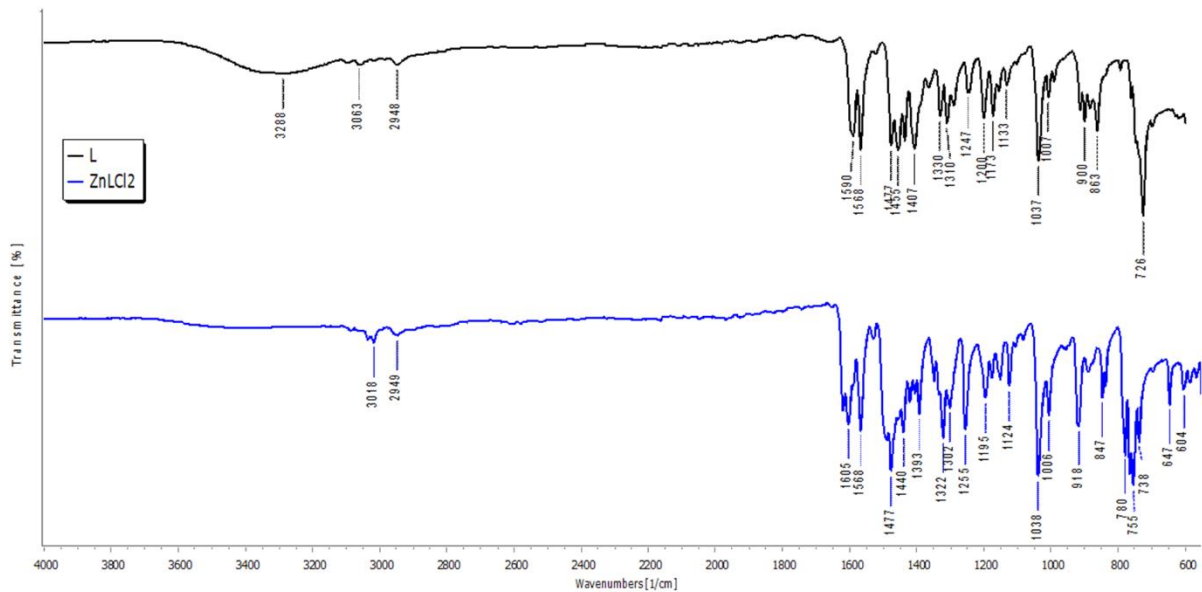
¹H NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ (ppm): 7.96 (s, 2H, H¹), 7.86-7.76 (m, 4H, H²⁻⁵), 7.44 – 7.34 (m, 4H, H³⁻⁴), 4.30 (s, 6H, M1), 4.13 (s, 3H, M2).

UV-Vis (1x10⁻⁵ M, DMF) nm (log ε): 314 (4.47), 350 (3.93).

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

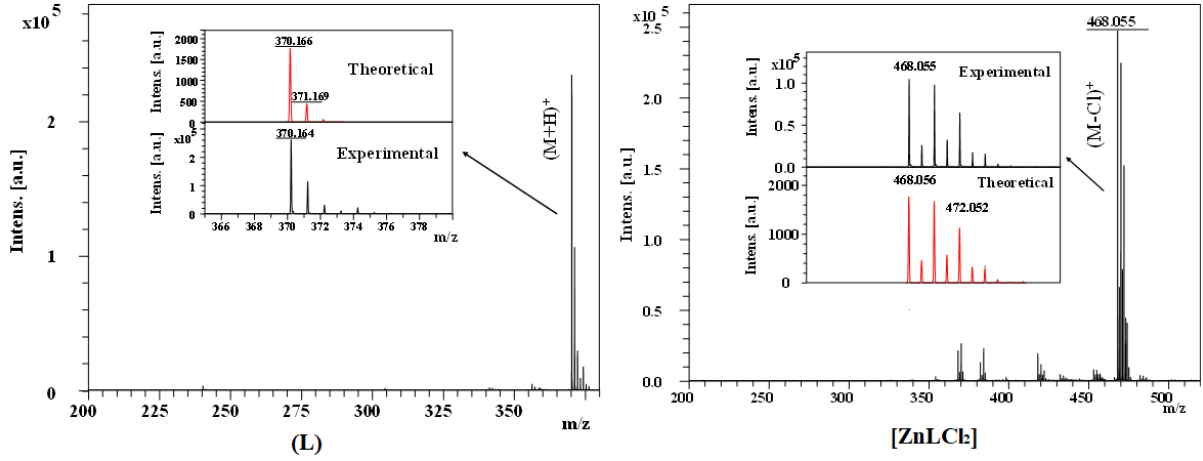
A. MOLEKÜLLERİN KARAKTERİZASYONU

Ligant molekülünün (L) FT-IR spektrumu incelendiğinde (Şekil 3), 3063 ve 2948 cm⁻¹ de gözlenen zayıf piklerin aromatik ve alifatik C-H gerilme titreşimlerine ait olduğu söylenebilir. 1590 cm⁻¹ de gözlenen şiddetli pik C=N, 1477-1455 cm⁻¹ de gözlenen pikler aromatik C=C ve 1037 cm⁻¹ de gözlenen pik de C-O gerilme titreşim bantlarına ait piklerdir. 726 cm⁻¹ de gözlenen şiddetli pik ise aromatik C-H bükülme titreşim bantlarına atfedilebilir [20, 21]. Kompleks bileşiğin (ZnLCl₂) FT-IR spektrumu Şekil 3'te verilmiştir. Spektrumda da görüldüğü gibi metal koordinasyonu sonucunda bazı piklerin dalga sayılarında kaymalar gözlenmiştir. Örneğin ligant molekülünde 1590 cm⁻¹ de gözlemlenen C=N gerilme titreşim piki kompleks molekülde 1605 cm⁻¹ e kaymıştır. Bu kaymanın sebebi liganta Zn bağlanması sonucunda imin azotu üzerindeki elektron yoğunluğunun azalmasından kaynaklanmaktadır. Spektrumda gözlenen benzer kaymalar metal ligant koordinasyonu sonucunda beklenen kaymalar olup literatürle de uyumludur [8, 20].



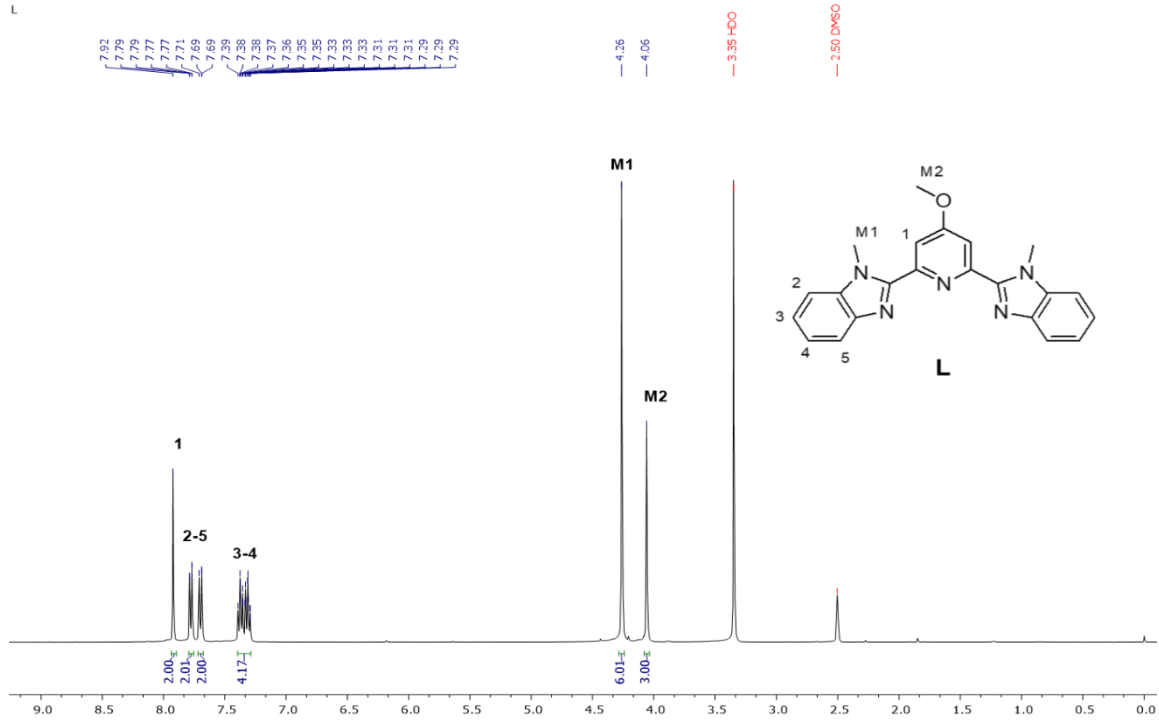
Şekil 3. L ve ZnLCl₂ moleküllerine ait FT-IR spektrumları.

Şekil 4'te L molekülüne ait MS spektrumunda [M+H]⁺ molekül iyon piki 370.164' de gözlenmektedir, bu değer teorik olarak hesaplanan (m/z: 370.166) değerle örtüşmektedir. Kompleks moleküle (ZnLCl₂) ait [M-Cl]⁺ molekül iyon piki 468.055 de gözlenmektedir. ZnLCl₂ molekülünden bir Cl⁻ iyonun ayrılmasıyla meydana gelecek [M-Cl]⁺ molekül iyon pikinin teorik hesaplanan m/z değeri 468.056 olup bu değer deneysel değerle örtüşmektedir. L ve ZnLCl₂ moleküllerine ait MALDI-TOF-MS analiz sonuçları yapıların doğruluğunu desteklemektedir (Şekil 4).



Şekil 4. L ve ZnLCl₂ moleküllerine ait MALDI-TOF-MS spektrumları.

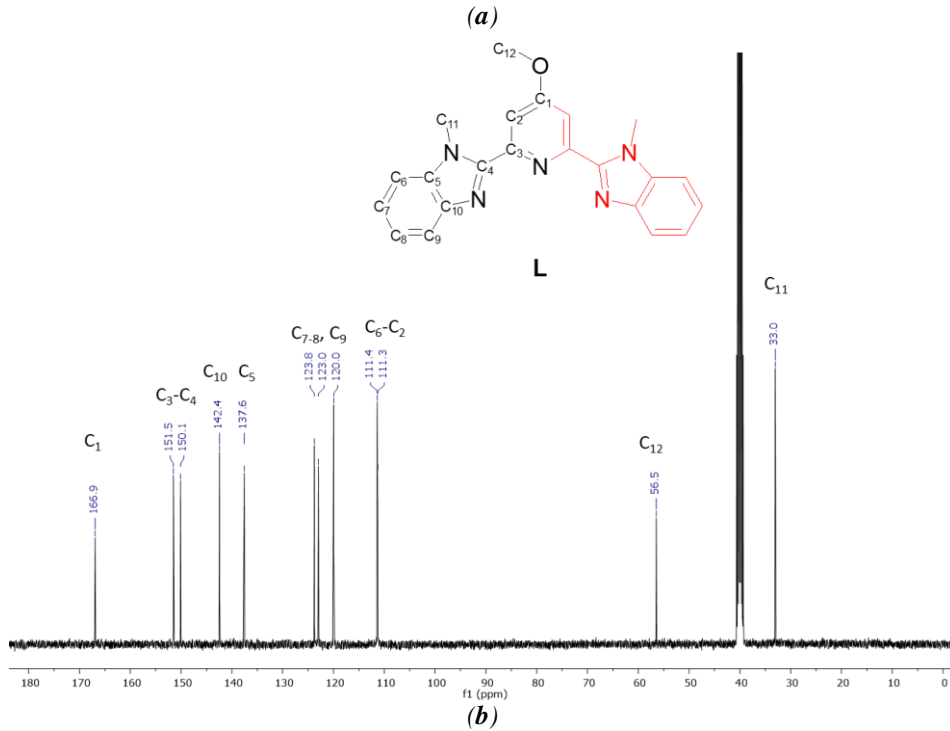
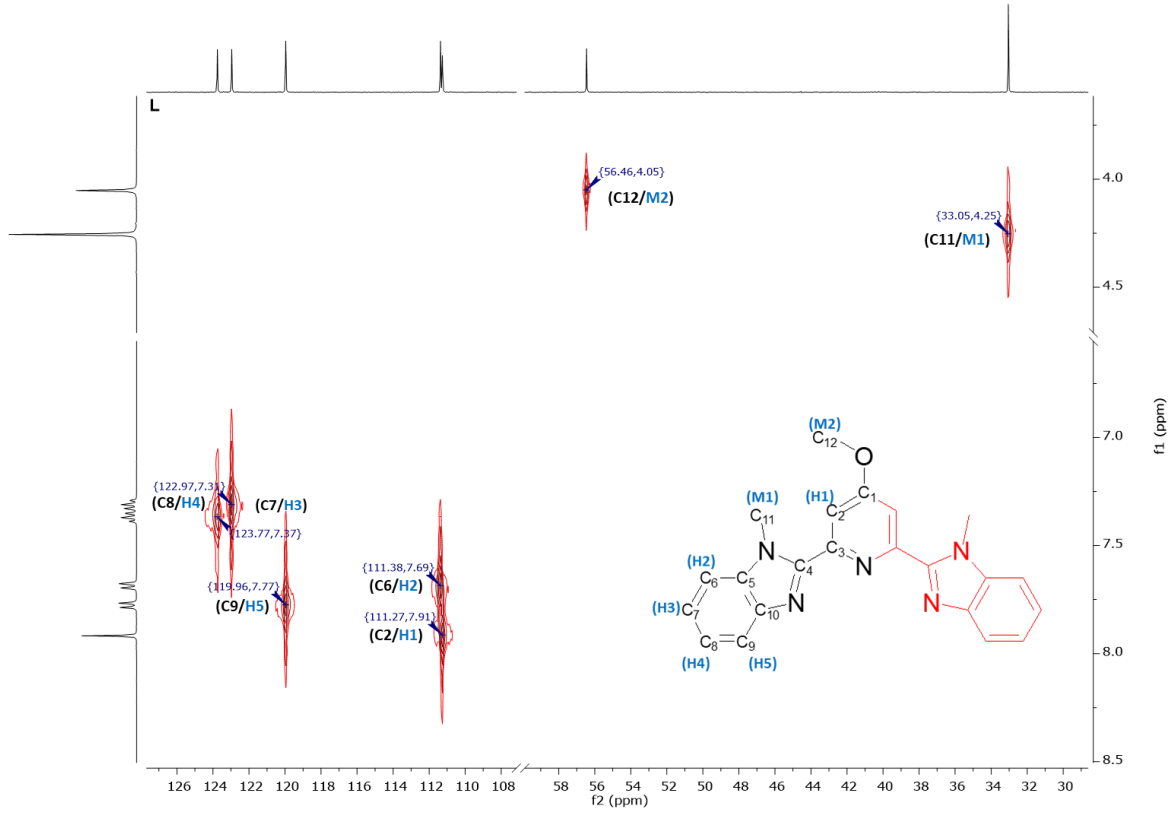
L molekülünün yapısı göz önüne alındığında 7 farklı kimyasal çevreye sahip toplam 16 adet protonun var olduğu görülmektedir (Şekil 5). Moleküle ait ¹H NMR spektrumu değerlendirilirse, piridin halkası üzerindeki 1 numaralı protonun 2H'lık singlet olarak 7.92 ppm de benzimidazol halkası üzerindeki protonlarında (2, 5, 3 ve 4 numaralı) 7.79-7.29 ppm aralığında multiplerler olarak sinyal verdikleri gözlenmektedir. Azot ve oksijen atomlarına bağlı M1 ve M2 ile gösterilen metil protonları da sırasıyla 4.26 ve 4.06 ppm'de singlet olarak gözlenmektedir (Şekil 5). Protonların kimyasal kayma ve integrasyon değerleri molekül yapısıyla uyumlu olup yapının doğruluğunu desteklemektedir.



Şekil 5. L molekülünün ¹H NMR spektrumu.

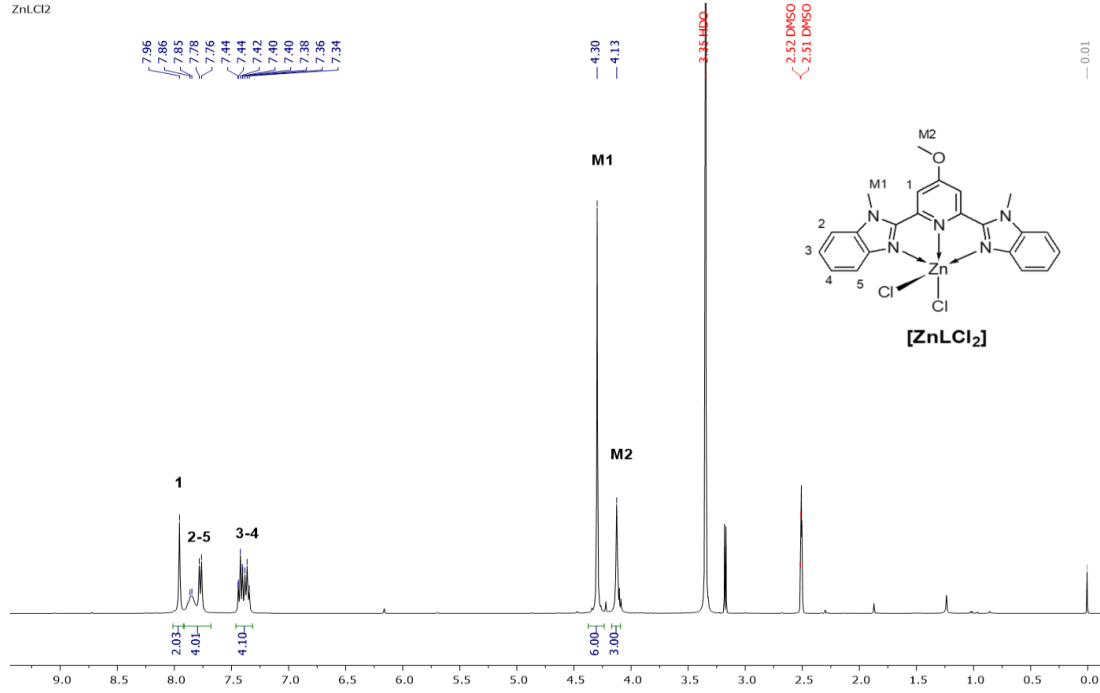
Molekül L'nin yapısı göz önüne alındığında toplam 12 farklı kimyasal çevreye sahip C atomlarının varlığı görülmektedir (Şekil 6a, 6b). Yapılan HETCOR analizinde 5 farklı kimyasal çevreye sahip aromatik protonların (H1'den H5'e) sırasıyla C2, C6, C7, C8 ve C9 numaralı C atomlarına bağlı olduğu görülmektedir. Benzer şekilde 2 farklı alifatik karakterli protonların da (M1 ve M2 numaralı) C11 ve C12 numaralı C atomlarına bağlı olduğu gözlenmektedir (Şekil 6a).

Moleküldeki tüm C atomlarını gösteren Şekil 6b’de verilen ^{13}C NMR spektrumunda 12 farklı kimyasal çevreye sahip C atomlarının varlığı açıkça görülmektedir. HETCOR spektrumuna ek olarak bu spektrumda kendisine bağlı H atomu içermeyen 5 farklı aromatik C atomunun (C1, C3, C4, C5 ve C10 numaralı) varlığı 137.6 ile 166.9 ppm arasında verdiği piklerden anlaşılmaktadır (Şekil 6b). HETCOR ve ^{13}C NMR analizlerinden elde edilen veriler molekül yapısı ile uyumlu olup yapıyı desteklemektedir.



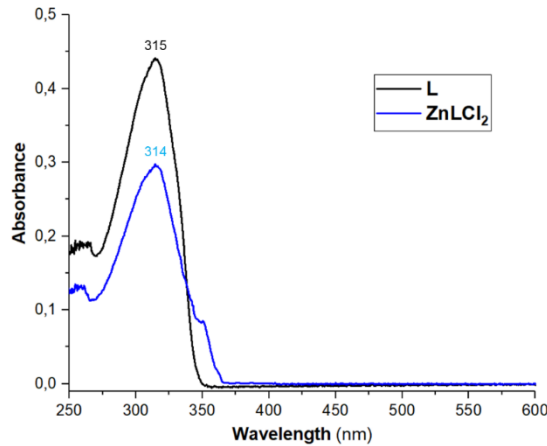
Şekil 6. L molekülünün HETCOR (a) ve ^{13}C NMR (b) spektrumları.

ZnLCl₂ molekülünün ¹H NMR spektrumu şekil 7’de verilmiştir. Spektrum incelendiğinde moleküldeki protonlara ait kimyasal kayma değerlerinin 0.07 ile 0.04 ppm kadar düşük alana kaydığı görülmektedir. L molekülünde 7.92 ppm de gözlenen 1 numaralı protonun ZnLCl₂ molekülünde 7.96 ppm değerine kaydığı görülmektedir. Azot ve oksijen atomlarına bağlı metil protonları da sırasıyla 4.30 ve 4.13 ppm de singlet olarak pik vermiştir. Benzer kaymalar moleküldeki diğer protonlarda da gözlenmektedir. L molekülünün spektrumu ile kıyaslandığında kompleks molekül protonlarında gözlenen bu kaymalar metal koordinasyonun bir sonucu olup literatürle de uyumludur [21]. ZnLCl₂ molekülünün dötero-DMSO’daki zayıf çözünürlüğünden dolayı ¹³C NMR spektrumu alınamamıştır.



Şekil 7. ZnLCl₂ molekülünün ¹H NMR spektrumu.

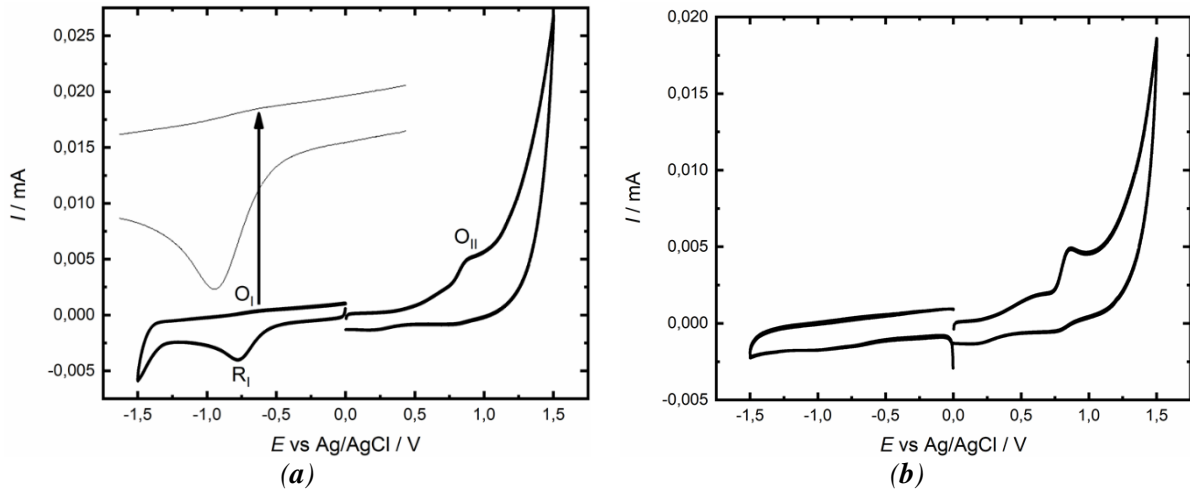
Ligant ve kompleks molekülün UV-Vis absorpsiyon spektrumları oda sıcaklığında 1x10⁻⁵ M konsantrasyonda DMF içerisinde alındı (Şekil 8). L ve ZnLCl₂ molekülünün maksimum absorpsiyon yaptıkları dalga boyları sırasıyla 315 ve 314 nm olarak gözlenmektedir. Bu bölgede yapılan absorpsiyonlar benzimidazol halkasının ligant içi π→π* geçişlerine karşılık gelmektedir. Ayrıca liganttan farklı olarak kompleksin spektrumunda 350 nm civarında omuz şeklinde bir pik gözlenmektedir. Bu ek absorpsiyon piki metal→ligant yük transfer geçişlerine atfedilebilir (Şekil 8) [8, 21].



Şekil 8. L ve ZnLCl₂ moleküllerinin UV-Vis spektrumları (1x10⁻⁵ M, DMF).

B. KOMPLEKS [ZnLCl₂] MOLEKÜLÜN ELEKTROKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Dönüşümlü voltametri (CV), bileşiklerin çok düşük konsantrasyonlarında redoks davranışlarını incelemek için uygulanan çok yararlı bir elektrokimyasal tekniktir. Ara yüzlerde gerçekleşen elektron transfer süreçlerinin derinlemesine araştırılması için de oldukça güvenilir ve hassas bir yöntemdir. Bu nedenle başarılı bir şekilde sentezlenmiş ZnLCl₂ kompleksine ait elektrokimyasal veriler CV tekniği ile elde edilmiştir. Örneğin, anodik pik potansiyeli ile katotik pik potansiyeli arasındaki fark (ΔE_p), yarı-dalga potansiyeli ($E_{1/2}$), anodik pik akımının katotik pik akımına oranı (I_{pa}/I_{pc}) dönüşümlü voltametri tekniği ile tespit edilmiş ve Tablo 1’de sunulmuştur. Şekil 9’da 1 mM ZnLCl₂’nin ve L’nin oda sıcaklığında (298 K), -1.5 V ila +1.5 V potansiyel aralığında, destek elektrolit olarak 0.1 M tetrabutil amonyumtetrafloroboratin (TBATFB) kullanıldığı, 100 mV s⁻¹ tarama hızında ve argon gazı ile doyurulmuş DMF çözeltisi içerisindeki CV’si gösterilmiştir. Şekil 9a’da görüleceği üzere, ZnLCl₂’nin CV’si, anodik tarama sırasında 0.87 V’da tersinmez olarak bir oksidasyon sinyali gözlemlenmiştir ki, bu pikin sadece ligandın aynı şartlar altında elde edilen CV’si göz önüne alındığında (Şekil 9b), üç dişli ligandın tersinmez oksidasyonuna maruz kalmasına işaret etmektedir [22].



Şekil 9. 1 mM’lık ZnLCl₂’nin (a) ve L’nin (b) argon gazı ile doyurulmuş 0.1 M TBATFB içeren bir DMF çözeltisi içerisindeki camsi karbon elektrot yüzeyinde 100 mV s⁻¹ tarama hızında kaydedilen CV’si.

Ayrıca anodik taramada -0.66 V’da küçük bir pik ve katotik taramada ise -0.76 V da geniş bir pik gözlenmektedir. İndirgenme yönündeki pik, Zn(II)’nin Zn’ye 2 elektron kaybederek indirgenmesine ve yükseltgenme yönündeki pikin ise, katotik tarama sırasında üretilen Zn’den tekrardan Zn(II)’nin oluşmasına atfedilebilir. Bu ilgili potansiyel değerleri literatürde daha önce çalışılan çeşitli Zn kompleksleri için bulunan değerler ile uyumludur [23-25]. Farklılıklar ilgili merkezi metal atomu etrafındaki bağlı grupların electron çekici ya da verici özelliğinden ileri gelmektedir. Çünkü elektron veren sübstitüentlerin indirgeme işlemini daha zor ve oksidasyonu ise daha kolay hale getirdiği iyi bilinmektedir. Genel redoks işlemi ise aşağıdaki denklemle temsil edilebilir (1).



Bu söz konusu anodik ve katotik pik arasındaki potansiyel fark ise (ΔE_p) yaklaşık olarak 100 mV değerine eşittir. Bu durumda elektrokimyasal prosesin elektron transferi açısından yarı-tersinir olarak meydana geldiğini söyleyebiliriz. Çünkü literatürde de çok yaygın bir şekilde yapılan kabule göre, eğer ki; pik ayırım potansiyeli; $57 \text{ mV/n} < \Delta E_p < 200 \text{ mV/n}$ ise, elektrokimyasal proses elektron transfer kinetiği açısından yarı-tersinir olarak meydana gelir [26, 27]. Bu durumda yukarıda gösterilen elektrokimyasal reaksiyonun elektron transfer kinetiği açısından yarı-tersinir olarak meydana geldiği söylenebilir. Elektrokimyasal işlemin elektron transfer kinetiği bakımından tersinir olmadığı bir

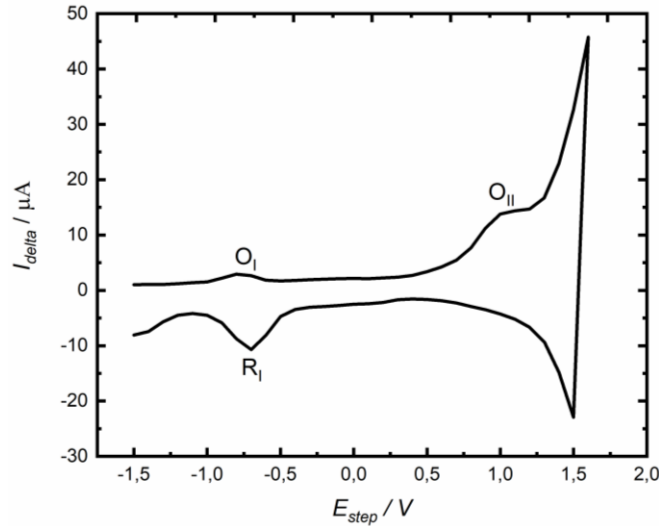
diğer işareti de anodik pik yüksekliğinin (I_{pa}) katodik pik yüksekliğine (I_{pc}) oranıdır (I_{pa}/I_{pc}). Eğer bu oran 1'e eşitse elektrokimyasal işlem elektron transferi açısından tersinir, 1'e eşit değilse tersinir değildir [27, 28]. CV' den elde edilen verilerden bu oranın $\neq 1$ olduğu açıkça gözükmemektedir (Tablo 1). Bu durum ilgili elektrokimyasal prosesin yarı-tersinir olarak ilerlediğinin bir diğer bulgusudur. Ayrıca $ZnLCl_2$ kompleksi için 100 mV s^{-1} de elde edilen voltamogramdan elde edilen elektrokimyasal verilerden biri olan $E_{1/2}$ ve ΔE_p değerlerinin de literatür ile uyumlu olduğu gözlenmektedir [23-25].

Tablo 1. $ZnLCl_2$ kompleksinin 100 mV s^{-1} tarama hızında gerçekleştirilen CV ölçümünden elde edilen bazı elektrokimyasal veriler.

Bileşik ($ZnLCl_2$)	$E_{1/2}$ (V)	ΔE_p (mV)	I_{pa}/I_{pc}
$R_I - O_I$	-0.71	100	0.085
O_{II}	-----	-----	-----

$E_{1/2} = (E_{\text{anodik pik}} + E_{\text{katodik pik}})/2$, $\Delta E_p = E_{\text{anodik}} - E_{\text{katodik}}$, $\Delta E_{1/2} = E_{1/2 \text{ anodik}} - E_{1/2 \text{ katodik}}$

Şekil 9a'da görüleceği üzere -0.66 V'da görülen ve Zn-L'nin Zn(II)-L'ye yükseltgenmesine ait pikin hem çok net olmamasından dolayı hem de meydana gelen elektrokimyasal prosesi daha iyi aydınlatmak için kare dalga voltametri (SWV) ölçümü gerçekleştirilmiştir ve ilgili voltamogram Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'dan da görüleceği üzere katodik bölgede, -0.70 V'da ve anodik bölgede -0.75 V'da görülen pikler sırasıyla Zn-L'nin Zn(II)-L'ye yükseltgenmesine ve Zn(II)-L'nin Zn-L'ye indirgenmesine atfedilebilir ki, bu durum ilgili elektrokimyasal prosesin yarı-tersinir olarak ilerlediğinin bir diğer göstergesi olarak öne sürülebilir. 0.91 V'da gözlenen geniş anodik pik ise daha önce Şekil 9a'da izah edildiği gibi üç dişli ligandın tersinmez olarak yükseltgenmesini işaret etmektedir. Bu bilgiler ışığında, bu bileşiğin iyi bir redoks özelliği göstermesinden dolayı, özellikle biyosensör tasarımında, elektrokataliz işlemlerinde, redoks akışlı piller ve güneş pillerinin üretiminde potansiyel bir uygulama alanına sahip olabileceği sonucu çıkarılabilir [28-31].



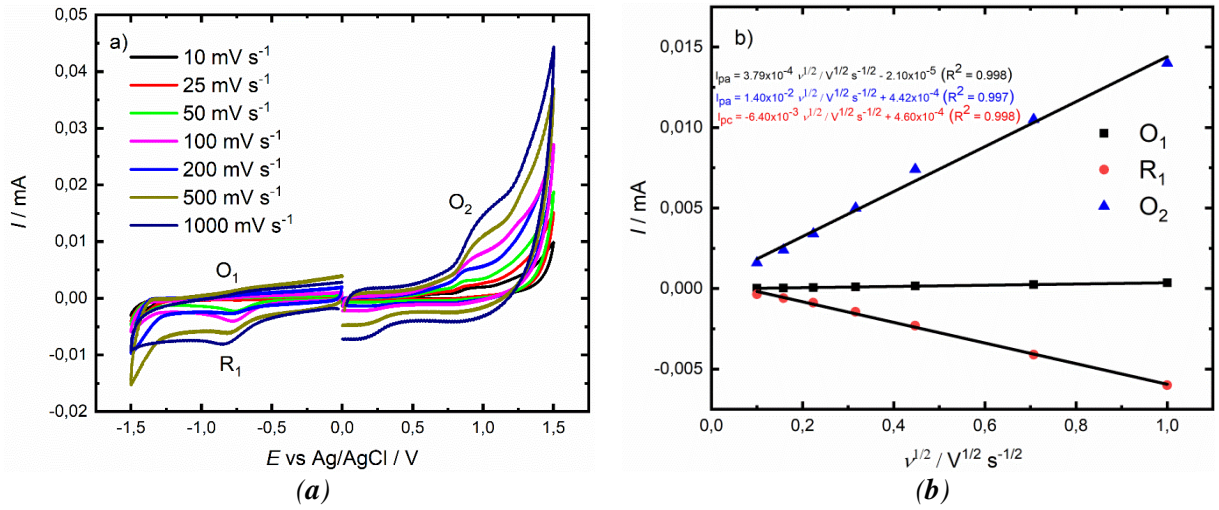
Şekil 10. 1 mM ZnLCl_2 'nin argon gazı ile doyurulmuş 0.1 M TBATFB içeren bir DMF içerisindeki camı karbon elektrot yüzeyinde 100 mV s^{-1} tarama hızında kaydedilen SWV'si.

$ZnLCl_2$ 'nin elektrokimyasal davranışı, 10 ila 1000 mV s^{-1} arasında değişen çeşitli tarama hızlarında CV sinyalleri kaydedilerek ayrıca araştırılmıştır ve elde edilen CV'ler Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekil 11a'dan görüleceği üzere tarama hızı arttıkça, tersinmez sisteme ait olan katodik potansiyel daha negatif potansiyele, anodik pik ise daha pozitif potansiyele doğru kaymakta ve yine benzer şekilde üç dişli liganda ait tersinmez anodik piklerinde tarama hızının artmasıyla daha pozitif bölgeye kaydığı görülmektedir. Bu gözlem redoks işleminin yarı-tersinir ve tersinmez işlemlerin doğasını ayrıca doğrulamaktadır. Ayrıca Şekil 11b'de yer alan grafikten de görüleceği üzere tarama hızı arttıkça

anodik ve katodik pik akımları artmakta ve katodik ve anodik pik akımındaki bu artışın tarama hızının karekökü ile doğru orantılı olduğu görülmektedir ki, bu durum meydana gelen elektrokimyasal sürecin difüzyon kontrollü olarak meydana geldiğini göstermektedir. Yarı-tersinir bir işlem için, katodik pik akımının (I_{pc}) tarama hızının ($v^{1/2}$) karekökü ile değişimi aşağıdaki iyi bilinen Randles-Sevcik denklemi takip eder.

$$I_{pc} = -(2.99 \times 10^5) n (\alpha n)^{1/2} A C^* D_0^{1/2} v^{1/2} \quad (2)$$

burada D_0 $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ cinsinden difüzyon katsayısıdır, n elektron transfer reaksiyonuna katılan elektron sayısıdır, α yük transfer katsayısı, A cm^2 cinsinden çalışma elektrotunun yüzey alanı ve C mol cm^{-3} cinsinden incelenecek elektroaktif türlerin konsantrasyonudur. D_0 'ın büyüklüğü, Şekil 11'de gösterildiği gibi $v^{1/2}$ grafiğine karşı I_{pc} eğim değerinden hesaplanmıştır ve $1.08 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{s}^{-1}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 11. (a) 1 mM ZnLCl_2 kompleksinin argon gazı ile doyurulmuş 0.1 M TBATFB içeren bir DMF içerisindeki camı karbon elektrot yüzeyinde farklı tarama hızında kaydedilen CV'leri. (b) anodik ve katodik pik akımının tarama hızının karekökü ile lineer ilişkisini göstermektedir.

Sentezlediğimiz bu kompleksi literatürde daha önce yayınlanmış benzer yapılarla karşılaştırdığımızda; Motaung ve ark. 2,6-bis-benzimidazolpiridin esaslı Ru(II) ve Co(II) komplekslerini sentezlemişler ve güneş hücrelerinde duyarlayıcı olarak kullanılıp kullanılmayacaklarını her iki bileşiminde elektrokimyasına bakarak araştırmışlardır [32]. Co(II) kompleksinin tersinmez bir elektron transfer kinetiğine sahip olmasından dolayı duyarlayıcı olarak iyi bir performans gösteremeyeceğini ama fotoelektrokimyasal uygulamalarda kullanılabileceğini göstermişlerdir. Manbeck ve ark. ise ilgili ligandın Iridyum kompleksinin başarılı bir şekilde sentezleyerek CO_2 'nin CO'ya indirgenmesinde elektrokatalitik olarak bir etkisinin olup olmadığını incelemişler ve kompleksin CO_2 'yi seçici bir şekilde CO'ya indirgendiği ancak kompleksin kataliz olarak dayanıklılığının yüksek su konsantrasyonunda ve düşük konsantrasyondaki kuvvetli asit varlığında ciddi problemler yaşadığını tespit etmişlerdir [33]. Abdolmaleki ve ark. 2,6-bis-benzimidazolpiridin esaslı Tl(III) kompleksinin anti kanser aktivitesi üzerine yaptıkları çalışmada kanserli hücrelerin etkili bir şekilde yok edilmesini sağlamakla beraber normal sağlıklı hücrelere ise hiç bir zarar vermediğini tespit etmişlerdir [34]. Görüleceği üzere 2,6-bis-benzimidazolpiridin esaslı komplekslerin geniş bir yelpazede kullanım alanı bulunmaktadır. Buradan hareketle sentezlediğimiz ZnLCl_2 kompleksi de elektrokataliz, antikanser aktivite, güneş hücreleri ve biyosensör gibi çeşitli alanlarda uygulanabilmesi açısından oldukça umut vaat etmektedir.

IV. SONUC

Bu çalışmada, üç dişli bir ligant olan 2,6-bis(1-metil benzimidazol-2-il)-4-metokspiridin (L) ve bu ligantın Zn(II) iyonu ile koordinasyonundan nötr kompleksi ($ZnLCl_2$) sentezlendi. Ligant ve kompleks moleküllerin karakterizasyonları yapılarak yapıları aydınlatıldı. Ayrıca kompleks molekülün elektrokimyasal özellikleri de araştırıldı. Dönüşümlü voltametri (CV) ölçümleri göstermiştir ki, $ZnLCl_2$ 'nin aprotik çözücü (DMF) ortamında elektrokimyasal olarak yarı tersinir 2 elektron indirgenme işlemine maruz kalmaktadır. Bunun yanı sıra farklı tarama hızlarında gerçekleştirilen CV ölçümleri elektrokimyasal prosesin difüzyon kontrollü olarak gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Kompleks molekülün elektrokimyasal özellikleri göz önüne alındığında elektron alışverişine dayanan biyosensör tasarımında, elektrokatalitik süreçlerde, redoks akışlı piller ve güneş pillerinin üretiminde rol alabilecek potansiyele sahip olacağı öngörülmektedir. Dolayısıyla ileride kompleksin bahsi geçen alanlarda uygulanabilirliğini ortaya koyabilmek için daha kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2020-72118496-05). Ayrıca moleküllerin kütle analizlerinde yardımcı olan Prof. Dr. Bekir Salih hocama da teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] J.B. Wright, "The chemistry of the benzimidazoles," *Chem. Rev.*, vol. 48, no. 3, pp. 397-541, 1951.
- [2] R. Bonnett, J.M. Godfrey, V.B. Math, "Cyano-13-epicobalamin (neovitamin B12) and its relatives," *J. Chem. Soc. C: Organic.*, vol. 0, pp. 3736-3743, 1971.
- [3] Q.A. Mckellar, E.W. Scott, "The benzimidazole anthelmintic agents-a review," *J. Vet. Pharmacol Ther.*, vol. 13, no. 3, pp. 223-247, 1990.
- [4] A.A. Spasov, I.N. Yozhitsa, L.I. Bugaeva, V.A. Anisimova, "Benzimidazole derivatives: spectrum of pharmacological activity and toxicological properties (a review)," *Pharm. Chem. J.*, vol. 33, no. 5, pp. 232-243, 1999.
- [5] J.F. Rossignol, H. Maisonneuve, "Benzimidazoles in the treatment of trichuriasis: a review," *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, vol. 78, no. 2, pp. 135-144, 1984.
- [6] M. Boiani, M. Gonzalez, "Imidazole and benzimidazole derivatives as chemotherapeutic agents," *Mini Rev. Med. Chem.*, vol. 5, no. 4, pp. 409-424, 2005.
- [7] B. Narasimhan, D. Sharma, P. Kumar, "Benzimidazole: a medicinally important heterocyclic moiety," *Med. Chem. Res.*, vol. 21, no. 21, pp. 269-283, 2012.
- [8] E. Uluçay, E. Orhan, "Biyoaktif benzimidazol aren rutenyum organometalik bileşiğinin sentezi ve karakterizasyonu," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, ss. 1020-1032, 2020.
- [9] M.A. Haga, "Synthesis and protonation-deprotonation reactions of ruthenium(II) complexes containing 2, 2'-bibenzimidazole and related ligands," *Inorg. Chim. Acta*, vol. 75, pp. 29-35, 1983.
- [10] M.R. Malachowski, B. Dorsey, J.G. Sackett, R.S. Kelly, A.L. Ferko, R.N. Hardin, "Effect of ligand donors on the catalytic properties of metal complexes. Copper(II) complexes as catalysts for the oxidation of 3,5-di-tert-butylcatechol," *Inorg. Chim. Acta*, vol. 249, no. 1, pp. 85-92, 1996.

- [11] M.R. Grimmett, *Imidazole and Benzimidazole Synthesis*, 1st ed., San Diego, USA: Academic Press, 1997, ch. 8, pp. 227-248.
- [12] H. Arslan, Ç. Avcı, B. Tutkun, A. Şengül, “2,6-*bis*-benzimidazolylpyridines as new catalyst in copper-based ATRP,” *Polym. Bull.*, vol. 74, pp. 931-948, 2016.
- [13] G. Muller, Christine L. Maupin, James P. Riehl, H. Birkedal, C. Piguet, J.-Claude G. Bünzli, “Structural, photophysical and chiro-optical properties of lanthanide complexes with a *bis*(benzimidazole)pyridine-based chiral ligand,” *Eur. J. Inorg. Chem.*, vol. 22, pp. 4065-4072, 2003.
- [14] N.M. Aghatabay, A. Neshat, T. Karabiyik, M. Somer, D. Hacıu, B. Dülger, “Synthesis, characterization and antimicrobial activity of Fe(II), Zn(II), Cd(II) and Hg(II) complexes with 2,6-*bis*(benzimidazol-2-yl) pyridine ligand,” *Eur. J. Med. Chem.*, vol. 42, no. 2, pp. 205-213, 2007.
- [15] M. Boča, R.F. Jameson, W. Linert, “Fascinating variability in the chemistry and properties of 2,6-*bis*-(benzimidazol-2-yl)-pyridine and 2,6-*bis*-(benzthiazol-2-yl)-pyridine and their complexes,” *Coord. Chem. Rev.*, vol. 255, pp. 290-317, 2011.
- [16] T. Tu, J. Malineni, K.H. Dötz, “A novel pyridine-bridged *bis*-benzimidazolylidene pincer palladium complex: synthesis and catalytic properties,” *Adv. Synt. & Catal.*, vol. 350, no. 11, pp. 1791-1795, 2008.
- [17] P. Froidevaux, J.M. Harrowfield, A.N. Sobolev, “Calixarenes as scaffolds: introduction of tridentate rare earth metal binding units into calix[4]arene,” *Inorg. Chem.*, vol. 39, no. 21, pp. 4678-4687, 2000.
- [18] M.A. Phillips, “The formation of 2-methylbenzimidazoles,” *J. Chem. Soc. (Resumed)*, vol. 0, pp. 172-177, 1928.
- [19] I. Mathew, W. Sun, “Photophysics in solution and Langmuir-Blodgett film and vapochromic behavior of the Pt(II) 2,6-*bis*(N-alkylbenzimidazol-2'-yl)pyridine complexes with different alkyl chains and counter anions,” *Dalton Trans.*, vol. 39, no. 25, pp. 5885-5898, 2010.
- [20] R. Pan, G. Li, S. Liu, X. Zhou, G. Yang, “Synthesis, crystal structure, electrochemical property, and antioxidant activity of copper(II) complex based on 4-butyloxy-2,6-*bis*(1-methyl-2-benzimidazolyl)pyridine,” *Monatsh. Chem.*, vol. 147, no. 7, pp. 1189-1196, 2016.
- [21] R. K. Pan, J.-L. Song, W. Y. Su, S. G. Liu, “Zinc(II) and cobalt(II) complexes derived from 4-benzyloxy-2,6-*bis*(1-methyl-2-benzimidazolyl)pyridine: synthesis, crystal structures, spectroscopic properties and antitumour activities,” *J. Chem. Crystallogr.*, vol. 50, no. 3, pp. 241-248, 2020.
- [22] R. S. Vishwanath, M. Haga, T. Watanabe, E. W. Nery, M. J. Niedziolka, “Three-phase electrochemistry of a highly lipophilic neutral Ru-complex having a tridentate bis(benzimidazolate)pyridine ligand,” *Electrochim. Acta.*, vol. 362, pp. 137090, 2020.
- [23] F. Yilmaz, V. T. Yilmaz, S. Topcu, N. Menek, “Syntheses, spectral, thermal and electrochemical studies of 3-carboxylacetonehydroxamic acid and its iron(II), cobalt(II), nickel(II), copper(II) and zinc(II) complexes,” *J. Coord. Chem.*, vol. 56, no. 10, pp. 903-911, 2003.
- [24] F. Yilmaz, V. T. Yilmaz, S. Topcu, “Transition metal complexes of acetamidomalondihydroxamate: synthesis, spectral, thermal and electrochemical studies,” *J. Coord. Chem.*, vol. 57, no. 6, pp. 525-534, 2004.

- [25] R. Sciacca, S. Zamponi, M. Berrettoni, et al., "Stable films of zinc-hexacyanoferrate: electrochemistry and ion insertion capabilities." *J. Solid State Electrochem.*, vol. 26, pp.63–72, 2022.
- [26] A. J. Bard and L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2nd ed., New York, USA: Wiley, 2001, ch. 13, pp. 534-580.
- [27] R. G. Compton and C. E., Banks, *Understanding Voltammetry*, 2nd ed., London, England: Imperial College Press, 2011.
- [28] H. Wang, S. Y. Sayed, et al., "Redox flow batteries: how to determine electrochemical kinetic parameters," *ACS Nano.*, vol. 14, pp. 2575-2584, 2020.
- [29] M. T. Uihakim, M. Rezki, K. K. Dewi, et al., "Recent trend on two-dimensional metal-organic frameworks for electrochemical biosensor application," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 167, pp. 136509, 2020.
- [30] F. Pekdemir, İ. Koçak, A. Sengül, "Copper(II) and cobalt(II) tridentate complexes on modified graphene oxide as electrochemical biosensors for simultaneously detecting biomolecules," *Electrocatalysis* (in press), <https://doi.org/10.1007/s12678-022-00706-w>, 2022.
- [31] S. P. Singh, K. S. V. Gupta, et al., "2,6-Bis(1-methylbenzimidazol-2-yl)pyridine: A new ancillary ligand for efficient thiocyanate-free ruthenium sensitizer in dye-sensitized solar cell applications," *ACS Appl. Mater. Interfaces.*, vol. 5, no. 22, pp. 11623–11630, 2013.
- [32] M. P. Motaung, P. A. Ajibade, L. J. Le Roux, "Synthesis and photophysical studies of Ru(II) and Co(II) complexes of bis-(benzimidazolyl)pyridine and evaluation of their potential as sensitizers for dyes sensitized solar cells," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 11, pp. 10953–10964, 2016.
- [33] G. F. Manbeck, D. E. Polyansky and E. Fujita, "Comprehensive mechanisms of electrocatalytic CO₂ reduction by [Ir(bip)(ppy)(CH₃CN)](PF₆)₂," *ACS Catal.*, vol. 10, no. 11, pp. 6497–6509, 2020.
- [34] S. Abdolmaleki, M. Ghadermazi, A. Aliabadi, "Novel Tl(III) complexes containing pyridine-2,6-dicarboxylate derivatives with selective anticancer activity through inducing mitochondria-mediated apoptosis in A375 cells," *Sci. Rep.*, vol. 11, pp. 15699, 2021.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Experimental and Theoretical Study on Behaviour of Geometrically Asymmetric Composite Marine Sandwich Beams under Bending Load

 Fatih BALIKOĞLU^{a,*},  Tayfur Kerem DEMİRCİOĞLU^a

^a Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Balıkesir University, Balıkesir, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: fatih.balikoglu@balikesir.edu.tr

DOI.10.29130/dubited.1007940

ABSTRACT

This study presents a detailed investigation on the three-point and four-point bending behaviour of asymmetric sandwich beams composed of polyvinyl chloride (PVC) foam core and E-glass fibre reinforced polymer face sheets. The effects of mid-plane asymmetry on the bending load-displacement behaviour and failure mechanism of the sandwich beams were examined. Simple analytical expressions accounting for flexural and shear rigidities of the sandwich beams were proposed to predict the failure load, mid-span deflection and equivalent bending stiffness of the specimens and validated against experimental results. By shifting the loading direction, the flexural behaviour of asymmetric beams may be controlled. On the loading side, the use of face sheet with thick or high in-plane mechanical characteristics resulted in a delay in compressive failure of the top face sheet. The effective bending stiffness was overestimated since the applied formula did not account for shear deformations. First-order shear deformation theory was used to estimate the mid-span displacement values of sandwich beams in elastic regime and showed good agreement with the experimental results.

Keywords: Asymmetric sandwich beams, Flexural properties, PVC foam

Geometrik Olarak Asimetrik Kompozit Sandviç Kirişlerin Eğilme Yüğü Altındaki Davranışı Üzerine Deneysel ve Teorik Çalışma

Öz

Bu çalışma, polivinil klorür (PVC) köpük çekirdek ve E-cam elyaf takviyeli polimer tabakalardan oluşan asimetrik sandviç kirişlerin üç nokta ve dört nokta eğilme davranışları hakkında ayrıntılı bir araştırma sunmaktadır. Sandviç kirişlerin eğilme yüğü-sehim davranışı ve hasar mekanizması üzerindeki orta düzlem asimetrisinin etkileri incelenmiştir. Sandviç kirişlerin eğilme ve kayma rijitlik değerlerini hesaba katan basit analitik ifadeler, numunelerin hasar yükünü, kiriş orta-nokta sehmini ve eşdeğer eğilme rijitliğini tahmin etmek için önerilmiş ve deneysel sonuçlar ile doğrulanmıştır. Yükleme yönünü değiştirerek, asimetrik kirişlerin eğilme davranışı kontrol edilebilir. Yükleme tarafında, kalın veya yüksek düzlem içi mekanik özelliklere sahip yüzey tabakasının kullanılması, üst yüzey tabakasında basma hasarı gecikmesine neden olmuştur. Uygulanan formül kayma deformasyonlarını hesaba katmadığı için etkin eğilme rijitliği değerleri yüksek tahmin edilmiştir. Birinci mertebe kayma deformasyon teorisi, elastik bölgede sandviç kirişlerin orta açıklık deplasman değerlerinin tahmin etmek için kullanılmış ve deneysel sonuçlarla iyi bir uyum göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Asimetrik sandviç kirişler, Eğilme özellikleri, PVC köpük

I. INTRODUCTION

Sandwich composites are multi-layered materials made by gluing two strong, stiff, thin face sheets to a softer, lighter, thicker core. The core helps to stabilize the facings and provides flexural stiffness, out-of-plane shear, and compressive strength, while the face sheets carry almost all the axial and bending loads [1]. Such materials are extensively used in maritime applications due to their superior specific bending properties [2]. In addition, composite sandwich panels are an excellent choice for the marine industry because of their simple production, lightness (buoyancy), and resistance to the rough marine environment [3-5]. Glass, carbon, and Kevlar fibre reinforced laminates are commonly utilized as face sheets in maritime sandwich structures, whereas balsa wood and closed-cell polyvinyl chloride (PVC) are commonly used as core materials [6, 7]. Asymmetric sandwich structures have advantages in boat building, such as improving exterior impact and resistance to thermal/wear durability with a thicker outside face sheet while allowing connections with other structural components with a thinner interior face sheet [8].

Sandwich structures are typically exposed to flexural loads when used in boat hull constructions [9]. Therefore, much effort has been devoted on studying the behaviour of sandwich beams under bending loads using experimental, theoretical, and finite element methods [10-25]. In the literature, first order shear theory was successfully applied to estimate the experimental deflections in the linear region of a sandwich beam with two stiff face sheets and a soft core [24]. Theoretical calculations using the mechanical properties of the components obtained from the coupon tests, on the other hand, deviated from the estimation of the actual failure loads. This difference was due to the combined effect of shear and bending stresses on the sandwich beams and the non-linearity of the component materials [12,13]. In addition, the predicted bending stiffness values of the sandwich beams were found to be higher than the effective stiffnesses due to the soft foam core material with low shear modulus causing large shear deformation [25].

Previous efforts have concentrated on the bending behaviour and failure modes of symmetric sandwich beams, and there is limited documented literature on asymmetric sandwich beams subjected to in-plane and bending loads [26-36]. The mid-plane asymmetry may reduce the bending curvature caused by service loads, which introduces bending stresses into the face sheet in addition to in-plane membrane loads, increasing the risk of buckling of the compression face sheet [27]. The failure mechanism and bending strength of asymmetric beams varies according to loading direction, face sheet and core thickness and material properties [31-33]. The experimental and numerical responses of such asymmetric sandwich panels loaded under combined compression and shear forces were evaluated. In terms of core deformation and the continuity of normal and shear stress throughout the thickness, the predictions on strain distributions matched experimental results well [29, 34]. Asymmetric sandwich panels with tapering and junction sections are also usually applied in practical applications. The tapered region has a major impact on the stability and load-bearing capacity. This increased the asymmetry by introducing additional bending moments into sandwich panels, resulting in early local buckling [35].

The present paper deals with the three and four-point bending behaviour of asymmetric beams. The effect of mid-plane asymmetry on the flexural behaviour of the asymmetric sandwich beams was investigated. Simple theoretical formulations were used to predict the failure load, stiffness, and mid-span displacement of the asymmetric beams.

II. MATERIAL AND METHODS

A. MATERIALS

Sandwich specimens made of E-glass reinforced polymer face sheets and 25 mm thick Airex C70.75 closed cell PVC foam with a density of 80 kg/m^3 [37]. As reinforcement materials for the face sheets, E-glass non-crimp biaxial stitched fabrics with areal weights of 850 g/m^2 and 600 g/m^2 were used. For this research, two different asymmetric beams were designed. As seen in Table 1, the asymmetric geometry was obtained in the first specimen by applying a different layer number of 850 gr/m^2 fabric, and in the second specimen by using fabrics with different areal weights of 850 gr/m^2 and 600 gr/m^2 . The mechanical characteristics of the face sheets were measured by testing the coupon specimens to relevant ISO [38] and ASTM [39, 40] test standards (Table 2). As matrix material, an infusion type vinyl ester resin (Poliya 702) was used [41].

B. PRODUCTION OF COMPOSITE SANDWICH PANELS

Resin infusion method was applied to manufacture sandwich composite panels. Figure 1 shows the components of VARIM (vacuum assisted resin infusion moulding) production schematically. E-glass fabrics and PVC foam were placed in the mould in a dry form according to the stacking sequence, and a vacuum bag was placed on top of the mould (Fig. 2 a), which was initially connected to a resin supply and a vacuum pump. In the resin system, 2 wt. % methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) as initiator and 0.25 wt. % cobalt naphthanate (CoNap) as accelerator was added before the infusion process. The liquid resin penetrated the reinforcement materials as a result of the vacuum drawn through the mould at 1 atm negative pressure, (Fig.2 b) and then curing and demoulding processes were applied at room temperature. Test specimens were cut from the panels with in-plane dimensions of $500 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ (total length (L_t) \times width (b)) [42] (Fig. 3 a, b). The panels were cured at room temperature for 24 hrs. following the infusion process. Specimens ASB_1 and ASB_2 had mid-plane asymmetry because of different numbers of E-glass fabrics and fabric weight in the face sheet laminates, respectively. Details of asymmetric beams are given in Table 1.

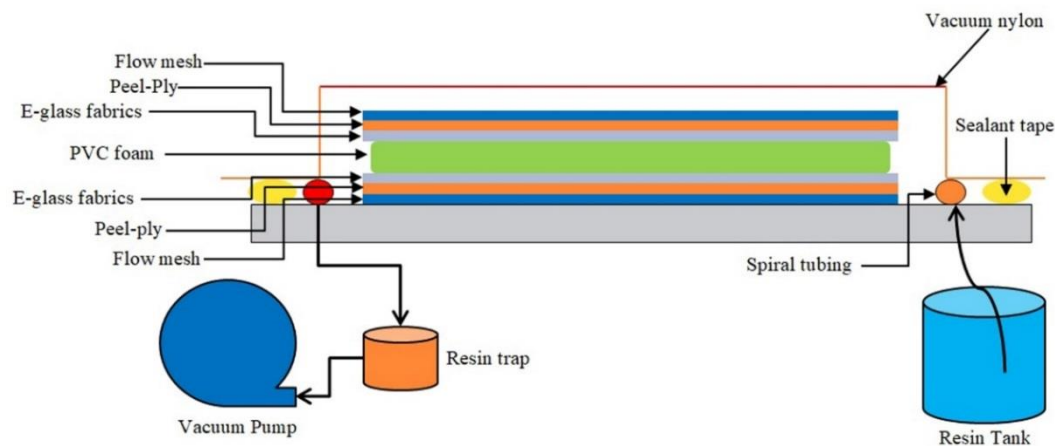


Figure 1. Schematic of resin infusion process.

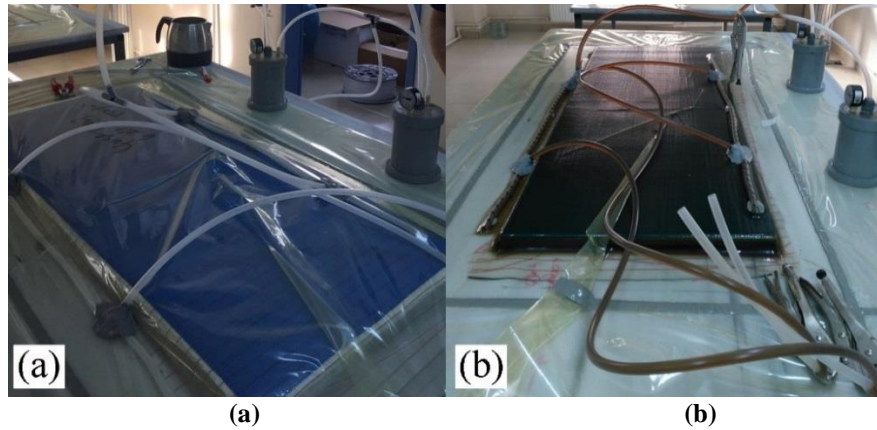


Figure 2. Production of sandwich panels with resin infusion method (a) dry, (b) wetted panel.

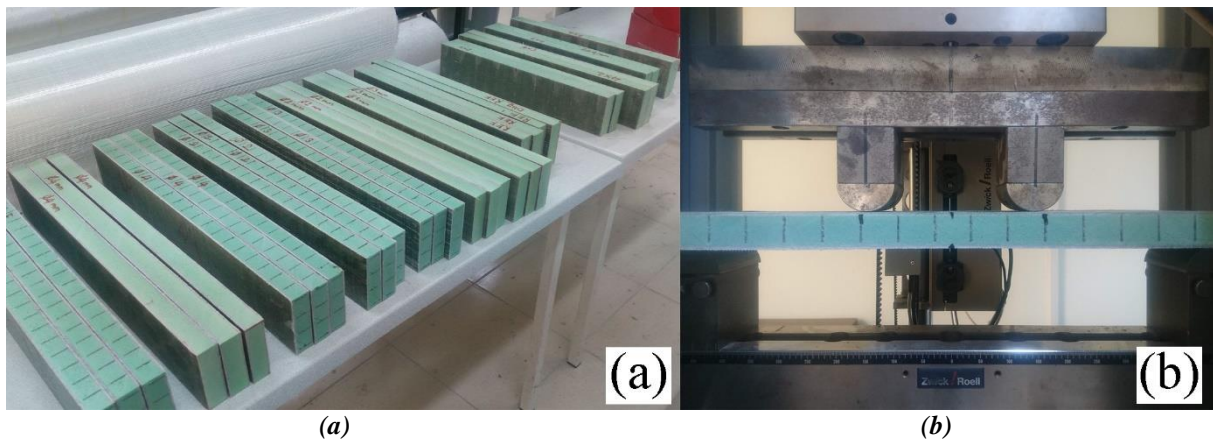


Figure 3. Sandwich test specimens (a), undeformed test specimen before 4-point bending test (b).

Table 1. Details of asymmetric sandwich beams.

Specimens	Face sheet	Stacking Sequences	Areal weights (kg/m^2)	Face sheet thickness (mm)	e^* (mm)	Beam Width (mm)	Total thickness (mm)
ASB ₁	Up	$[0/90]_{3s}$	850	4.0 ± 0.1	17.45	80 ± 0.8	31.5 ± 0.2
	Down	$[0/90]_{2s}$	850	2.5 ± 0.1	10.8	80 ± 0.8	
ASB ₂	Up	$[0/90]_{2s}$	850	2.5 ± 0.1	11.15	80 ± 0.8	29.5 ± 0.2
	Down	$[0/90]_{2s}$	600	2.0 ± 0.1	16.1	80 ± 0.8	

* e = distance between neutral axis and centroid of the lower face sheet

C. TEST SET-UP

Three-point bending (3PB) and four-point bending (4PB) tests were performed according to ASTM C393 / C393M-16 standard [43]. Since the face sheets are not geometrically symmetrical, asymmetric sandwich beams were subjected to flexural-up and flexural-down tests, as used by researchers [8, 30]. For the flexural-up tests (see Fig.4a, b), the thicker face sheet was loaded at the top surface of the beams, and at the flexural-down tests (see Fig.4c, d), the thicker face sheet was loaded at the bottom surface of the beams [30]. To minimize local indentation damage beneath the loading points and supports each had a diameter of 25 mm. The tests were performed at a constant loading rate of 6 mm/min. The support span length (L) was 450 mm at the three-point and four-point bending tests. The loading and shear spans were 1/3 of the support span (L) in four-point bending tests. For each

sandwich beam type, at least three examples were prepared and loaded in the warp direction. All beams were loaded to collapse to determine the failure load and damage modes. To identify the specimens, a specific coding system was applied. The abbreviations ASB₁ and ASB₂ represent two different asymmetric sandwich beams 1 and 2. ASB₂-TS_{450, up}, for example, refers to an ASB₂ specimen with a span length of 450 mm subjected to 3PB flexural up loading. ASB₁-FS_{450, down} represents an ASB₁ specimen with a span length of 450 mm subjected to 4PB flexural down load.

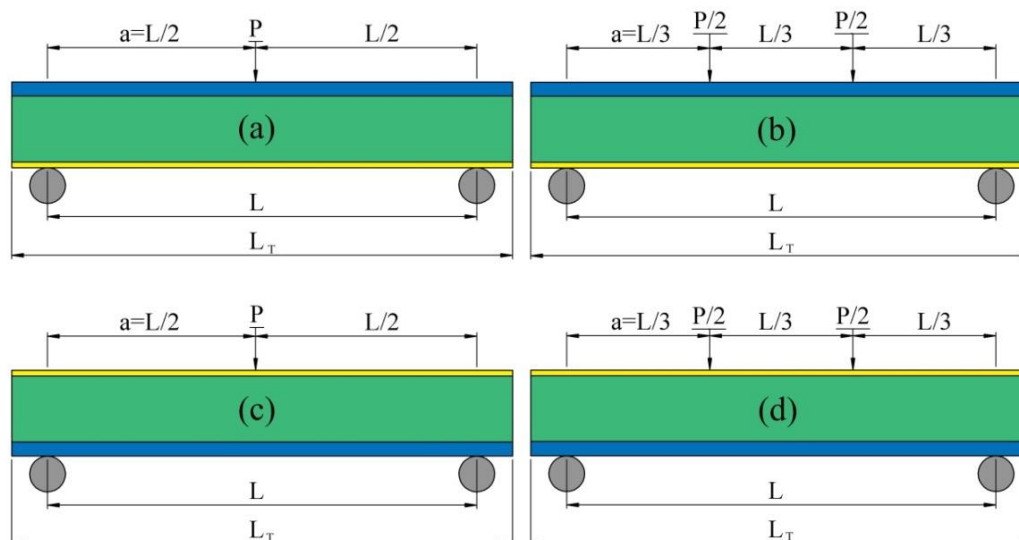


Figure 4. Test typology, (a) 3PB flexural-up test set-up, (b) 4PB flexural-up test set-up, (c) 3PB flexural-down test set-up, (d) 4PB flexural-down test set-up, P =applied load, L =support span length, L_T =total span length, a =shear span.

Table 2. Mechanical characteristics of face sheets in warp direction.

Test	Areal weight (g/m^2)	850		600		850	
	Stacking Sequence	[0/90] _{2s}		[0/90] _{2s}		[0/90] _{3s}	
	Values	Average	S.D*	Average	S.D*	Average	S.D*
Tensile [38]	Modulus (GPa)	22.5	0.42	19.2	0.39	22.9	0.43
	Strength (MPa)	332	19.25	312	9.66	347	8.47
	Maximum strain (%)	1.89	0.8	2.0	0.16	1.92	0.03
Compression [39]	Modulus (GPa)	32.7	1.55	22.2	0.60	32.9	1.49
	Strength (MPa)	176	20.03	92.2	4.15	180	19.16
Shear [40]	Modulus (GPa)	4.14	0.18	3.30	0.10	4.49	0.19
	Strength (MPa)	52.9	1.9	39.6	0.60	55.6	1.8

*S.D: Standard deviation

III. ANALYTICAL STUDY

A. ESTIMATION OF EQUIVALENT BENDING AND SHEAR STIFFNESS FOR ASYMMETRIC SANDWICH BEAMS

The cross-sectional geometry of symmetric and asymmetric sandwich structures is shown in Figure 5 (a) and (b), respectively.

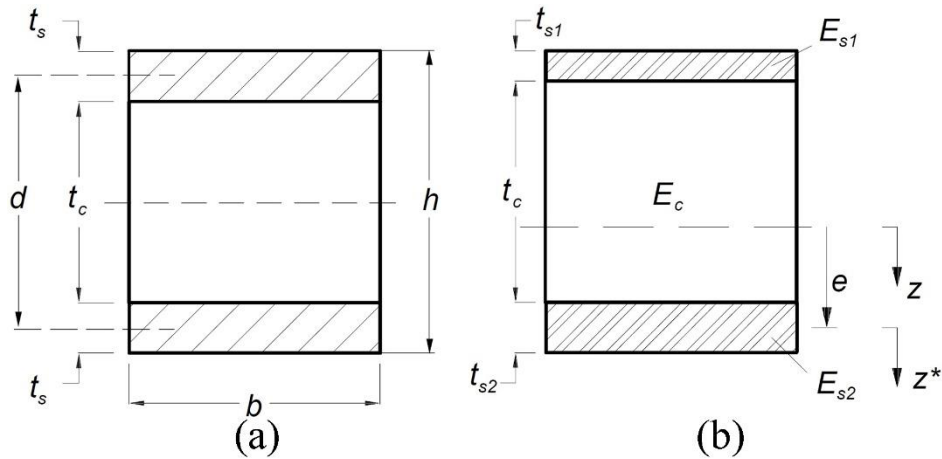


Figure 5. The cross-sectional geometry of the symmetric (a) and asymmetric (b) sandwich composite beams.

Equivalent bending stiffness ($EI_{eq, sym.}$) of the symmetric beams can be obtained using the sum of the flexural stiffness of the face sheet and core about the centroid axis of the cross-section [44].

$$EI_{eq, sym.} = E_s \frac{bt_s d^2}{2} + E_s \frac{bt_s^3}{6} + E_c \frac{bt_c^3}{12} \quad (1)$$

where E_c and E_s are the Young's modulus of PVC foam and the E-glass reinforced polymer face sheet material, respectively.

For asymmetric beams, firstly the location of the neutral axis must be assigned. It is provided by the coordinate system for which the first moment of area is zero when integrated across whole cross-section. Since the location of the origin of the sought coordinate system is unknown, make a coordinate transformation from a known point in the section, e.g. $z^* = z - e$, according to Fig. 5 (b).

$$B(z) = \int E z d z = \int E (z^* + e) d z^* = 0 \rightarrow - \int E z^* d z^* = e \int E d z^* \quad (2)$$

where $B(z)$ is the first moment of area.

For an asymmetric sandwich cross-section as shown in Fig.5 (b), this equation can be re-written as Eq. (3) [1]:

$$E_{s1} t_{s1} \left(\frac{t_{s1}}{2} + t_c + \frac{t_{s2}}{2} \right) + E_c t_c \left(\frac{t_c}{2} + \frac{t_{s2}}{2} \right) = e (E_{s1} t_{s1} + E_c t_c + E_{s2} t_{s2}) \quad (3)$$

where t_{s1} and t_{s2} are thicknesses, E_{s1} and E_{s2} are the Young's modulus of dissimilar face sheets.

$$e = \frac{E_{s1} t_{s1} \left(\frac{t_{s1}}{2} + t_c + \frac{t_{s2}}{2} \right) + E_c t_c \left(\frac{t_c}{2} + \frac{t_{s2}}{2} \right)}{E_{s1} t_{s1} + E_c t_c + E_{s2} t_{s2}} \quad (4)$$

where e is the distance between the centroid of the lower face sheet (t_{s2} , E_{s2}) and the neutral axis as shown in Fig. 5 (b).

$$d - e = \frac{E_{s2} t_{s2} \left(\frac{t_{s2}}{2} + t_c + \frac{t_{s1}}{2} \right) + E_c t_c \left(\frac{t_c}{2} + \frac{t_{s1}}{2} \right)}{E_{s1} t_{s1} + E_c t_c + E_{s2} t_{s2}} \quad (5)$$

For the ASB₁ beam, this e value for the flexural down and up positions was calculated as 10.8 mm and 17.45 mm, respectively. In the ASB₂ beam, the e value was found to be 11.15 mm and 16.1 mm for flexural down and up, respectively.

The bending stiffness of the asymmetric specimens can be determined using Eq. (6) [1] by using the parallel axis theorem:

$$EI_{eq,asym.} = E_{s1} \frac{bt_{s1}^3}{12} + E_{s2} \frac{bt_{s2}^3}{12} + E_c \frac{bt_c^3}{12} + E_{s1}bt_{s1}(d - e)^2 + E_{s2}bt_{s2}e^2 + E_cbt_c \left(\frac{t_c + t_{s2}}{2} - e \right)^2 \quad (6)$$

where $d = t_{s1}/2 + t_c + t_{s2}/2$ is distance between centroids of the skins.

The shear stiffness of asymmetry (AG_{eq}) sandwich beams can be defined by Eq. (7) [44]:

$$AG_{eq} = bdG_c \quad (7)$$

where b refers the beam width and G_c represents the shear modulus of PVC foam material [37].

B. ESTIMATION OF FAILURE LOADS AND MECHANISMS

The material and test parameters such as sample dimensions, mechanical properties and test typology (loading action and direction) can all affect the failure load and mechanism of sandwich beams. For expressions of equations, the detailed cross-sectional sizes of the sandwich composite beams are given in Fig. 5.

The shear failure in the core depends on the shear strength of the foam material [45]. Eqs. (8, 9) represent the core shear failure load (P_s) [1]:

$$P_s = \frac{2(EI_{eq})\tau_c}{E_{s1}t_{s1}(d - e) + \frac{E_c}{2} \left[-d + e + \frac{t_{s1}}{2} \right]^2} \quad -d + e + \frac{t_{s1}}{2} \leq x \leq 0 \quad (8)$$

$$P_s = \frac{2(EI_{eq})\tau_c}{E_{s2}t_{s2}e + \frac{E_c}{2} \left[e - \frac{t_{s2}}{2} \right]^2} \quad 0 \leq x \leq e - \frac{t_{s2}}{2} \quad (9)$$

where τ_c is the shear strength of PVC foam.

In-plane damage was caused when the compressive stress of the outermost fibres of the face sheet under bending load exceeds its compressive strength. The predicted failure load (P_b) of asymmetric beams can be determined by Eqs. (10, 11) [46]:

$$P_b = \frac{\sigma_c(EI_{eq})}{CE_{s1}L(d - e + \frac{t_{s1}}{2})} \quad (10)$$

$$P_b = \frac{\sigma_c(EI_{eq})}{CE_{s2}L(e + \frac{t_{s2}}{2})} \quad (11)$$

where L is the total span length, σ_c is the strength of E-glass reinforced polymer face sheets under compression load. C is applied as 1/6 for the third-point loading (L/3) at four-point bending test and as 1/4 for the three-point bending test.

C. ESTIMATION OF MID-SPAN DEFLECTION

For beams under 3PB and 4PB tests as illustrated in Fig. 4, according to the first order shear deformation theory, the mid-span deflection is the total of the bending ($\delta_{bending}$) and shear (δ_{shear}) deformation of the beam:

$$\delta_{total,3PB} = \delta_{bending} + \delta_{shear} = \frac{PL^3}{48EI_{eq}} + \frac{PL}{4AG_{eq}} \quad \text{for three-point bending tests} \quad (12)$$

$$\delta_{total,4PB} = \delta_{bending} + \delta_{shear} = \frac{23PL^3}{1296EI_{eq}} + \frac{PL}{6AG_{eq}} \quad \text{for four-point bending tests} \quad (13)$$

where L is the total span length, P is the applied load. The detailed equivalent bending (EI_{eq}) and shear (AG_{eq}) stiffness calculations are given in Section III.A.

D. ESTIMATION OF STIFFNESS

Equations (14) and (15) give the bending stiffness values of sandwich beams.

$$K_i = \left[\frac{\Delta P}{\Delta \delta} \right] \quad \text{initial bending stiffness} \quad (14)$$

$$EI_{eff} = \frac{a(3L^2 - 4a^2)}{48} K_i \quad \text{effective bending stiffness} \quad (15)$$

where $(\Delta P/\Delta \delta)$ represents the slope of the actual load–displacement graphs in linear elastic portion. L is the support span length and a is the shear span, denoting the distance between the support and loading points.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

A. LOAD-DISPLACEMENT CURVES

Load versus crosshead displacement curves of the sandwich specimens tested under 3PB and 4PB tests are shown in Figures 6 and 8. The test results of all the beams are summarized in Table 3, including the ultimate bending strength (P_u), ultimate bending strength to weight ratio (P_u/W), analytical to experimental ultimate bending strength ratio (P_d/P_u) and failure modes.

The 3PB flexural down and up test results of the ASB₁ specimen are shown in Fig. 6 a, b. Compressive failure of the top face sheet was dominant for ASB₁-TS_{450,down} and ASB₁-TS_{450,up} specimens due to bending effect (see Fig. 7 a, b). Moreover, the displacement values at failure were almost doubled in the 3PB flexural-up tests. This result confirmed previous studies, that face fracture was delayed with increasing thickness of the top face sheet [36]. In 4PB tests, ASB₁-FS_{450,down} and ASB₁-FS_{450,up} specimens exhibited similar failure loads and also the same damage modes (Fig. 8 a, b). The ultimate bending strength of ASB₁ specimen tested at the 3PB flexural up load was 10.1% greater than that of flexural down. M. E. Toygar et al. [32] reported that the ultimate bending loads were higher in three-point bending flexural up tests compared to flexural down. The thicker outer face sheet could distribute local loads more uniformly, enhancing the sectional stability and ultimate bending strength of the specimens. Similarly, increasing the top face thickness of asymmetric beams increased their load-bearing capacity, according to the literature [36].

The 3PB flexural down and up test results of the ASB₂ specimens are shown in Figs. 6 c, d. The upper face sheet fibre failure was dominant in 3PB tests associated with higher loads under flexural up loading (see Fig.7 c, d). The ultimate bending strength of the ASB₂-TS_{450, up} specimens was 30.5% greater than that of ASB₂-TS_{450, down} counterparts. The thinner top face sheet under flexural down tests caused a poor performance due to premature compressive failure of the face sheet [8]. This finding revealed that the face fracture of the sandwich sample with a thin top face sheet occurred easily [36]. At this point, it should be noted that the top face sheet was not only thinner but also lower in in-plane properties was effective. Furthermore, the distance from the neutral axis increased the bending stress in flexural down tests. This may contribute to early face sheet failure under the loading point. ASB₂-TS_{450,up} specimens sustained almost two times the displacement at failure in comparison to the ASB₂-TS_{450,down} specimens (Fig. 6 c, d). For the ASB₂-FS_{450, down} specimen, a sudden load drop occurred after a short non-linear region due to face sheet compression failure (Fig. 8 c). The load-displacement curves for the ASB₂-FS_{450,up} specimen were nearly linear until shear cracks formed in PVC foam. After the linear part of the curves, the slopes dropped significantly, resulting in a non-linear action up to the shear failure in PVC foam. Debonding damage took place between face sheets and foam, as shown in Fig. 8 d.

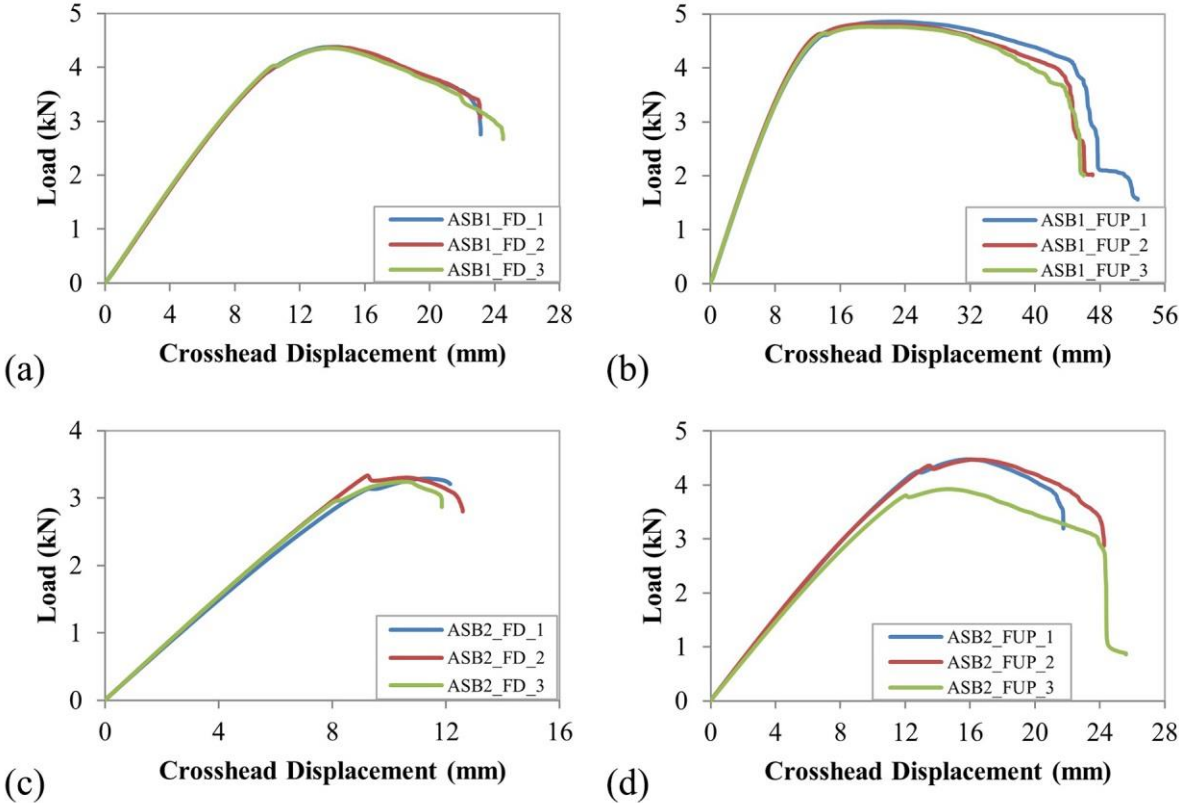


Figure 6: Load-crosshead displacement curves of ASB₁ and ASB₂ specimens tested under 3PB test, (a) ASB₁-TS_{450, down}, (b) ASB₁-TS_{450, up}, (c) ASB₂-TS_{450, down}, (d) ASB₂-TS_{450, up}

Table 3. Summary of bending test results.

Specimens	P_u (kN)	P_u/W (kN/kg)	P_a/P_u	Failure Modes
ASB ₁ -TS _{450,up}	4.809	7.18	1.425	FC
ASB ₁ -TS _{450,down}	4.367	6.52	1.290	FC
ASB ₁ -FS _{450,up}	5.861	8.75	0.923	CS+D
ASB ₁ -FS _{450,down}	5.883	8.78	0.930	CS+D
ASB ₂ -TS _{450,up}	4.291	8.96	1.008	FC
ASB ₂ -TS _{450,down}	3.288	6.86	1.092	FC
ASB ₂ -FS _{450,up}	5.114	10.68	1.016	CS+D
ASB ₂ -FS _{450,down}	4.767	9.95	1.114	FC

Note: P_u : Experimental ultimate bending strength; P_u/W : experimental ultimate bending strength to weight ratio; P_a/P_u : analytical to experimental ultimate bending strength ratio; **CS**: Core shear failure; **FC**: Face compression failure; **D**: Debonding

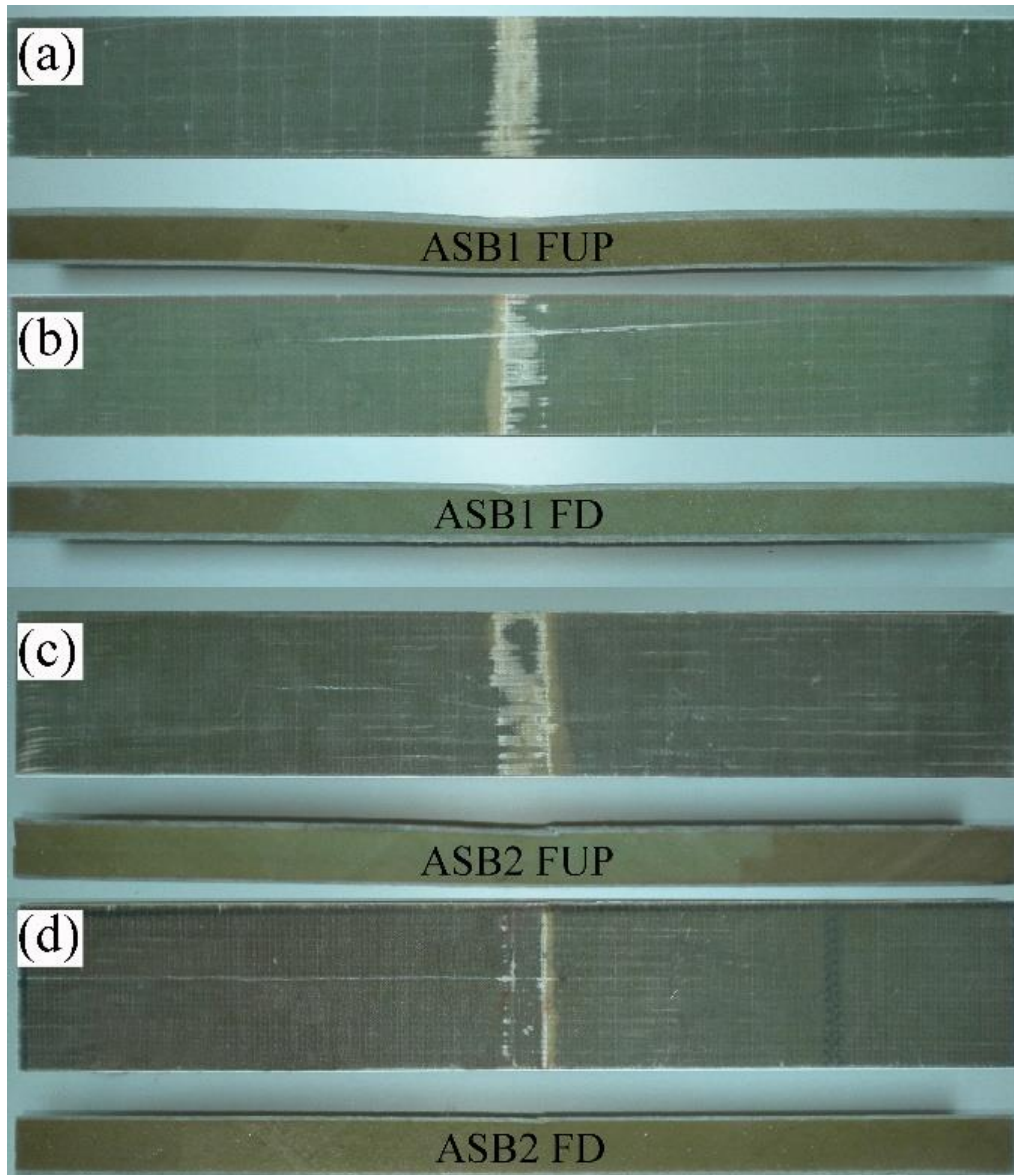


Figure 7. Damage photos of ASB₁ and ASB₂ specimens tested under 3PB test, (a) ASB₁-TS_{450, up}, (b) ASB₁-TS_{450, down}, (c) ASB₂-TS_{450, up}, (d) ASB₂-TS_{450, down}.

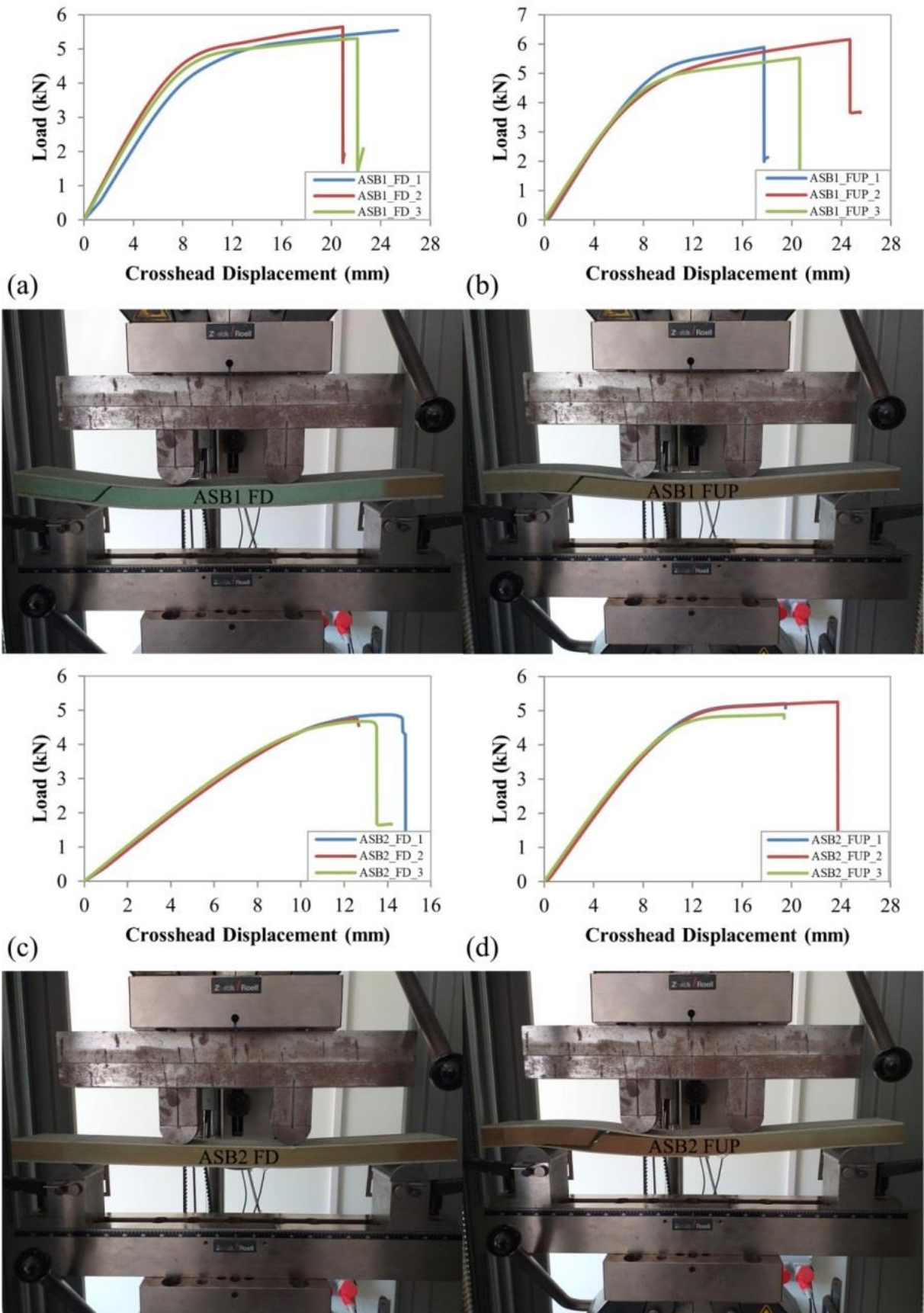


Figure 8. Load-crosshead displacement curves of ASB₁ and ASB₂ specimens tested under 4PB test and damage photos, (a) ASB₁-FS₄₅₀, down, (b) ASB₁-FS₄₅₀, up, (c) ASB₂-FS₄₅₀, down, (d) ASB₂-FS₄₅₀, up

B. FAILURE LOADS

The results for asymmetry beams showed that the difference between the theoretical loads based on Equations (8), (9), (10) and (11) actual failure loads ranges from 0.8% to 42.5%. This underestimation between the theoretical and experimental failure loads may be attributed to the material properties used in the analytical equations and also the complex state of stress between loading point and top face sheet where the failure initiated could not be accounted for in the proposed analytical equations [47]. Table 3 also shows a comparison between the specific ultimate bending loads of the specimens (P_u/W). These specific strength values are based on the individual weights of the sandwich beams after production. The asymmetric beams ASB₁ and ASB₂ weights are 14.4 and 10.3 kg/m², respectively.

C. MID-SPAN DISPLACEMENTS

Table 4 shows the theoretical (th.) and experimental (exp.) deflections collected from the linear-elastic zone at 1 kN and 2 kN. Figure 9 shows the change in shear and bending deflection contributions for 3PB and 4PB tests. The bending and shear effects are equal in case of flexural up and down loads. For 4PB tests, it was observed that the bending contribution reached the highest value for ASB₁ and ASB₂ beams. The total displacement formula for asymmetry beams overestimated the mid-span displacement by 1.6% on average, with a standard deviation of 0.09. The first-order shear deformation theory gave results in agreement with the experimental displacements in the elastic regime of the sandwich beams. This was due to the assumption of linear elastic behaviour of the component materials in the analytical model [24]. The difference between theoretical and experimental displacements ranges from 0.09 mm to 0.503 mm. It can also be seen that in general, in flexural down tests, this difference tends to be higher (Table 4). This could be due to the presence of the thicker face sheet in the bottom side. This resulted in a higher resistance of the sandwich beams at flexural-down loading in elastic region.

Table 4. Comparison of analytical and experimental mid-span displacements of asymmetric sandwich beams.

Specimens	Load (kN)	$\delta_{b.th.}$ (mm)	$\delta_{s.th.}$ (mm)	$\delta_{tot.th.}$ (mm)	$\delta_{exp.}$ (mm)	$\delta_{tot.th.}/\delta_{exp.}$
ASB ₁ -TS _{450,up}	1 kN	0.844	1.488	2.332	2.14	1.090
	2 kN	1.689	2.976	4.665	4.32	1.080
ASB ₁ -TS _{450,down}	1 kN	0.844	1.488	2.332	2.08	1.121
	2 kN	1.689	2.976	4.665	4.25	1.098
ASB ₁ -FS _{450,up}	1 kN	0.719	0.992	1.711	1.89	0.905
	2 kN	1.439	1.984	3.423	3.79	0.903
ASB ₁ -FS _{450,down}	1 kN	0.719	0.992	1.711	1.88	0.910
	2 kN	1.439	1.984	3.423	3.72	0.920
ASB ₂ -TS _{450,up}	1 kN	1.387	1.589	2.976	2.7	1.102
	2 kN	2.775	3.178	5.953	5.49	1.084
ASB ₂ -TS _{450,down}	1 kN	1.387	1.589	2.976	2.62	1.136
	2 kN	2.775	3.178	5.953	5.45	1.092
ASB ₂ -FS _{450,up}	1 kN	1.182	1.059	2.241	2.36	0.950
	2 kN	2.364	2.119	4.482	4.74	0.946
ASB ₂ -FS _{450,down}	1 kN	1.182	1.059	2.241	2.34	0.958
	2 kN	2.364	2.119	4.482	4.7	0.954
Results						
Ave.	-	-	-	-	-	1.016
SD	-	-	-	-	-	0.09

Note: $\delta_{b.th.}$: theoretical bending deflection; $\delta_{s.th.}$: theoretical shear deflection; $\delta_{tot.th.}$: total theoretical deflection; $\delta_{exp.}$: total experimental deflection.

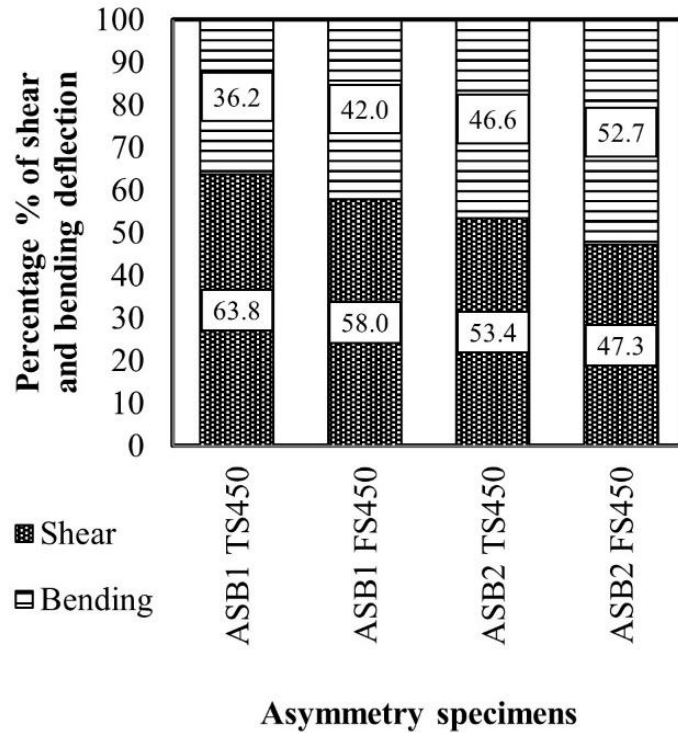


Figure 9. Bending and shear contributions to mid-span deflection values

D. BENDING STIFFNESS

The bending stiffness values of the sandwich beams are summarized in Table 5. ASB₁ beams had greater effective bending stiffness values in comparison with the ASB₂ specimens. This result suggested that the increase in the moment of inertia and stiffer face sheet material made a more marked contribution to theoretical stiffness of the specimens. For the 4PB tests, the effective bending stiffness of the ASB₁ and ASB₂ beams had the highest values. A deviation in the range of 0.08-2.27% was observed in the bending stiffness results due to flexural up and down loads. The outer thicker face sheet above or below the central core further to the neutral axis of the cross-section could give maximum advantage to the bending stiffness of the beams [48]. Comparing the experimental and analytical bending stiffness values, shear deformations reduced the composite action of the sandwich cross-section during the experiments, resulting in lower effective bending stiffness compared to equivalent bending stiffness (Table 5) [49].

Table 5. Bending stiffness values of asymmetric sandwich beams.

Specimens	K_i (kN/mm)	$EI_{eff.}$ (10^6 N.mm ²)	$E_{eq.}/E_{eff.}$	$EI_{eff.}/W$ (N.mm ² /kg)
ASB ₁ -TS _{450,up}	0.44	835.6	2.690	58.0
ASB ₁ -TS _{450,down}	0.439	834.9	2.693	57.9
ASB ₁ -FS _{450,up}	0.672	1086.2	2.070	75.4
ASB ₁ -FS _{450,down}	0.657	1062	2.117	73.8
ASB ₂ -TS _{450,up}	0.389	739.4	1.850	71.8
ASB ₂ -TS _{450,down}	0.392	744	1.839	72.2
ASB ₂ -FS _{450,up}	0.521	842	1.625	81.7
ASB ₂ -FS _{450,down}	0.525	848.3	1.613	82.4

V. CONCLUSIONS

In this study, the flexural behaviour of asymmetric sandwich beams was evaluated using three-point and four-point bending test methods and simple analytical expressions.

- The test results revealed that the flexural behaviour of asymmetric beams may be manipulated by changing the loading direction.
- The use of the weaker face sheet in asymmetry beam caused the damage to be governed by the failure of the face sheet under compression.
- The thicker face sheet can offer a large bending stiffness to composite beams; therefore, the ultimate bending strength can be improved by increasing the outer face sheet thickness.
- Asymmetry sandwich beams could be used in the flexural up position in order to resist higher bending loads.
- The parallel axis theorem and sandwich beam theory were used to derive the formulae for calculating the equivalent and effective bending stiffness values.
- The applied formula did not account for shear deformations, resulting in an overestimation of effective bending stiffness.
- Analytical model based on the first-order shear deformation theory to predict the mid-span deflections of the specimens showed a good agreement with the experimental results.
- The use of thicker face sheet resulted in an increase in the equivalent bending stiffness values, thus a decrease in the bending effect, while the use of a face sheet with lower in-plane mechanical properties caused an increase in the bending deflection values.

V. REFERENCES

- [1] Zenkert, D., "Chapter 3: Fundamentals" in *An Introduction to Sandwich Structures*, Chamelon, Oxford, 1995, pp. 3.1-3.12.
- [2] A. Mouritz and R. Thomson, "Compression, flexure and shear properties of a sandwich composite containing defects," *Composite structures*, vol. 44, no. 4, pp. 263-278, 1999.
- [3] L. Calabrese, G. Di Bella, and V. Fiore, "Manufacture of marine composite sandwich structures," in *Marine Applications of Advanced Fibre-Reinforced Composites*: Elsevier, 2016, pp. 57-78.
- [4] D. Zenkert, "Damage tolerance of naval sandwich panels," in *Major Accomplishments in Composite Materials and Sandwich Structures*: Springer, 2009, pp. 279-303.
- [5] L. Sutherland, "A review of impact testing on marine composite materials: Part III-Damage tolerance and durability," *Composite structures*, vol. 188, pp. 512-518, 2018.
- [6] A. Mouritz, E. Gellert, P. Burchill, and K. Challis, "Review of advanced composite structures for naval ships and submarines," *Composite structures*, vol. 53, no. 1, pp. 21-42, 2001.
- [7] E. Greene. (2020, May 27). "Lecture Notes." *Eric Greene Associates, Inc.* [Online]. Available:<http://ericgreeneassociates.com/webbinstitute.html>.
- [8] G. Di Bella, C. Borsellino, and L. Calabrese, "Effects of manufacturing procedure on unsymmetrical sandwich structures under static load conditions," *Materials & Design*, vol. 35, pp. 457-466, 2012.

- [9] J. Dai and H. T. Hahn, "Flexural behavior of sandwich beams fabricated by vacuum-assisted resin transfer molding," *Composite Structures*, vol. 61, no. 3, pp. 247-253, 2003.
- [10] T. Sharaf, W. Shawkat, and A. Fam, "Structural performance of sandwich wall panels with different foam core densities in one-way bending," *Journal of Composite Materials*, vol. 44, no. 19, pp. 2249-2263, 2010.
- [11] R. Umer, E. Waggy, M. Haq, and A. Loos, "Experimental and numerical characterizations of flexural behavior of VARTM-infused composite sandwich structures," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 31, no. 2, pp. 67-76, 2012.
- [12] A. Mostafa, K. Shankar, and E. Morozov, "Experimental, theoretical and numerical investigation of the flexural behaviour of the composite sandwich panels with PVC foam core," *Applied Composite Materials*, vol. 21, no. 4, pp. 661-675, 2014.
- [13] A. Mostafa, K. Shankar, and E. Morozov, "Behaviour of PU-foam/glass-fibre composite sandwich panels under flexural static load," *Materials and Structures*, vol. 48, no. 5, pp. 1545-1559, 2015.
- [14] H. Mathieson and A. Fam, "In-plane bending and failure mechanism of sandwich beams with GFRP skins and soft polyurethane foam core," *Journal of Composites for Construction*, vol. 20, no. 1, pp. 04015020, 2015.
- [15] W. Ferdous, A. Manalo, and T. Aravinthan, "Effect of beam orientation on the static behaviour of phenolic core sandwich composites with different shear span-to-depth ratios," *Composite Structures*, vol. 168, pp. 292-304, 2017.
- [16] S. V. Iyer, R. Chatterjee, M. Ramya, E. Suresh, and K. Padmanabhan, "A Comparative study of the three point and four point bending behaviour of rigid foam core glass/epoxy face sheet sandwich composites," *Materials Today: Proceeding*, vol. 5, no. 5, pp. 12083-12090, 2018.
- [17] W. Ferdous, A. Manalo, T. Aravinthan, and A. Fam, "Flexural and shear behaviour of layered sandwich beams," *Construction and Building Materials*, vol. 173, pp. 429-442, 2018.
- [18] C. Kaboglu, L. Yu, I. Mohagheghian, B. R. Blackman, A. J. Kinloch, and J. P. Dear, "Effects of the core density on the quasi-static flexural and ballistic performance of fibre-composite skin/foam-core sandwich structures," *Journal of Materials Science*, vol. 53, no. 24, pp. 16393-16414, 2018.
- [19] F. Balıkoğlu, N. Arslan, T. Demircioğlu, O. İnal, M. İren, and A. Ataş, "Improving four-point bending performance of marine composite sandwich beams by core modification," *Journal of Composite Materials*, vol. 54, no. 8, pp. 1049-1066, 2020.
- [20] F. Zhang, J. Xu, B. Esther, H. Lu, H. Fang, and W. Liu, "Effect of shear span-to-depth ratio on the mechanical behavior of composite sandwich beams with GFRP ribs and balsa wood core materials," *Thin-Walled Structures*, vol. 154, p. 106799, 2020.
- [21] Y. Gupta, A. Jacob, and A. Mohanty, "Effect of the core thickness on the flexural behaviour of polymer foam sandwich structures," *IOP SciNotes*, vol. 1, no. 2, p. 024404, 2020.
- [22] Ł. Pyrzowski and B. Sobczyk, "Local and global response of sandwich beams made of GFRP facings and PET foam core in three point bending test," *Composite Structures*, vol. 241, p. 112-122, 2020.

- [23] M. Kazemi, "Experimental analysis of sandwich composite beams under three-point bending with an emphasis on the layering effects of foam core," *Structures*, vol. 29: Elsevier, pp. 383-391, 2021.
- [24] A. Giordano, L. Mao, and F.-P. Chiang, "Full-field experimental analysis of a sandwich beam under bending and comparison with theories," *Composite Structures*, vol. 255, p. 112965, 2021.
- [25] W. Liu, F. Zhang, L. Wang, Y. Qi, D. Zhou, and B. Su, "Flexural performance of sandwich beams with lattice ribs and a functionally multilayered foam core," *Composite Structures*, vol. 152, pp. 704-711, 2016.
- [26] Y. Frostig, M. Baruch, O. Vilnay, and I. Sheinman, "Bending of nonsymmetric sandwich beams with transversely flexible core," *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 117, no. 9, pp. 1931-1952, 1991.
- [27] N. R. Satapathy and J. R. Vinson, "Sandwich Beams With Mid-Plane Asymmetry Subjected To Lateral Loads Analysis And Optimization," Master of Mechanical Engineering Thesis, University of Delaware, 1999.
- [28] N. R. Satapathy and J. R. Vinson, "Sandwich beams with mid-plane asymmetry subjected to lateral loads," *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 2, no. 4, pp. 379-390, 2000.
- [29] B. Castanié, J.-J. Barrau, and J.-P. Jaouen, "Theoretical and experimental analysis of asymmetric sandwich structures," *Composite Structures*, vol. 55, no. 3, pp. 295-306, 2002.
- [30] G. Di Bella, L. Calabrese, and C. Borsellino, "Mechanical characterisation of a glass/polyester sandwich structure for marine applications," *Materials & Design*, vol. 42, pp. 486-494, 2012.
- [31] J. Zhang, Q. Qin, W. Ai, H. Li, and T. Wang, "The failure behavior of geometrically asymmetric metal foam core sandwich beams under three-point bending," *Journal of Applied Mechanics*, vol. 81, no. 7, 2014.
- [32] M. E. Toygar, K. F. Tee, F. K. Maleki, and A. C. Balaban, "Experimental, analytical and numerical study of mechanical properties and fracture energy for composite sandwich beams," *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 21, no. 3, pp. 1167-1189, 2019.
- [33] F. Balıkoğlu, T. K. Demircioğlu, M. Yıldız, N. Arslan, and A. Ataş, "Mechanical performance of marine sandwich composites subjected to flatwise compression and flexural loading: Effect of resin pins," *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 22, no. 6, pp. 2030-2048, 2020.
- [34] B. Castanié, J.-J. Barrau, J.-P. Jaouen, and S. Rivallant, "Combined shear/compression structural testing of asymmetric sandwich structures," *Experimental Mechanics*, vol. 44, no. 5, pp. 461-472, 2004.
- [35] J. Deng, A. Peng, W. Chen, G. Zhou, and X. Wang, "On stability and damage behavior of asymmetric sandwich panels under uniaxial compression," *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 23, no. 6, pp. 1870-1901, 2021.
- [36] W. Zhang, Q. Qin, J. Li, B. Su, and J. Zhang, "A comparison of structural collapse of fully clamped and simply supported hybrid composite sandwich beams with geometrically asymmetric face sheets," *Composites Part B: Engineering*, vol. 201, p. 108398, 2020.
- [37] Core Materials. (2021, October 2). *Datasheet for Airex C70 PVC Foam* [Online]. Available: <https://www.3accorematerials.com/en/markets-and-products/airex-foam/airex-c70-pvc-foam>.



- [38] E. ISO, "527–4. Determination of tensile properties–Part 4: test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites. European Standard," *International Organization for Standardization*, 1997.
- [39] *ASTM Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials Using a Combined Loading Compression (CLC) Test Fixture*, ASTM D6641 / D6641M, ASTM, West Conshohocken, PA, 2016.
- [40] *ASTM Standard Test Method for Shear Properties of Composite Materials by V-Notched Rail Shear Method*, ASTM D7078 / D7078M, ASTM, West Conshohocken, PA, Pennsylvania, USA, 2012.
- [41] Poliya. (2021, December 29). *Data sheet for cured Polives 702 Bisphenol-A epoxy Vinylester Resin*. [Online]. Available: <https://www.poliya.com/tr/bisfenol-a-epoksi-bazli-vinilester-recineler>.
- [42] K.-T. Hsiao and D. Heider, "Vacuum assisted resin transfer molding (VARTM) in polymer matrix composites," in *Manufacturing techniques for polymer matrix composites (PMCs)*: Elsevier, 2012, pp. 310-347.
- [43] *ASTM Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure*, ASTM C393 / C393M-16, ASTM, West Conshohocken, PA, 2016.
- [44] C. A. Steeves and N. A. Fleck, "Collapse mechanisms of sandwich beams with composite faces and a foam core, loaded in three-point bending. Part I: analytical models and minimum weight design," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 46, no. 4, pp. 561-583, 2004.
- [45] I. M. Daniel, E. E. Gdoutos, J. L. Abot, and K.-A. Wang, "Deformation and failure of composite sandwich structures," *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 16, no. 4, pp. 345-364, 2003.
- [46] A. Manalo, T. Aravinthan, W. Karunasena, and M. Islam, "Flexural behaviour of structural fibre composite sandwich beams in flatwise and edgewise positions," *Composite Structures*, vol. 92, no. 4, pp. 984-995, 2010.
- [47] A. Manalo, "Behaviour of fibre composite sandwich structures under short and asymmetrical beam shear tests," *Composite Structures*, vol. 99, pp. 339-349, 2013.
- [48] Y. Qi, H. Fang, H. Shi, W. Liu, Y. Qi, and Y. Bai, "Bending performance of GFRP-wood sandwich beams with lattice-web reinforcement in flatwise and sidewise directions," *Construction and Building Materials*, vol. 156, pp. 532-545, 2017.
- [49] P. Sadeghian, D. Hristozov, and L. Wroblewski, "Experimental and analytical behavior of sandwich composite beams: Comparison of natural and synthetic materials," *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 20, no. 3, pp. 287-307, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Türkçe YouTube Yorumları Üzerinde Spam Filtreleme

 Sevinj SHİRZADOVA^a,  Alper Kürşat UYSAL^{b,*}

^a *Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE*

^b *Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: alper.uysal@alanya.edu.tr
DOI:10.29130/dubited.974309

ÖZ

Sosyal medya kullanıcıları tarafından en çok tercih edilen platformlardan birisi YouTube'tur. YouTube kullanımının artması beraberinde bazı problemleri de getirmiştir. Genellikle paylaşılan video içerikleriyle alakası olmayan, reklam amaçlı ve sürekli tekrarlayan istenmeyen (spam) yorumlar boşuna kaynak kullanımına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, YouTube yorumları üzerinde istenmeyen yorumların otomatik tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Metin sınıflandırma problemlerinin çözümü için diğer dillerde gerekli sistemler geliştirilse de Türkçe için yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada Türkçe YouTube yorumlarından oluşan veri setleri oluşturulmuş ve veri setleri üzerinde otomatik metin sınıflandırma algoritmalarının performansları değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın önemli bir katkısı da gelecek akademik çalışmalarda kullanılmak üzere erişime açık olacak 5 adet Türkçe veri seti oluşturulmuş olmasıdır. Çalışmada, Weka veri madenciliği aracı kullanılarak doğruluk ve hız açısından iyi sonuçlar veren sınıflandırma algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Doğruluk değerleri açısından bakıldığında SMO makine öğrenimi algoritması Türkçe YouTube yorumları sınıflandırma problemi üzerinde diğerlerine göre daha başarılı olarak görünmektedir. Bunun yanısıra öznetelik seçiminin sınıflandırma performansına etkisi araştırılmış ve genellikle az miktarda da olsa sınıflandırma doğruluk değerlerinde iyileşmelere sebep olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Spam filtreleme, Metin sınıflandırma, YouTube*

Spam Filtering on Turkish YouTube Comments

ABSTRACT

One of the most preferred platforms by social media users is YouTube. The increase in the use of YouTube has brought some problems with it. Unwanted (spam) comments, which are generally unrelated to the shared video content, for advertising purposes and constantly repetitive, cause useless resource use. In this study, it is aimed to automatically detect unwanted comments on YouTube comments. Although some systems have been developed in other languages to solve text classification problems, studies for Turkish are very limited. In this study, datasets consisting of Turkish YouTube comments were created and the performances of automatic text classification algorithms on the datasets were evaluated. An important contribution of this study is the creation of 5 Turkish datasets that will be public for use in future academic studies. In the study, the performances of classification algorithms that give good results in terms of accuracy and speed were compared using the Weka data mining tool. In terms of accuracy values, the SMO machine learning algorithm seems to be more successful than the others on the classification problem of Turkish YouTube comments. In addition, the effect of feature selection on classification performance has been investigated and it has been observed that it generally leads to slight improvements in classification accuracy.

Keywords: *Spam filtering, Text classification, YouTube*

I. GİRİŞ

Günümüzde sosyal medya insanların görüşlerini kolayca ifade edebildikleri küresel bir platforma dönüşmüştür. Sosyal medya, internet kullanıcılarının birbirleriyle bilgi ve görüşlerini görsel ya da işitsel bir şekilde paylaşarak iletişim kurmaları için olanak sağlayan araçlar ve web sitelerini içermektedir [1]. Sahip olduğu avantajlar nedeniyle sosyal medya diğer geleneksel medya platformlarından daha fazla tercih edilerek gelişimini sürdürmekte ve kendine yeni özellikler katarak çok hızlı yayılmaktadır. “We Are Social 2020” raporuna göre Türkiye’de nüfusun %74’ü internet kullanıcısı, nüfusun %64’ü sosyal medya kullanıcısı ve nüfusun %92’si mobil telefon kullanıcısıdır. Bu da 2019 yılı raporuyla kıyaslandığında internet kullanımında %4, sosyal medya kullanımında %4.2 ve mobil telefon kullanımında %3.4 oranlarında artış olduğunu göstermektedir [2]. Sosyal medyanın herkesin söz hakkı olduğu, insanların düşüncelerini özgürce ifade edip topluma etki edebildiği bir platform olması kötü amaçlı kullanıcıların sosyal medyayı olumsuz yönde kullanmalarına neden olmuştur. Bunlara sahte ürün reklamları, kötücül yazılımlar, kötü içerikli linkler vb. örnek olarak gösterilebilir. Genellikle rahatsız edici ve insanlar için tehlike oluşturan bu tür iletilerin spam olarak adlandırıldığı bilinmektedir.

Sosyal medyada popüler ortamlardan biri haline gelen YouTube, 2005 yılında PayPal çalışanları tarafından bir video barındırma web sitesi olarak kurulmuş ve bir sonraki yıl ise Google tarafından satın alınmıştır [3]. Google’ın YouTube için seçtiği "broadcast yourself" yani Türkçe anlamıyla "kendini yayımla" sloganı çok sayıda kullanıcının siteye abone olmasını sağlamıştır. Böylece YouTube, sadece ünlülerin değil, aynı zamanda sıradan insanların da kendine ait videolarını yayınlama imkânı olduğu bir platforma dönüşmüştür. YouTube’un para kazandırma özelliği, kısa sürede kullanıcı sayısının daha çok artmasına neden olmuştur. Bu avantajlarıyla YouTube kötü niyetli kullanıcıların da hedefi olmuştur. Bu kullanıcılar, videolar altına video ile ilgisi olmayan yorumlar yapmakla, sahte vaatlerle kullanıcıları yanlış yönlendirme ve bilgi çalma gibi amaçlarla kullanıcılar için tehlike oluşturacak biçimde karşımıza çıkmaktadır. YouTube, böyle uygunsuz içeriklerin işaretlenmesi ve önlemlerin uygulanması için hem gerçek kişilerden hem de teknolojiden yararlanmaktadır. İşaretlemeler, otomatik işaretleme sistemlerinden, Güvenilir İşaretleyici Programı’nın üyelerinden (STK’lar, devlet kurumları ve şahıslar) veya genel Youtube topluluğundaki kullanıcılardan gelebilir. Yeterli sayıda kullanıcı bir yorumu spam olarak işaretlerse o yorum gizlenir. Ancak bu yöntemler yorum denetleme için yeterli olmadığından spam hacmi gün geçtikçe artmaya devam etmektedir.

Bu çalışmada, Türkçe YouTube yorumları üzerinde otomatik spam tespiti yapılması amaçlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde konu ile ilgili genelde İngilizce iletiler için makine öğrenme yöntemleri kullanılarak spam tespiti yapıldığı görülmektedir. Buna karşın, Türkçe için yapılan çalışmaların çok daha kısıtlı olduğu söylenebilir. Bu çalışmanın genel olarak akademik literatür için iki ana katkısı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, oluşturulan veri setlerinin bu çalışma ile birlikte internet ortamında gelecek akademik çalışmalar için araştırmacıların erişimine açılacak olmasıdır. İkinci katkı ise Türkçe YouTube yorumları üzerinde 10 farklı sınıflandırma algoritması içeren şemaların başarılarının kapsamlı şekilde analiz edilmesi ve en başarılı sınıflandırma şemalarının tespit edilmesidir. Çalışma kapsamında, Türkiye’de geçmiş yıllarda çok izlenen 5 YouTube video klipi seçilerek bu kliplere yapılan yorumlar kaydedilmiş ve 5 tane farklı veri seti oluşturulmuştur. Sonrasında, oluşturulan veri setleri araştırmacılar tarafından etiketlenmiştir. En sonunda da her biri üzerinde makine öğrenme algoritmalarının performansları ölçülerek sonuçlar karşılaştırılmış ve böylece daha başarılı sınıflandırma performansları veren sınıflandırma şemaları tespit edilmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki akışı şu şekildedir: İkinci bölümde konu ile ilgili literatürdeki çalışmalar ele alınmaktadır. Üçüncü bölümde, deneysel çalışmalarda uygulanan sınıflandırma şemalarının bileşenlerinden bahsedilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar dördüncü bölümde detaylı şekilde ele alınmaktadır. Son bölümde ise çalışmanın sonuçları yorumlanacak ve ileriki muhtemel çalışmalardan bahsedilecektir.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde spam tespiti ile ilgili çalışmalarını incelediğimizde web spam tespiti [4], blog spam tespiti [5, 6], spam e-posta tespiti [7, 8, 9, 10], spam SMS mesaj tespiti [11, 12, 13] ile ilgili çok sayıda çalışma olduğunu görmekteyiz. Literatürdeki çalışmaların büyük çoğunluğunda çeşitli standart makine öğrenme yaklaşımları kullanılmakta olup bazı çalışmalarda derin öğrenme teknikleri de uygulanmıştır. Örneğin, Roy vd. spam SMS mesaj tespiti için Evrişimli Sinir Ağları (CNN) ve LSTM algoritması kullanmışlardır [13]. Literatürdeki çalışmalar genelde İngilizce iletilerden oluşan veri setleri üzerinde yapılmış olup Türkçe için bu anlamda çalışma sayısı oldukça azdır. Diğer sosyal ağlarda ve e-postalarda yayılan spam iletilerden farklı olarak YouTube'da yayınlanan spam yorumlar gerçek kullanıcılar tarafından oluşturularak genelde popüler videolarda kendi kendini tanıtmayı hedeflemektedir. Bu nedenle, bu tür mesajlar meşru mesajlara benzeyebilmektedir ve tespit edilmesi daha zordur.

2013 yılında yapılan bir çalışmada, YouTube videolarına yapılan video tipindeki yorumlar içerisinde spam videolar tespit edilmeye çalışılmıştır [14]. Çalışmada, video spam'leri otomatik olarak tespit edebilecek bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım tek sınıflı sınıflandırma algoritmasına dayanmaktadır. Video tipinde yorumlardan oluşan veri seti oluşturularak önerilen yaklaşım bu veri seti üzerinde denenmiştir. Yapılan deneysel çalışma, önerilen yaklaşımın %80 oranında doğruluk gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Abd, Altabrawe ve Ajmi, 2018 yılında yaptıkları çalışmada YouTube spam yorumlarını tespit etmek için Yapay Sinir Ağı modelleri kullanmıştır [15]. Bu çalışmada, aynı amaçla daha önce Alberto [16] tarafından yapılan başka bir çalışmayla karşılaştırma yapılmıştır. Alberto tarafından yapılan çalışmada TubeSpam adı verilen otomatik spam filtreleme yöntemi önerilmiş ve 5 tane en çok dinlenen şarkının yorumlarından oluşturulmuş 5 adet veri seti kullanılmıştır. Burada da yine aynı veri setleri kullanılarak Yapay Sinir Ağı modeli kullanılarak sınıflandırma yapılmış ve sonuçların Alberto'nun yaptığı çalışmadan daha iyi olduğu görülmüştür. Samsudin vd. 2019 yılında yaptıkları çalışmada YouTube spam yorumların tespiti için Basit Bayes ve Lojistik Regresyon sınıflandırma algoritmalarının performanslarını Weka ve Rapid Miner veri madenciliği programlarında karşılaştırmıştır [17]. Weka'da Basit Bayes ve Lojistik Regresyon %87.21 ve %85.29 oranlarında doğru sonuç verirken, Rapid Miner'da Basit Bayes ve Lojistik Regresyon %80.41 ve %80.88 oranlarında doğru sonuç vermiştir. Sonuç olarak Basit Bayes algoritmasının daha yüksek sınıflandırma doğruluğu verdiği görülmüştür. Uysal tarafından 2018 yılında yapılan bir başka çalışmada YouTube spam filtreleme için 2 farklı sınıflandırma algoritması kullanılarak 5 adet öznelik seçim metodunun performansları analiz edilmiştir [18]. Sınıflandırıcı olarak Basit Bayes ve Karar Ağaçları algoritmaları kullanılmıştır. Veri seti olarak Alberto'nun sunduğu 5 şarkıcının klibine yapılan İngilizce yorumları içeren 5 farklı veri seti kullanılmıştır. Değerlendirme için Makro-F1 başarı ölçütü ve performans değerlendirilmesi için 3-katmanlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlar, Distinguishing Feature Selector (DFS) ve Gini Index (GI) metodlarının diğer üç öznelik seçim yöntemine göre daha yüksek sınıflandırma doğruluğu verdiğini göstermiştir. Bununla beraber YouTube spam filtrelemede genellikle Karar Ağaçları algoritmasının Basit Bayes algoritmasından daha yüksek sınıflandırma doğruluğu verdiği görülmüştür.

Literatürde, Türkçe YouTube verileri üzerinde spam tespiti ile alakalı hemen hemen hiç çalışma bulunmamaktadır. Bunun nedenlerinden birisinin araştırmacıların erişimine açık Türkçe YouTube yorumları içerikli veri setinin bulunmaması olduğu değerlendirilmektedir.

III. SINIFLANDIRMA SEMALARI

Bu çalışmada öncelikle sınıflandırıcı performansları bölümün devamında anlatılan 10 farklı sınıflandırıcı ile analiz edilmiştir. Bir diğer yandan ise öznelik seçiminin sınıflandırıcı başarımlarına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritmaları ve öznelik seçim yöntemleri ile ilgili açıklamalar sonraki alt bölümlerde yer almaktadır.

A. SINIFLANDIRMA ALGORİTMALARI

Verilerin ön işlemlerden geçmesinden sonra Weka yazılım kütüphanesi [19] içerisindeki sınıflandırma algoritmalarından faydalanılarak deneysel çalışma sürdürülmüştür. Çalışmada, Weka içerisinde yer alan J48, Rastgele Orman (Random Forest), REPTree, Karar Tablosu (Decision Table), JRip, IBk, SMO, Bayes Ağı (BayesNet), Basit Bayes (Naive Bayes), Çok Terimli Basit Bayes (Multinomial Naive Bayes) isimli sınıflandırma algoritmaları kullanılmıştır. Aşağıda, bu çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritmalarının çalışma mantıkları kısaca açıklanmıştır.

J48: Bir karar ağacı algoritması olup makine öğreniminde yaygın kullanılan C4.5 algoritmasının Weka uyarlamasıdır. Ağaç yapısı düğüm ve dallardan oluşup, düğümler sınıf etiketlerini ifade eder [20].

Rastgele Orman (Random Forest): Çok sayıda karar ağacı oluşturarak sınıflandırma başarısını artırmayı amaçlayan bir algoritmadır [21]. Karar ağaçlarının her biri farklı eğitim verileriyle eğitilerek elde edilen sonuçlar birleştirilir ve yeni gelen örneğin sınıflandırılması bu bireysel sınıflandırma ağaçlarının tahminlerinden elde edilen oylara dayanarak yapılır.

REPTree: Regresyon ağacı mantığına dayanan, farklı yinelemelerle çok sayıda karar ağacı oluşturup aralarından en iyisini seçmeyi hedefleyen bir karar ağacı algoritmasıdır [22]. REPTree algoritması varyanstan kaynaklanan hatayı en aza indirme ve entropi ile bilgi kazanımı ilkesini benimsemektedir.

Karar Tablosu (Decision Table): Oluşturduğu karar tablosuna göre sınıflandırma yapan bir algoritmadır [23]. Eğitim setindeki verilerin özelliklerine dayanarak karar tablosu oluşturur. Yeni gelen örnek, oluşturduğu karar tablosundaki kurallara göre sınıflandırılır.

JRip: Tekrarlayan artımlı budama yöntemiyle hatayı azaltma mantığına dayanan algoritma, kural tabanlı sınıflandırma tekniği kullanır [23]. JRip algoritması önce eğitim setini budama ve gelişen kurallar listesi olmak üzere iki alt kümeye ayırır, daha sonra gelişen kurallar listesinde yer alan örneklere göre bir kural oluşturur. Bu işlemden sonra kurallar listesi artık yeni gelen bir örneğin sınıflandırılması için kullanılabilir.

IBk: K-en yakın komşu algoritmasıdır [24]. Burada k farklı değerler alabilir. En yakın mesafede olan komşuların sınıfına bakılarak sınıflandırma işlemi yapılmaktadır.

SMO: Sıralı minimal optimizasyon algoritması olan SMO algoritması Destek Vektör Makinesi tabanlıdır [24]. Standart Destek Vektör Makinesi algoritmasından farklı olarak analitik kuadratik programlama tekniği kullanan SMO algoritması ekstra matrise ihtiyaç duymadan kuadratik programlama problemlerini hızlı bir şekilde çözebilmektedir.

Bayes Ağı (BayesNet): Bayes ağı, istatistiksel modelin bir çeşidi olan olasılıksal yönlü dönüşsüz çizge modelidir [24].

Basit Bayes (Naive Bayes): Bayes teoremine dayanan olasılıksal sınıflandırma yöntemidir [25].

Çok Terimli Basit Bayes (Multinomial Naive Bayes): Basit Bayes sınıflandırıcısının bir çeşidi olup genelde metin sınıflandırma problemleri için kullanılır [25]. Sınıflandırıcının kullandığı öngörücüler metin dokümanlarında bulunan kelimelerin geçme sıklığıdır.

B. ÖZNETELİK SEÇİM YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada Weka’da bulunan 2 adet öznitelik seçim yöntemi deneysel bölümde kullanılmıştır. Aşağıda, bu yöntemlerin çalışma mantıkları kısaca açıklanmıştır.

Korelasyon tabanlı Öznitelik Altküme Seçim Değerlendirici (Correlation based Feature Subset Selection-CfsSubsetEval): Filtreleme mantığına dayanan bu öznitelik seçim algoritması, alt özellik kümelerini korelasyon bazlı değerlendirip aralarından en iyi olanı bulmaya çalışır [26].

Kazanım Oranı Öznitelik Değerlendirici (GainRatioAttributeEval): Bir özneliğin değerini, özneliğin sınıfa göre kazanım oranını ölçerek hesaplar [27].

Çalışmada, Weka ortamında öznitelik seçim yöntemleri uygulanırken bu yöntemlerle birlikte 2 farklı araştırma algoritması uygulanmıştır. Aşağıda, bu yöntemlerin çalışma mantıkları kısaca açıklanmıştır.

Açgözlü Adımsal Araştırma (GreedyStepwise): Öznitelik alt kümesi üzerinde ileriye veya geriye doğru açgözlü araştırma yapar [19]. Öznitelik uzayındaki herhangi bir noktadan başlayabilir. Kalan özniteliklerin eklenmesi veya silinmesi değerlendirmede bir düşünüşe neden oluncaya kadar devam eder.

Sıralayıcı (Ranker): Her bir özneliği ayrı ayrı değerlendirerek sıralama yapar [27]. Weka ortamında GainRatioAttributeEval, ClassifierAttributeEval, OneRAttributeEval gibi öznitelik değerlendiricileri ile beraber kullanılır.

IV. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde gerekli verilerin toplanması, işlenmesi ve gerçekleştirilen deneylere yönelik detaylar anlatılmaktadır. Öncelikle, ön işlemde geçirilen veri setleri Weka’da kullanılabilmesi için ARFF uzantılı dosya formatına çevrilmiştir. Ayrıca, deneylerde TF-IDF [28] ile ağırlıklandırma yapılmıştır. TF-IDF yöntemi, dokümanlardaki terimleri terim frekansına (tf) ve ters doküman frekansına (idf) göre ağırlıklandıran bir ağırlıklandırma şemasıdır. Çalışmada 10 farklı sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Weka’da hem ön işlemde geçirilmemiş veri, hem de ön işlemde geçirilmiş verinin sınıflandırma sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra ise öznitelik seçim metodlarının sınıflandırmaya etkisini araştırmak amacıyla 2 farklı öznitelik seçim yöntemi uygulanmıştır. Öznitelik seçiminde amaç, uygun olmayan özniteliklerin elenip sınıflandırma performansının iyileştirilmesi ve işlem yükünün azaltılmasıdır.

A. VERİ SETİNİN OLUŞTURULMASI

Literatürdeki ilgili çalışmalar araştırıldığında Türkçe YouTube yorumları üzerinde herhangi çalışma bulunmamakla beraber Türkçe YouTube yorumlarını içeren veri setinin de olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu yüzden çalışmaya öncelikle veri setini oluşturulmasıyla başlanmıştır. Bunun için 2017 yılının en çok izlenen video klipleri içerisinde 5 tanesi seçilmiş ve bu kliplere yapılan yorumlar Youtube Comment Scraper (YouTube Yorum Ayırıştırıcı) aracı yardımıyla indirilerek kaydedilmiştir. Daha sonra her bir dosyada yorum metinleri spam ve normal olarak el yordamıyla etiketlenerek .txt dosya formatında ilgili dokümanlara kaydedilmiştir. Böylelikle spam ve normal yorumlar içeren 5 tane veri seti oluşturulmuştur. Veri setleri hakkında detaylar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Oluşturulan 5 adet veri setini Weka formatında içeren ve TurkishYouTubeSpamDoc v1.0 adı verilen koleksiyon bu çalışma ile birlikte https://drive.google.com/file/d/1i-12McY9LfHIH6_kyJl43yMQQ7pehLix/view?usp=sharing adresinde araştırmacıların erişimine açılmıştır. Veri setlerindeki sınıflar bazındaki dağılım Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Veri setleri

Veri seti	Spam	Normal	Toplam
Ece Seçkin	135	269	404
Gülşen	173	194	367
Hadise	145	189	334
Hande Yener	94	179	273
Tarkan	147	184	331

Ece Seçkin isimli veri setinin ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış versiyonlarında sırasıyla 1849 ve 1187 adet öznitelik bulunmaktadır. Gülşen isimli veri setinin ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış versiyonlarında sırasıyla 1558 ve 1036 adet öznitelik bulunmaktadır. Hadise isimli veri setinin ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış versiyonlarında sırasıyla 1608 ve 1053 adet öznitelik bulunmaktadır. Hande Yener isimli veri setinin ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış versiyonlarında sırasıyla 1378 ve 860 adet öznitelik bulunmaktadır. Tarkan isimli veri setinin ön işlem uygulanmamış ve uygulanmış versiyonlarında sırasıyla 1476 ve 934 adet öznitelik bulunmaktadır.

B. SINIFLANDIRMA ŞEMALARININ BAŞARIM ANALİZİ

Veri madenciliğinde, kullanılan verinin kalitesinin sonuçları doğrudan etkilediği bilinmektedir. Çalışmamızda, sınıflandırma algoritmalarının başarımını artırmak adına bir takım ön işlemler gerçekleştirilmiştir. Ön işlem adımları olarak küçük harf dönüşümü, gereksiz işaretlerin ve durak kelimelerin metinden çıkarılması, dizgeciklere ayırma (tokenization), gövdeleme (stemming) uygulanmıştır. Gövdeleme için Zemberek Türkçe dil işleme kütüphanesinden faydalanılmıştır [29]. Yapılan işlemler Java programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Verinin ön işleminden geçirilmesinin sonuçlara etkisini daha açık şekilde gözlemlemek için ön işlem uygulanmayan ve ön işlem uygulanan veri seti üzerinde sınıflandırma algoritmaları uygulanmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının sunulduğu tablolarda veri setlerinin isminin sonuna "-S" eklenerek gösterilen sonuçlar ön işlem uygulanan durumları temsil edilmektedir. Sınıflandırma başarımını göstermek için doğruluk oranlarından faydalanılmıştır. 5 veri setinin her iki durumu için de sonuçlar Tablo 2-6'da gösterilmektedir. Tablolar içerisinde en iyi sınıflandırma doğruluğunu temsil eden sonuçlar kalın font ile gösterilmiştir. Ayrıca, model oluşum zamanları sistemin eğitim süresini temsil etmektedir.

Tablo 2'deki Ece veri setinde SMO, JRip, Basit Bayes (Naive Bayes), REPTree algoritmalarının %90 üzerinde doğruluk gösterdiği görülmektedir. Ece-S veri setinde, SMO, Çok Terimli Basit Bayes (NaiveBayesMultinomial- NBM), Rastgele Orman (RandomForest), Basit Bayes (Naive Bayes), JRip, Bayes Ağı (BayesNet) algoritmalarının %90 üzerinde doğruluk gösterdiği görülmektedir.

Tablo 3'te yer alan sınıflandırma doğruluğu değerleri göz önüne alındığında; Gülşen veri seti için, REPTree, Karar Tablosu (DecisionTable), JRip ve SMO sınıflandırma algoritmalarının diğer algoritmalara nazaran nispeten daha yüksek doğruluk sağladığı görülmektedir. NBM ve IBk algoritmaları hızlı olsa da doğruluk oranları az daha düşük olmuştur. Gülşen veri seti üzerinde, ön işlem gerçekleştirilen deneylerde, ön işlem gerçekleştirilmeyenlere nazaran tüm sınıflandırıcıların sınıflandırma performanslarının genel olarak yüzde 5 oranında daha yüksek olduğu gözlenmiştir. SMO, J48, Rasgele Orman (RandomForest), Karar Tablosu (DecisionTable), JRip, Bayes Ağı (BayesNet) daha yüksek başarı oranı gösteren algoritmalarındandır.

Tablo 2. Ece ve Ece-S veri setlerinin sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	Ece				Ece-S			
	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı
J48	335	69	82.92	3.68 sn	354	50	87.62	1.4 sn
RandomForest	359	45	88.86	11.2 sn	378	26	93.56	6.46 sn
REPTree	364	40	90.10	3.12 sn	373	31	92.33	1.73 sn
DecisionTable	360	44	89.11	41.3 sn	370	34	91.58	18.7 sn
JRip	371	33	91.83	9.14 sn	376	28	93.07	5.13 sn
İbk	350	54	86.63	0.01 sn	356	48	88.12	0.01 sn
SMO	373	31	92.33	0.37 sn	380	24	94.06	0.34 sn
BayesNet	362	42	89.60	0.9 sn	376	28	93.07	0.54 sn
NaiveBayes	370	34	91.58	0.52 sn	378	26	93.56	0.37 sn
NBM	357	47	88.37	0.01 sn	381	23	94.31	0.01 sn

Tablo 3. Gülşen ve Gülşen-S veri setlerinin sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	Gülşen				Gülşen-S			
	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı
J48	331	36	90.19	2.33 sn	353	14	96.19	1.25 sn
RandomForest	333	34	90.74	6.43 sn	351	16	95.64	4.94 sn
REPTree	335	32	91.28	1.96 sn	350	17	95.37	0.91 sn
DecisionTable	337	30	91.83	16.8 sn	352	15	95.91	9.91 sn
JRip	336	31	91.55	3.58 sn	352	15	95.91	2.29 sn
İbk	333	34	90.74	0.01 sn	350	17	95.37	~ 0 sn
SMO	336	31	91.55	0.49 sn	353	14	96.19	0.2 sn
BayesNet	329	38	89.65	0.61 sn	352	15	95.91	0.53 sn
NaiveBayes	323	44	88.01	0.4 sn	348	19	94.82	0.29 sn
NBM	327	40	89.10	0.01 sn	347	20	94.55	0.01 sn

Tablo 4. Hadise ve Hadise-S veri setlerinin sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	Hadise				Hadise-S			
	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı
J48	302	32	90.42	1.89 sn	303	31	90.72	1.16 sn
RandomForest	303	31	90.72	6.61 sn	314	20	94.01	4.75 sn
REPTree	302	32	90.42	1.67 sn	302	32	90.42	1.24 sn
DecisionTable	302	32	90.42	20.24 sn	306	28	91.62	13.32 sn
JRip	303	31	90.72	4.13 sn	310	24	92.81	2.65 sn
İbk	299	35	89.52	0.04 sn	309	25	92.52	~ 0 sn
SMO	306	28	91.62	0.36 sn	315	19	94.31	0.21 sn
BayesNet	300	34	89.82	0.72 sn	309	25	92.52	0.35 sn
NaiveBayes	303	31	90.72	0.38 sn	311	23	93.11	0.28 sn
NBM	300	34	89.82	0.01 sn	314	20	94.01	~ 0 sn

Tablo 5. Hande ve Hande-S veri setlerinin sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	Hande				Hande-S			
	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı
J48	240	33	87.91	2 sn	257	16	94.14	1.12 sn
RandomForest	251	22	91.94	6.45 sn	261	12	95.60	3.56 sn
REPTree	248	25	90.84	1.54 sn	257	16	94.14	0.74 sn
DecisionTable	246	27	90.11	19.83 sn	256	17	93.77	8.88 sn
JRip	247	26	90.48	4.19 sn	262	11	95.97	1.5 sn
İbk	160	113	58.61	0.02 sn	225	48	83.52	~ 0 sn
SMO	252	21	92.31	0.27 sn	262	11	95.97	0.21 sn
BayesNet	243	30	89.01	0.56 sn	258	15	94.51	0.34 sn
NaiveBayes	250	23	91.58	0.36 sn	257	16	94.14	0.21 sn
NBM	231	42	84.62	0.01 sn	238	35	87.18	0.01 sn

Tablo 6. Tarkan ve Tarkan-S veri setlerinin sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	Tarkan				Tarkan-S			
	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı	Doğru olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Yanlış olarak sınıflandırılan doküman sayısı	Doğruluk yüzdesi (%)	Model oluşum zamanı
J48	286	45	86.40	1.77 sn	313	18	94.56	1.62 sn
RandomForest	303	28	91.54	6.92 sn	312	19	94.26	4 sn
REPTree	303	28	91.54	1.74 sn	313	18	94.56	0.84 sn
DecisionTable	303	28	91.54	22.16sn	308	23	93.05	12.89 sn
JRip	308	23	93.05	4.67 sn	312	19	94.26	2.21 sn
İbk	293	38	88.52	0 sn	308	23	93.05	0.02 sn
SMO	307	24	92.75	0.23 sn	314	17	94.86	0.34 sn
BayesNet	291	40	87.92	0.64 sn	309	22	93.35	0.46 sn
NaiveBayes	301	30	90.94	0.38 sn	317	14	95.77	0.24 sn
NBM	301	30	90.94	0.04 sn	306	25	92.45	0.01 sn

Tablo 4'te, Hadise veri setinde algoritmaların birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. SMO, Basit Bayes (NaiveBayes), JRip, Rastgele Orman (RandomForest) sınıflandırıcıları diğerlerine göre nispeten daha doğru sonuç göstermiştir. Hadise-S veri setinde SMO, NBM ve Rastgele Orman (RandomForest) algoritmaları yüksek doğruluk göstermiştir.

Tablo 5'teki Hande veri setinde SMO, Rastgele Orman (RandomForest), Basit Bayes'in doğru sınıflandırma yüzdeleri diğerlerine göre daha iyi görünmektedir. SMO ve Basit Bayes (NaiveBayes) aynı zamanda hızlı sonuç veren algoritmalarlardır. Hande-S veri setinde en yüksek doğru sınıflandırma yüzdesi JRip ve SMO algoritmaları ile elde edilmiştir.

Tablo 6'daki Tarkan veri setine baktığımız zaman JRip ve SMO algoritmalarının daha yüksek doğruluk oranı gösterdiğini görebiliriz. Tarkan-S veri setinde algoritmalar genellikle yakın sınıflandırma doğruluk yüzdelerine sahiptir fakat Basit Bayes (NaiveBayes) algoritmasının doğru sınıflandırma oranı diğerlerinden daha yüksektir.

Tablo 2-6'daki sonuçlara baktığımızda genel olarak tüm algoritmaların ön işlem uygulanmış veri seti üzerinde sınıflandırma performansının ön işlem uygulanmayan veri seti üzerindeki göre çok daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca, veri setlerinin hemen hemen hepsinde SMO algoritmasının diğerlerine göre daha başarılı sınıflandırma performansları verdiği görülmektedir. SMO algoritması hem hız hem de doğruluk yüzdesi açısından başarılı olmuştur.

Deneylerin devamında öznitelik seçimi metotlarının sınıflandırma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Weka'da bulunan metotlar uygulanarak öznitelik seçiminin sınıflandırma performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bunun için 2 tane öznitelik değerlendirici ve araştırma yöntemi kombinasyonu kullanılmıştır. Öznitelik seçimi yöntemleri kullanılarak yapılan sınıflandırma sonuçları Tablo 7-16'da ifade edilmiştir. Tablolarda varsayılan olarak kullanılan gösterim, öznitelik sayısı için

bir sabit sayı belirtilmediği ve Weka programının belli bir eşik değerine göre seçilen öznelik sayısını ayarladığı durumu temsil etmektedir.

Tablo 7. Ece veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (seçilen özellik sayısı: 100)	Model oluşum zamanı
J48	81.19	2.15 sn	82.92	3.3 sn	81.19	0.85 sn
RandomForest	91.58	2.74 sn	88.86	12.12 sn	93.07	2.16 sn
REPTree	89.60	2.32 sn	90.10	3.88 sn	89.85	0.71 sn
DecisionTable	89.60	3.19 sn	89.11	43.9 sn	90.35	2.44 sn
JRip	91.34	1.84 sn	91.83	11.71 sn	92.08	1.11 sn
İBk	91.34	2.06 sn	86.63	0.81 sn	91.83	0.73 sn
SMO	91.34	1.91 sn	92.33	1.01 sn	92.57	1.09 sn
BayesNet	88.61	1.95 sn	89.60	1.47 sn	89.85	0.78 sn
NaiveBayes	89.36	1.79 sn	91.58	1.25 sn	91.34	0.74 sn
NBM	90.59	2.01 sn	88.37	0.98 sn	91.09	0.75 sn

Tablo 8. Ece-S veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (seçilen özellik sayısı: 100)	Model oluşum zamanı
J48	87.38	1.18 sn	87.62	2.23 sn	87.38	0.61 sn
RandomForest	92.08	1.86 sn	93.56	8.73 sn	94.55	2.19 sn
REPTree	90.84	1.33 sn	92.33	2.1 sn	92.08	0.71 sn
DecisionTable	89.11	1.16 sn	91.58	22.13 sn	92.33	1.95
JRip	91.09	0.95 sn	93.07	5.19 sn	92.82	1.03 sn
İBk	91.58	1.14 sn	88.12	0.48 sn	93.07	0.43 sn
SMO	91.09	1.31 sn	94.06	0.88 sn	94.55	0.64 sn
BayesNet	89.36	1.12 sn	93.07	1.22 sn	93.32	0.53 sn
NaiveBayes	89.60	1.19 sn	93.56	0.9sn	92.57	0.61 sn
NBM	91.34	1.32 sn	94.31	0.6 sn	94.31	0.44 sn

Tablo 9. *Gülşen veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları*

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (seçilen özellik sayısı: 100)	Model oluşum zamanı
J48	90.19	2.03 sn	90.19	2.83 sn	90.19	0.64 sn
RandomForest	91.01	2.45 sn	90.74	8.9 sn	91.83	2.25 sn
REPTree	91.28	2.39 sn	91.28	2.87 sn	91.28	0.45 sn
DecisionTable	91.83	2.91 sn	91.83	24.53 sn	91.83	2.08 sn
JRip	91.83	2.36 sn	91.55	5.45 sn	91.83	0.82 sn
İBk	90.19	2.32 sn	90.74	0.58 sn	90.19	0.57 sn
SMO	91.01	2.29 sn	91.55	1 sn	92.10	0.63 sn
BayesNet	90.19	2.22 sn	89.65	0.92 sn	89.65	0.71 sn
NaiveBayes	89.37	2.02 sn	88.01	0.89 sn	87.47	0.41 sn
NBM	88.83	2.5 sn	89.10	0.71 sn	88.01	0.44 sn

Tablo 10. *Gülşen-S veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları*

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (seçilen özellik sayısı: 100)	Model oluşum zamanı
J48	96.19	1.11 sn	96.19	1.93 sn	96.19	0.5 sn
RandomForest	96.19	1.29 sn	95.64	6.57 sn	95.91	2.71 sn
REPTree	95.64	1.27 sn	95.37	1.49 sn	95.64	0.52 sn
DecisionTable	95.91	1.29 sn	95.91	13.74 sn	95.91	1.62 sn
JRip	96.19	1.22 sn	95.91	2.87 sn	95.91	0.55 sn
İBk	95.64	1.06 sn	95.37	0.35 sn	94.55	0.51 sn
SMO	96.19	1.1 sn	96.19	0.57 sn	95.91	0.6 sn
BayesNet	95.91	1.2 sn	95.91	0.76 sn	95.91	0.69 sn
NaiveBayes	95.64	1.44 sn	94.82	0.62 sn	94.28	0.41 sn
NBM	94.82	1.16 sn	94.55	0.45 sn	90.74	0.4 sn

Tablo 11. Hadise veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (seçilen özellik sayısı: 100)	Model oluşum zamanı
J48	89.22	1.62 sn	90.42	3.15 sn	90.42	0.7 sn
RandomForest	89.82	2.36 sn	90.72	7.87 sn	91.02	5.2 sn
REPTree	88.92	2.02 sn	90.42	1.83 sn	90.42	1.31 sn
DecisionTable	88.92	2.13 sn	90.42	27.47 sn	90.42	12.73 sn
JRip	89.22	2.2 sn	90.72	4.77 sn	91.32	0.86 sn
İBk	88.92	1.62 sn	89.52	0.59 sn	91.62	0.5 sn
SMO	89.82	2.42 sn	91.62	0.75 sn	91.92	0.62 sn
BayesNet	88.32	2.31 sn	89.82	1.18 sn	89.82	0.63 sn
NaiveBayes	88.92	1.79 sn	90.72	0.67 sn	90.72	0.65 sn
NBM	88.62	2.25 sn	89.82	0.59 sn	91.02	0.53 sn

Tablo 12. Hadise-S veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (varsayılan)	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker (seçilen özellik sayısı: 100)	Model oluşum zamanı
J48	88.62	1.09 sn	90.72	1.49 sn	90.12	0.41 sn
RandomForest	89.82	1.88 sn	94.01	5.28 sn	94.01	1.39 sn
REPTree	89.52	1.34 sn	90.42	1.59 sn	91.02	0.55 sn
DecisionTable	89.82	1.47 sn	91.62	13.64 sn	91.62	1.69 sn
JRip	89.82	1.49 sn	92.81	3.93 sn	93.41	0.89 sn
İBk	89.22	1.24 sn	92.52	0.45 sn	93.41	0.45 sn
SMO	89.82	1.31 sn	94.31	0.58 sn	93.11	0.39 sn
BayesNet	89.52	1.3 sn	92.52	1.03 sn	92.52	0.39 sn
NaiveBayes	89.52	1.21 sn	93.11	0.63sn	93.11	0.46 sn
NBM	88.62	1.3 sn	94.01	0.29 sn	93.71	0.41 sn

Tablo 13. *Hande veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları*

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker	Model oluşum zamanı
	(varsayılan)		(varsayılan)		(seçilen özellik sayısı: 100)	
J48	84.62	3.3 sn	87.91	2.4 sn	87.91	0.48 sn
RandomForest	90.84	3.28 sn	91.94	7.17 sn	93.04	1.76 sn
REPTree	90.48	2.83 sn	90.84	1.81 sn	91.58	0.47 sn
DecisionTable	90.48	3.11 sn	90.11	17.08 sn	90.84	1.61 sn
JRip	90.48	2.74 sn	90.48	4.79 sn	91.94	0.84 sn
İBk	89.01	2.76 sn	58.61	0.44 sn	90.48	0.44 sn
SMO	90.84	3.14 sn	92.31	0.68 sn	92.68	0.49 sn
BayesNet	87.91	2.57 sn	89.01	1.08 sn	89.01	0.5 sn
NarveBayes	89.01	2.88 sn	91.58	0.65 sn	91.94	0.43 sn
NBM	89.38	3.22 sn	84.62	0.52 sn	90.84	0.46 sn

Tablo 14. *Hande-S veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları*

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker	Model oluşum zamanı
	(varsayılan)		(varsayılan)		(seçilen özellik sayısı: 100)	
J48	93.77	0.49 sn	94.14	1.12 sn	94.14	0.41 sn
RandomForest	95.60	0.93 sn	95.60	4.04 sn	96.70	1.38 sn
REPTree	94.14	0.59 sn	94.14	0.89 sn	94.51	0.43 sn
DecisionTable	93.77	0.66 sn	93.77	9.35 sn	93.77	1.76 sn
JRip	95.60	0.64 sn	95.97	1.62 sn	95.97	0.47 sn
İBk	95.24	0.72 sn	83.52	0.3 sn	94.14	0.22 sn
SMO	95.60	0.87 sn	95.97	0.32 sn	96.34	0.54 sn
BayesNet	92.67	0.56 sn	94.51	0.58 sn	94.51	0.29 sn
NarveBayes	95.24	0.64 sn	94.14	0.47sn	94.51	0.28 sn
NBM	94.14	0.68 sn	87.18	0.2 sn	91.58	0.21 sn

Tablo 15. Tarkan veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker	Model oluşum zamanı
	(varsayılan)		(varsayılan)		(seçilen özellik sayısı: 100)	
J48	85.50	1.63 sn	86.40	1.93 sn	85.80	0.81 sn
RandomForest	91.24	1.44 sn	91.54	6.34 sn	93.36	1.84 sn
REPTree	90.63	1.56 sn	91.54	1.81 sn	91.54	0.7 sn
DecisionTable	89.43	1.46 sn	91.54	21.57 sn	90.63	1.81 sn
JRip	91.24	1.57 sn	93.05	6.34 sn	92.45	0.84 sn
İBk	90.63	1.52 sn	88.52	0.51 sn	90.94	0.53 sn
SMO	91.24	1.34 sn	92.75	0.7 sn	93.35	0.6 sn
BayesNet	85.50	1.37 sn	87.92	1.14 sn	87.92	0.56 sn
NarveBayes	90.03	1.41 sn	90.94	0.8 sn	90.63	0.5 sn
NBM	90.33	1.22 sn	90.94	0.64 sn	93.35	0.61 sn

Tablo 16. Tarkan-S veri setinin özellik seçim metotları ile sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma algoritması	CfsSubsetEval + GreedyStepwise	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker	Model oluşum zamanı	GainRAE + Ranker	Model oluşum zamanı
	(varsayılan)		(varsayılan)		(seçilen özellik sayısı: 100)	
J48	93.05	0.88 sn	94.56	1.52 sn	94.86	0.44 sn
RandomForest	93.96	0.94 sn	94.26	4.14 sn	95.17	1.73 sn
REPTree	93.35	0.7 sn	94.56	1.23 sn	94.56	0.48 sn
DecisionTable	93.05	1.04 sn	93.05	10.14 sn	93.05	1.37 sn
JRip	92.75	0.77 sn	94.26	2.37 sn	94.26	0.54 sn
İBk	93.96	0.66 sn	93.05	0.37 sn	93.05	0.4 sn
SMO	94.26	0.83 sn	94.86	0.5 sn	94.26	0.41 sn
BayesNet	90.33	0.8 sn	93.35	0.81 sn	93.35	0.38 sn
NarveBayes	93.66	0.69 sn	95.77	0.59 sn	95.47	0.39 sn
NBM	93.96	0.82 sn	92.45	0.41 sn	94.86	0.35 sn

Tablo 7-8'deki Ece ve Ece-S veri setleri üzerinde SMO + (GainRAE + Ranker) kombinasyonu ve RandomForest+ (GainRAE + Ranker) kombinasyonları ile en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Öznitelik seçimi ile elde edilen sonuçların doğruluk oranının öznitelik seçimi uygulanmadan elde edilen sonuçlara göre nispeten yüksek olduğu gözlenmektedir.

Tablo 9'daki Gülşen veri seti üzerinde SMO + (GainRAE + Ranker) kombinasyonu ile en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Diğer yandan, Tablo 10'daki Gülşen-S veri seti üzerinde SMO + (GainRAE + Ranker) kombinasyonunun yanısıra birden fazla kombinasyon için en yüksek başarı oranı olan %96.19 doğruluğun elde edildiği görülmektedir. Gülşen veri seti için öznitelik seçimi başarıyı nispeten artırmış ancak Gülşen-S veri setinde iki durum için de aynı en yüksek doğru sınıflandırma oranı elde edilmiştir.

Tablo 11-12'deki Hadise ve Hadise-S veri setleri üzerinde SMO + (GainRAE + Ranker) kombinasyonu ile en yüksek doğruluk oranları elde edilmiştir. Hadise veri seti için öznitelik seçimi başarıyı nispeten artırmış ancak Hadise-S veri setinde iki durumda da aynı en yüksek başarı oranları elde edilmiştir.

Tablo 13-14'teki Hande ve Hande-S veri setleri üzerinde SMO + (GainRAE + Ranker) kombinasyonu ve RandomForest + (GainRAE + Ranker) kombinasyonları ile en yüksek doğruluk oranları elde edilmiştir. Öznitelik seçimi ile elde edilen sonuçların doğruluk oranının öznitelik seçimi uygulanmadan elde edilen sonuçlara göre nispeten yüksek olduğu gözlenmektedir.

Tablo 15'deki Tarkan veri seti üzerinde RandomForest + (GainRAE + Ranker) kombinasyonu ile en yüksek doğruluk oranı elde edilmiştir. Diğer yandan, Tablo 16'daki Tarkan-S veri seti üzerinde NaiveBayes + (GainRAE + Ranker) kombinasyonu ile en yüksek doğruluk oranının elde edildiği görülmektedir.

Tüm veri setleri için genel olarak (GainRAE + Ranker) yöntemi ile 100 öznitelik seçildiğinde sınıflandırma algoritmalarının daha iyi doğruluk oranları verdiği değerlendirilmektedir. (CfsSubsetEval + GreedyStepwise) yöntemi ile ise bu oranda başarılı sonuçlar elde edilememiştir.

V. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkçe YouTube yorumları üzerinde otomatik spam tespiti üzerine kapsamlı deneyler yapılmış ve başarılı olan sınıflandırma şemaları tespit edilmiştir. Amaç doğrultusunda 2017 senesinde en çok izlenen 5 Türkçe video klipe yapılan yorumlar online bir araçla çekilerek veri seti oluşturulmuş, verinin ön işlemden geçirilmesi için Java programlama dilinden ve Türkçe verilerin işlenmesine olanak sağlayan Zemberek kütüphanesinden yararlanılmıştır. Sınıflandırma aşaması için ise açık kaynak kodlu Weka veri madenciliği aracı kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde genel olarak tüm algoritmaların ön işlem uygulanmış veri seti üzerinde sınıflandırma performansının ön işlem uygulanmayan veri setine göre çok daha iyi olduğu görülmektedir. Tüm veri setleri üzerinde Rastgele Orman (RandomForest) ve SMO algoritmalarının daha yüksek sınıflandırma doğruluğu verdiği görülmektedir. Rastgele Orman (RandomForest) algoritması hız açısından biraz düşük performans gösterse de, SMO algoritması hem hız hem de doğruluk yüzdesi açısından başarılı olmuştur. Bu algoritmalar ön işlem uygulanmayan veri setleri üzerinde %88.86 - %91.94 ve %91.55 - %92.75 arasında doğruluk gösterirken, ön işlemden geçirilmiş veri setleri üzerinde %93.56 - %95.64 ve %94.06 - %96.19 arasında doğruluk göstermişlerdir. Hemen ardından JRip ve Basit Bayes (NaiveBayes) algoritmaları da genellikle yüksek başarı gösteren algoritmalarlardır.

Deneylerin devamında aynı veri setlerinin öznitelik seçimi metotları uygulanarak sınıflandırılan sonuçları sunulmuştur. Öznitelik seçiminin başarı oranlarını nispeten artırdığı görülmektedir. Öznitelik seçim metotları uygulandıktan sonra yapılan sınıflandırmada da yine Rastgele Orman

(RandomForest) ve SMO algoritmaları diğerlerine göre daha başarılı olmuştur. Algoritmaların başarı oranları ön işlem uygulanmayan veri setleri üzerinde %91.02 -%93.36 ve %91.92-%93.35 arasında iken, ön işlemden geçirilmiş veri setleri üzerinde %94.01-%96.70 ve %93.11-%96.34 arasında olmuştur. Diğer yandan, (CfsSubsetEval + GreedyStepwise) yöntemi ile başarılı sonuçlar elde edilememiştir.

Bu çalışma ile ilişkili ileriki çalışmalarda aynı yöntemler kullanılarak YouTube'dan farklı sosyal medya ortamlarında spam tespitinin performansının analiz edilmesi düşünülebilir.

VI. KAYNAKÇA

- [1] R. Dolan, J. Conduit R., J. Fahy, S. Goodman, “Social media: communication strategies, engagement and future research directions”, *International Journal of Wine Business Research*, vol. 29, no. 1, pp. 1-19, 2017.
- [2] H. Bayrak. (2020, 23 Şubat). Türkiye İnternet Kullanımı ve Sosyal Medya İstatistikleri. [Online]. Erişim: <https://dijilopedi.com/2020-turkiye-internet-kullanimi-ve-sosyal-medya-istatistikleri/>.
- [3] P. de Bérail, M. Guillon, C. Bungener, “The relations between YouTube addiction, social anxiety and parasocial relationships with YouTubers: A moderated-mediation model based on a cognitive-behavioral framework”, *Computers in Human Behavior*, vol. 99, pp. 190-204, 2019.
- [4] T. Singh, M. Kumari, S. Mahajan, “Feature oriented fuzzy logic based web spam detection”, *Journal of Information and Optimization Sciences*, vol. 38, no. 6, pp. 999-1015, 2017.
- [5] C. Romero, M.G. Valdez, A. Alanis, “A comparative study of machine learning techniques in blog comments spam filtering”, *The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2010, pp. 1-7.
- [6] W. Yang, L. Kwok, “Improving blog spam filters via machine learning”, *International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies*, vol. 9, no. 2, pp. 99-121, 2017.
- [7] Z. Li, H. Shen, “Soap: A social network aided personalized and effective spam filter to clean your e-mail box”, *IEEE INFOCOM*, 2011, pp. 1835-1843.
- [8] G. Sanghani, K. Kotecha, “Incremental personalized E-mail spam filter using novel TFDCR feature selection with dynamic feature update”, *Expert Systems with Applications*, vol. 115, pp. 287-299, 2019.
- [9] B. K. Dedetürk, B. Akay, “Spam filtering using a logistic regression model trained by an artificial bee colony algorithm”, *Applied Soft Computing*, vol. 91, pp. 1-18, 2020.
- [10] C. Wang, Q. Li, T. Y. Ren, X. H. Wang, G. X. Guo, “High Efficiency Spam Filtering: A Manifold Learning-Based Approach”, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2021, pp. 1-7, 2021.
- [11] J.M.G. Hidalgo, T.A. Almeida, A. Yamakami, “On the validity of a new SMS spam collection”, *11th International Conference on Machine Learning and Applications*, 2012, pp. 240-245.
- [12] Ö. Örnek, “Orange 3 ile Türkçe ve İngilizce SMS Mesajlarında Spam Tespiti”, *Eskişehir Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Bilişim Dergisi*, c. 1, s. 1., ss. 1-4, 2019.

- [13] P. K. Roy, J. P. Singh, S. Banerjee, "Deep learning to filter SMS Spam", *Future Generation Computer Systems*, vol. 102, pp. 524-533, 2020.
- [14] V. Chaudhary, A. Sureka, "Contextual feature based one-class classifier approach for detecting video response spam on youtube", *Eleventh Annual Conference on Privacy, Security and Trust*, 2013, pp. 195-204.
- [15] T. Abd, H. Altabrawee, S.Q. Ajmi, "YouTube Spam Comments Detection Using Artificial Neural Network", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 13, no. 22, pp. 9638-9642, 2018.
- [16] T. C. Alberto, J.V. Lochter, T.A. Almeida, "Tubespam: Comment spam filtering on YouTube". *Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 2015, pp. 138-143.
- [17] N.A.M. Samsudin, C. F. B. M. Foozy, N. Alias, P. Shamala, N. F. Othman, W. I. S. W. Din, "Youtube spam detection framework using naïve bayes and logistic regression", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 14, no. 3, pp. 1508-1517, 2019.
- [18] A.K. Uysal, "Feature selection for comment spam filtering on YouTube", *Data Science and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 4-8, 2018.
- [19] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, I. H. Witten, "The WEKA data mining software: an update", *ACM SIGKDD explorations newsletter*, vol. 11, no. 1, pp. 10-18, 2009.
- [20] B. Oralhan, "Veri madenciliği yaklaşımı ile telekomunikasyon sektöründe arıza giderme analizi", *Business & Management Studies: An International Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 1026-1043, 2020.
- [21] M. Amrehn, F. Mualla, E. Angelopoulou, S. Steidl, A. Maier. (2018, 19 Aralık). The random forest classifier in WEKA: Discussion and new developments for imbalanced data. [Online]. Erişim: <https://arxiv.org/abs/1812.08102v1>.
- [22] S. Kalmegh, "Analysis of weka data mining algorithm reptree, simple cart and randomtree for classification of indian news", *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 438-446, 2015.
- [23] S. Kalmegh, M.S. Ghogare, "Performance comparison of rule based classifier: Jrip and decisiontable using weka data mining tool on car reviews", *International Engineering Journal For Research & Development*, vol. 4, no. 5, pp. 5-5, 2019.
- [24] J. Brownlee, "Machine learning mastery with Weka", *E-book*, vol.1, 2019.
- [25] A. Nakra, M. Duhan, "Comparative Analysis of Bayes Net Classifier, Naive Bayes Classifier and Combination of both Classifiers using WEKA", *IJ Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, pp. 38-45, 2019.
- [26] A. Gümüşçü, İ.B. Aydilek, R. Taşaltın, "Mikro-dizilim Veri Sınıflandırmasında Öznitelik Seçme Algoritmalarının Karşılaştırılması", *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 1-7, 2016.
- [27] M. Z. Alam, M.S. Rahman, M.S. Rahman, "A Random Forest based predictor for medical data classification using feature ranking", *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 15, pp. 1-12, 2019.
- [28] H. Schütze, C. D. Manning, P. Raghavan, *Introduction to information retrieval*, Cambridge: Cambridge University Press, c. 39, ss. 234-265, 2018.





[29] A. A. Akin, M. D. Akin, "Zemberek, an open source NLP framework for Turkic Languages", *Structure*, 2007, pp. 1-5.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kenet Genişliğinin Yığma Taş Bloklarının Kayma Davranışı Üstündeki Etkisinin İncelenmesi

 Şükran TANRIVERDİ^a,  Tülin ÇELİK^{a,*},  Ali URAL^a,  Fatih Kürşat FIRAT^a

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.1014685

ÖZ

Tarihi yapılarda geleneksel yapı malzemesi olarak taş, tuğla türü malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelerin harç ile birleştirilmesiyle yığma duvarlar inşa edilmiştir. Yığma yapı birimlerinin çekme dayanımı oldukça düşüktür. Yığma yapıların kayma gerilmelerine karşı dayanım sağlaması ve yapı sisteminin birlikte hareket etmesi istenmektedir. Tarihi yapı duvarlarının, birleşim ve keşişim bölgelerinde elemanların birbirine kenetlenerek bütünleşmesini sağlamak gerekmektedir. Geçmişte tarihi yapıların bu bütünlüğünü koruyabilmek amacıyla çeşitli metal bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanları olarak kenetler ve zıvanalar ön plana çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, genişlikleri farklı olan kenet elemanların yığma taş blokların kayma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı kenet genişliklerde 18 adet deney numunesi üretilerek kayma dayanım testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar grafikler ve tablolar ile karşılaştırılmalı olarak sunulmaktadır. Bu çalışma ile kenet genişlikleri farklı olan numunelerin, kırılma yüklerine ve kayma dayanımlarına göre değerlendirmeleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tarihi yapılar, Yığma yapılar, Kenet genişliği

Investigation of the Effect of Clamp Width on the Sliding Behavior of Masonry Stone Blocks

ABSTRACT

Stone and brick type materials were used as traditional building materials in historical buildings. Masonry walls were built by combining these materials with mortar. The tensile strength of masonry building units is quite low. It is desired that masonry structures provide resistance against shear stresses and that the building system moves together. It is necessary to ensure the integration of the elements in the junction and intersection areas of the historical building walls by interlocking. In the past, various metal fasteners have been used to preserve the integrity of historical buildings. Clamps and dowels have come to the fore as these fasteners. In the experimental study, the effect of clamping elements with different widths on the shear strength of the masonry blocks was investigated. For this purpose, 18 test specimens with different clamp widths were produced and subjected to shear strength test. Obtained results are presented in comparison with graphs and tables. In this study, samples with different clamp widths were evaluated according to their breaking loads and shear strengths.

Keywords: Historical buildings, Masonry structures, Clamp width

I. GİRİŞ

Anadolu coğrafyası birçok devlete ve imparatorluğa ev sahipliği yapmıştır. Bu coğrafya yaklaşık 8000 yılda birçok medeniyeti içinde barındırmış ve bu medeniyetlerin kültürel mirasını günümüze kadar taşımıştır. Tarih boyunca bu bölgede yaşayan medeniyetlerce yapılan cami, han, hamam, kervansaray, köprü, külliye, saray ve su kemeri gibi tarihi yapılar; yapıldığı dönemin toplumsal yapısını, geleneksel yaşantısını ve şehrin kimliğini yansıtır. Anadolu'nun bazı bölgeleri mimari açıdan bütünlük sağlayarak birbirleri ile özdeşleşmiştir.

Tarihi yapılar deprem, sel, heyelan ve yangın gibi doğal felaketler nedeniyle birçok tarihi yapı, zaman içerisinde mimari ve yapısal özelliğini koruyamamıştır. Tarihi yapıya zarar veren nedenlerden bazıları yapıdaki bakımsızlık ve yapı üzerinde uygulanan yanlış restorasyon çalışmalarından kaynaklanmaktadır. Yanlış restorasyon uygulamaları, tarihi yapının aslının bozulmasına ve yapının deprem davranışının olumsuz olarak değişmesine neden olabilmektedir.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde, kendine özgü kimliğinin bozulmaması son derece önemli bir konudur. Bu yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kenet ve zıvana gibi metal bağlantı elemanları kullanılmıştır. Kenet ve zıvanalar; cami, köprü, mezar taşı, minare ve sütun gibi farklı yapılarda uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmada, tarihi yapılarda metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin genişlikleri, değişken olarak incelenmiştir. Kenet genişlikleri 1 cm'den 6 cm'e kadar 1'er cm arttırılarak yığma birimler üzerinde deneyler yapılmıştır.

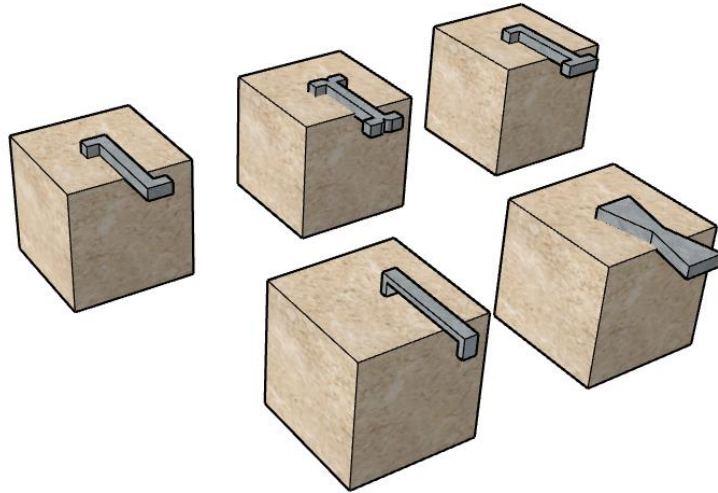
Literatür araştırmasında tarihi yapıların davranışını inceleyen farklı çalışmalar bulunmuştur. Sözen ve Çavuş [1] çalışmalarında, Yılanlı (Leylekli) tarihi köprüsünün deprem performansını incelemiştir. Köprü'nün orijinal geometrisi ile değişikliğe uğramış geometrisinin deprem performansları karşılaştırılmıştır. Yapının geometrik formunun değiştirilmesi ile deprem performansının olumlu etkilendiği görülmüştür. Türker ve Yanık [2], tarihi İlyasbey Camii'nin yapısal davranışlarını belirlemek amacıyla çevresel titreşim testleri yapmışlardır ve caminin sonlu elemanlar modelinde sabit, hareketli ve deprem yükleri etkisi altında analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirme çalışmalarında, metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenet ve zıvanaların davranışlarını inceleyen çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda bu bağlantı elemanlarının yığma sistemlerin sünekliğini ve dayanımını önemli derecede artırdığı belirlenmiştir. Çelik vd. [3], değişken olarak kenetlerin batma noktasının taşın kenarına olan mesafesi dikkate alınmış olup, kenetin taşın kayma dayanımına etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kenetin batma derinliğinin taşın kenarına olan mesafesine oranı 0,2 değerinden küçük olmaması gerektiği söylenmiştir. Kurugöl ve Küçük [4] çalışmasında, geleneksel mimarideki demir malzemesinin uygulandığı yer ve kullanım biçimlerini ele alınarak, üretim teknikleri ve şekil verme yöntemlerini belirlemişlerdir. Aynı zamanda demir malzemede zaman içerisinde ortaya çıkan çeşitli problemleri anlatmışlardır. Ural vd. [5] farklı kenet-zıvana sistemlerine sahip, aynı ebattaki yığma duvar numuneleri üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, sistemlerin yığma duvarların kesme (kayma) kapasitesine ne tür bir etkisi olduğu incelenmiştir. Uslu [6] yaptığı çalışmada, tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarını araştırmıştır. Metal bağlantı elemanları olarak kenet ve zıvana kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, yığma taş duvar numunelerini diyagonal basınç etkisine tabi tutarak, duvarlar üzerindeki kesme davranışının etkisi incelemiştir. Numuneler kırılma yüklerine ve kesme dayanımlarına göre değerlendirilmiştir. Kenet ve zıvanalar ile güçlendirilen yığma taş duvarların, bağlantı elemanı kullanılmayan yığma taş duvarlara göre daha yüksek dayanım gösterdiği sonucuna varılmıştır. Koçak [7] çalışmasında, düşük kayma dayanımına sahip yığma taş duvarların kayma dayanımını arttırmak amacıyla birçok teknik geliştirmiştir. Yapılan deneysel çalışmada yığma taş duvarların kayma dayanımını arttırmak için metal bağlantı elemanları kullanmıştır. Deneysel çalışmasında metal bağlantı elemanı olarak 3 farklı kenet çeşidi geliştirilmiştir. 10 farklı deney numunesi üretilerek bunların kayma dayanımları araştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, geliştirilen yeni metal bağlantı elemanlarının yığma yapıların kayma dayanımlarını ve sünekliğini etkili bir şekilde arttırdığını ortaya

koymuştur. Demirtaş [8] yaptığı çalışmada, çok tabakalı tarihi duvarlarda kullanılan kenet ve zıvanaların kayma davranışına etkisini incelemiştir. Değişken olarak, aksel gerilme düzeyi, kenet ve zıvana kullanımı ve dış tabakalar arasında iç moloz dolguyu kullanmıştır. Deneysel çalışma, yer değiştirme kontrollü olarak etkiyen tekrarlı kesme kuvvetlerine maruz bırakılmış duvar numunelerinden meydana gelmektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada kenetlerin kullanılmasının çatlak dağılımını etkilediği, kullanılan küfeki taşının sınırlı çekme dayanımına sahip olması nedeniyle, taşların çatlayarak kenetlerin etkinliklerini sınırladığı sonucuna varılmıştır. Toumbakari [9], Parthenon Tapınağındaki kuzey duvarı üzerinde bir araştırma yapmıştır. Söz konusu tapınak duvarlarında, taşları birbirine bağlamak amacıyla kenet uygulamalar kullanılmıştır. Bu kenet uygulamalarının duvarın davranışına etkileri araştırılmıştır. Papadopoulos [10] yaptığı çalışmada, Apollo Epikourios Tapınağında taş bloklar arasında bulunan metal bağlantı elemanlarını incelenmiştir. Kenet alanlarının taş blokların taşıma kapasitelerine etkisini, üç boyutlu analizler yardımıyla hesaplanmıştır. Sonuç olarak yığma yapının maksimum dayanım sağlaması için taş blokları birbirine bağlayan yeni kenet bağlantı alanları araştırmıştır. Baranaydın [11] geçmişte Ephesos St. Jean Kilisesi'nde yapılmış restorasyon çalışmalarını inceleyerek geniş çaptaki boşlukların onarımında kenetlerin kullanıldığını belirlemiştir. Demir kenet ile uygulanan dikiş yönteminde hatalı malzemelerin kullanılması sebebiyle yapı üzerinde sıkıntılar ortaya çıktığına değinmiştir. Tanrıverdi vd. [12] çalışmalarında tarihi yapılarda metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetlerin batma derinliklerinin taş bloklar üzerindeki etkisini incelemek amacıyla deneysel çalışma yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda kenetlerin taş bloklar üzerindeki optimum batma derinliğini bulmuşlardır. Yetkin vd. [13] 24 Ocak 2020 Sivrice depremi sonrasında Elazığ İli'nde bulunan minareleri inceleyip, minareler üzerinde meydana gelen hasarları değerlendirmişlerdir. Minarelerin onarım ve güçlendirilmelerinde ve yeni yapılacak minarelerde çekme dayanımlarını karşılayabilmeleri için kenetlerin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Nikoliç vd. [14] çalışmalarında taş duvar yapısının davranışı üzerinde deneysel bir araştırma yapmıştır. Deneysel çalışmada modelin kemerleri ve üst kısımlarında kenet ve zıvana kullanmışlardır. Deney sonuçları, yığma birimler arasındaki kenet ve zıvanaların yapının sismik enerji kaybını artırmada özel bir rol oynadığını ve yapıyı çökmeden koruduğunu göstermiştir.

A. TARİHİ YAPILARDA KULLANILAN METAL BAĞLANTI ELEMANLARI

Günümüze kadar ulaşılmış tarihi yapıların birçoğu doğal taş ve kesme taş malzeme kullanılarak yapılmıştır. Bu yapılardaki kesme taş blokların birbirine bağlanması amacıyla kenet ve zıvana kullanılmıştır. Tarihi yapılarda rastlanan kenet tipleri Şekil 1'de görülmektedir. Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, tarihin farklı devirlerinde kullanılmış olan bu bağlantı elemanlarını camilerde, minarelerde, kemer köprülerde, sütunlarda, sütun kaidelerinde, hatta bazı mezar taşlarında görmek mümkündür (Şekil 2).



Şekil 1. Tarihi yapılarda rastlanan kenet tipleri



Şekil 2. Bağlantı elemanı olan kenetin farklı alanlarda kullanımı

II. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan taşlar, Aksaray İli'nde bulunan Sevinçli kasabasından çıkarılan “tüf taşı” isimli volkanik kökenli bir taştır. Bu taşlar Aksaray ili ve çevresinde yapılan yığma yapı inşalarında kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan taşların boyutu 10x10x20 cm³ ebadındadır. Seçilen taşın fiziksel ve jeokimyasal analizleri Ankara Üniversitesi Başkent Meslek Yüksek Okulu Malzeme Araştırma ve Koruma Laboratuvarında yapılmıştır. Taşın fiziksel ve jeokimyasal analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 1. Tüf taşının fiziksel deney sonuçları

Test Türü / Birimi	Sonuç
Mohs Sertlik	3
Dijital Schmidt Çekici Sertliği	35 (33-37)
Kuru Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,97
Doygun Birim Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	1,52
Porozite (%)	22,78
Ağırlıkça Su Emme (%)	15,00
Nemlilik (%)	1,15
Renk	Gri
Doluluk Oranı (%)	76
Ultrasonik Hız (µs)	60,0
Ultrasonik Hız (km/s)	5,40
pH (100 mL suda)	8,87
Suda Çözünen Toplam Tuz (µS -25 mL suda)	590
Suda Çözünen Toplam Tuz (%-25 mL suda)	0,58
Darbe Direnci (kgcm/cm ³)	23

Tablo 2. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – eser elementler

Element	Konsantrasyon Miktarı (ppm)	Element	Konsantrasyon Miktarı (ppm)	
Co	Kobalt	11	Sn Kalay	1,5
Cu	Bakır	3,9	Te Tellür	1,3
Zn	Çinko	14	I İyot	2,3
Ga	Galyum	11,3	Cs Seryum	12
Ge	Germanyum	1	Ba Baryum	656,7
As	Arsenik	9,8	La Lantan	37,8
Se	Selenyum	0,4	Ce Seryum	46,4
Br	Brom	2,9	Hf Hafniyum	7,5
Rb	Rubidyum	163,9	Ta Tantal	2,8
Sr	Stronsiyum	124	W Tungsten	4
Nb	Niyobyum	16,7	Pb Kurşun	22
In	İndiyum	0,8	U Uranyum	7,4

Tablo 3. Taşın jeokimyasal analiz sonuçları – temel elementler

Element	Konsantrasyon Yüzdesi (%)	Element	Konsantrasyon Yüzdesi (%)		
Na ₂ O	Sodyum oksit	2,32	CaO	Kalsiyum oksit	1,21
MgO	Magnezyum oksit	0,544	TiO ₂	Titanyum dioksit	0,163
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit	10,05	V ₂ O ₅	Vanadyum pentoksit	0,002
SiO ₂	Silisyum dioksit	69,30	Cr ₂ O ₃	Krom III oksit	0,002
P ₂ O ₅	Fosfor pentaoksit	0,038	MnO	Mangan oksit	0,043
SO ₃	Kükürt trioksit	0,001	Fe ₂ O ₃	Demir III oksit	1,15
Cl	Klorür	0,036	LOI*		10,34
K ₂ O	Potasyum oksit	4,29	Toplam		99,49

(*) LOI: Loss on Ignition / Fırında 950°C’de Kızdırma Kaybı (Karbonat)

Kullanılan taşın basınç dayanımı tayini için, TS EN 771-6’ya [15] göre 50x50x50 mm³ boyutlarında kesilen taşların oda sıcaklığında kuruması sağlanmıştır. TS EN 772-1’de [16] belirtildiği şekilde 6 adet taş üzerinde basınç dayanımı testleri Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır (Şekil 3).



a) Yığma birimlerin basınç dayanımı



b) Yığma birimlerin eğilmede çekme dayanımı

Şekil 3. Yığma birimlerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı testleri

Numunelerin basınç dayanımları, TS EN 772-1’de [16] belirtildiği gibi maksimum yükün, yükün uygulandığı alana bölünmesiyle hesaplanmıştır. Yığma birimlerin ortalama basınç dayanımı, 4,13 MPa olarak hesaplanmıştır. Aşağıdaki Tablo 4’de taşın basınç dayanım test sonuçları toplu olarak verilmektedir.

Tablo 4. Duvar deneylerinde kullanılan yığma birimlere ait basınç dayanımı sonuçları

Numune No	En kesit boyutları (mm)		Kırılma Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
	a	b		
1	50	50	12650	5,06
2	50	50	10850	4,34
3	50	50	8570	3,43
4	50	50	9970	3,98
5	50	50	11450	4,58
6	50	50	8450	3,38
Ortalama				4,13
Standart Sapma				0,66

Yığma taş birimlerin eğilmede çekme testleri TS EN 772-6 [17] (Beton kagir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini) standartı dikkate alınarak yapılmıştır. Standartta belirttiği gibi taşın ebatı 40x40x160 mm³ kesilerek toplam 6 adet numune üzerinde eğilmede çekme testleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3). Taş numunelerinin eğilmede çekme dayanımları Eş. 1 ile hesaplanmıştır.

$$R_{tf} = \frac{PL}{bd^2} \quad (1)$$

Denklemdaki R_{tf} ; eğilmede çekme dayanımını (N/mm²), P; maksimum yüğü (N), b; taşın genişliğini (mm), L; taşın boyunu ve d; taşın yüksekliğini (mm) ifade etmektedir. Tablo 5’de tuf taşının eğilmede çekme dayanım sonuçları verilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda taşın eğilmede çekme dayanımı ortalama 0,71MPa olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5. Yığma taş birimler için eğilmede çekme dayanım test sonuçları

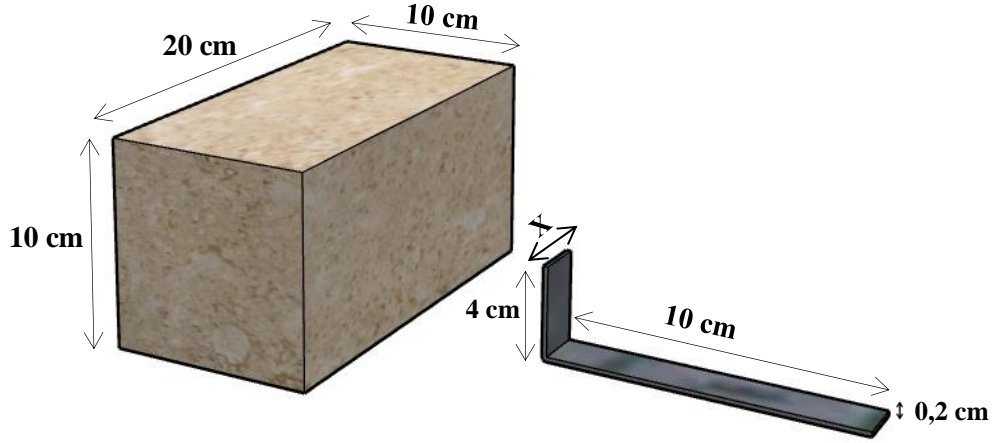
Numune No	Kırılma Yüğü (N)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)
1	490	0,77
2	490	0,62
3	560	0,88
4	500	0,68
5	450	0,59
6	570	0,72
Ortalama		0,71
Standart Sapma		0,11

Deneylerde metal bağlantı elemanı olarak kullanılan kenetin kalınlığı 0,2 cm olarak seçilmiştir. Kenet ile ilgili çekme testleri TS EN ISO 6892-1 [18] (Metalik malzemeler çekme deneyi) standardında belirtilen şekilde Eş. 2 ile hesaplanmıştır.

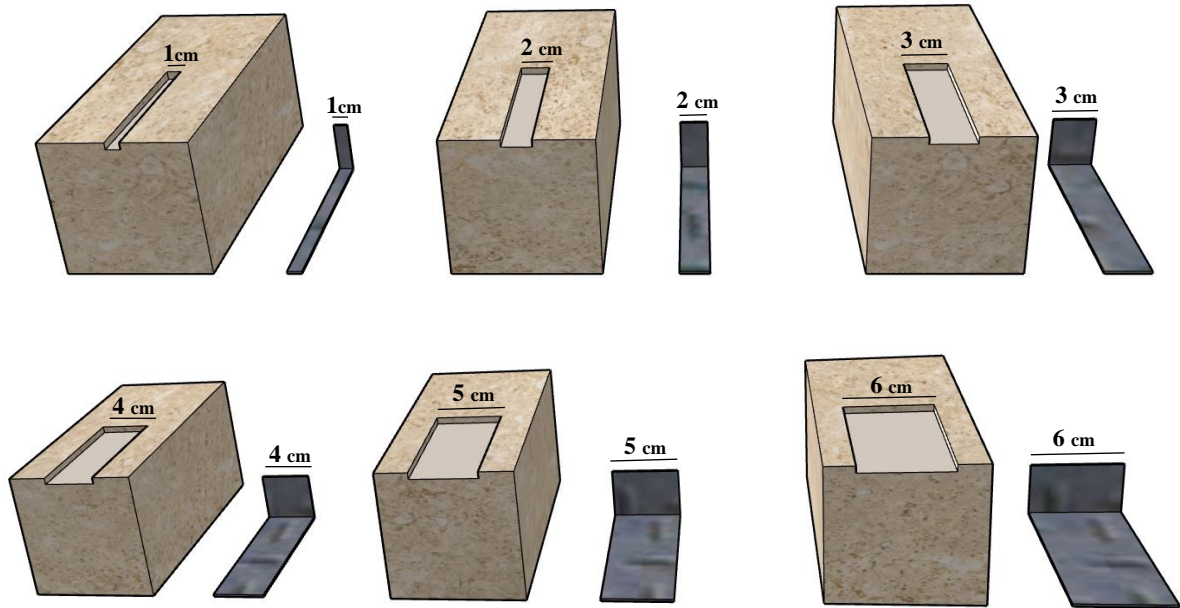
$$R_m = F_m \quad (2)$$

Burada; R_m çekme dayanımı (MPa), F_m deney sırasında akma noktası geçildikten sonra deney numunesinin dayandığı en büyük yüğüdür. Yapılan deney sonucunda kenetlerin çekme dayanımı 290 MPa civarında bulunmuştur.

Deneyde kullanılan tuf taşı Şekil 4’de gösterildiği gibi 10x10x20 cm³ ebadında olup, kenetlerin uzunluğu 10 cm, batma derinliği 4 cm ve kalınlığı 0,2 cm’dir. Kenet genişlikleri değişken olarak belirlenip X ile gösterilmiştir. Kenet genişliği 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm ve 6 cm olan her bir numuneden 3’er adet olmak üzere toplamda 18 numune üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyde incelenen kesme taş numuneleri ve kenet genişliği boyutları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Kesme taş ve kenet numunelerinin boyutları



Şekil 5. Kesme taş numuneleri ve kenet genişliği boyutları

III. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan, TS EN 1052-3'e [19] uygun olarak hazırlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. 15 mm kalınlığında 30x40 cm ebadındaki üç adet çelik plaka, Şekil 6'da gösterildiği gibi köşelerinden 5 cm uzaklıkta delikler delinerek 16 mm'lik tij demirleri ile birbirlerine bağlanmıştır. Bu tij demirlerine yerleştirilen bulonlar sayesinde çelik levhalar hareket edebilmektedir. Eksenel yükü okuyabilmek için 10 tonluk bir yük hücresi iki çelik plaka arasına sabitlenmiştir. TS EN 1052-3'e [19] göre üç ayrı eksenel basınç yükünün her birisi için en az üç adet numunenin deneye tabi tutulması istenmektedir. Standart da belirtildiği gibi basınç dayanımı 10 MPa'dan küçük olan yığma birimlerde eksenel basınç yükleri 0,1 MPa, 0,3 MPa ve 0,5 MPa dayanım sağlayacak şekilde uygulanmalıdır. Yaptığımız deneysel çalışmada basınç dayanımı yaklaşık 4 MPa civarında olduğu için eksenel basınç yükü 0,3 MPa alınmıştır. Tijlere bağlı bulonlar sıkılarak çelik plakaların hareketiyle eksenel basınç yükü verilmektedir. Yük hücresinde okunan eksenel yük seviyesi istenen noktaya geldiğinde bulonlar sabitleştirilip, deney düzeneğinin üst kısmına bir adet hidrolik pompa ve üzerine 50 ton kapasiteli bir yük hücresi konularak çekme yükü verilmektedir.



Şekil 6. Deney düzeneği



(a)



(b)

Şekil 7. (a) Deney numuneleri, (b) kenetler

Yapılan deneysel çalışmada, metal bağlantı elemanı olan kenetlerin genişliklerinin taş bloklar üstündeki kayma dayanımına etkileri incelenmiştir. 10x10x20 cm³ ebadındaki yığıma taşlar, tam orta noktasından 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm ve 6 cm genişliğinde (kenet genişlikleri değişken olarak alınmıştır), 4 cm batma derinliğinde matkap yardımı ile açılmıştır. Her bir numune için 0,2 cm kalınlığında, 4 cm batma derinliğinde, 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm genişliğinde kenetler hazırlanmıştır. Kenet elemanları matkap yardımı ile açılan deliğe yerleştirilmiştir. Diğer yığıma taş orta noktasından 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm genişliğinde, 0,2 cm kenet kalınlığı kadar oyulmuştur. Herbir kenet genişliğinden 3'er tane olmak üzere, toplamda 18 adet deney numunesi üzerinde kayma testleri yapılmıştır (Şekil 7). Yapılan deneyler sonucunda elde edilen deformasyonlar ve sayısal değerler karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Deney sonuçları grafik ve resimler ile karşılaştırmalı olarak sunulup, açıklanmıştır. Numunelerin deney sonrası resimleri Şekil 8'de gösterilmiştir.



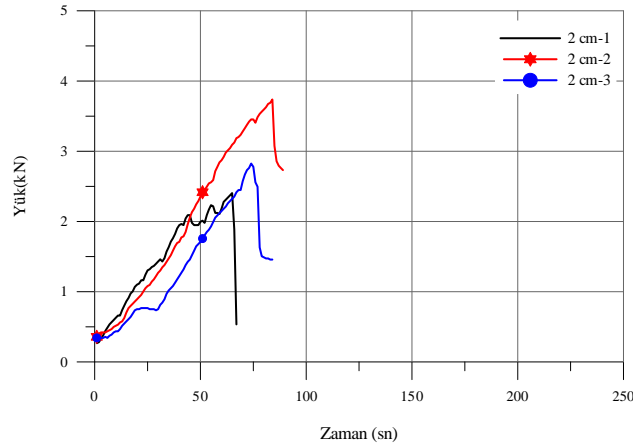
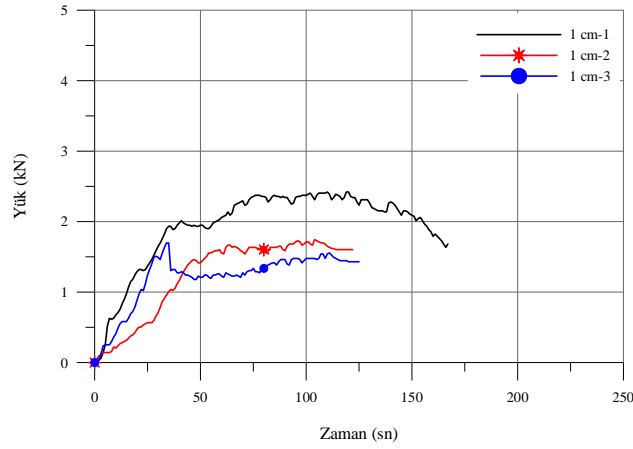
Şekil 8. Numunelerin deney sonrası hali

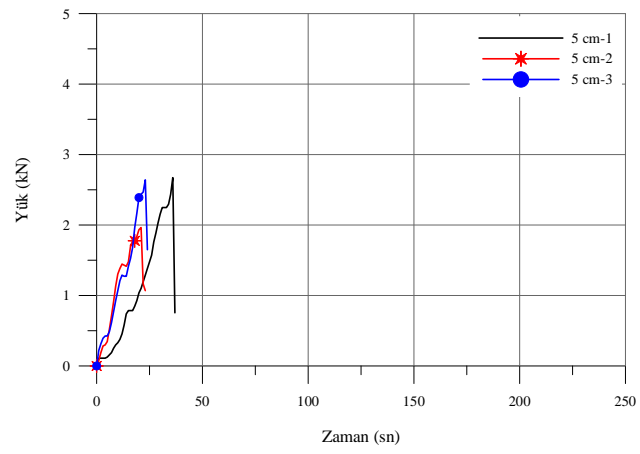
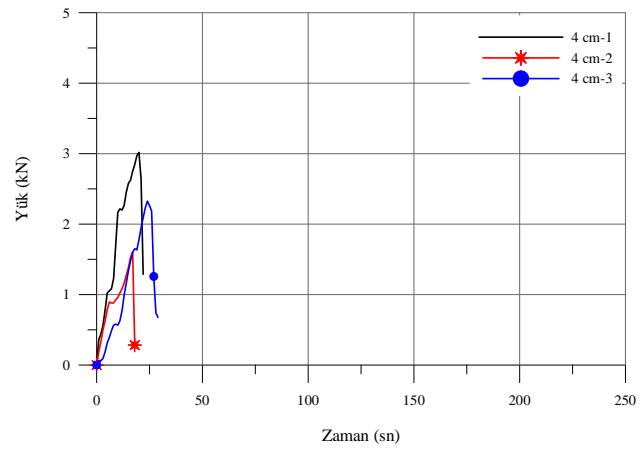
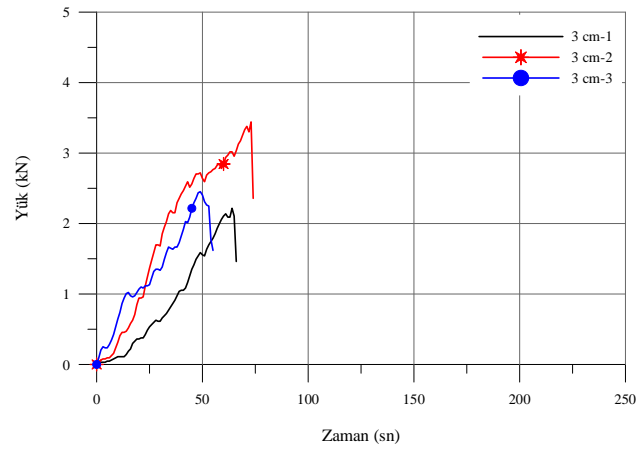
D1 1 cm genişliğinde, D2 2 cm genişliğinde olmak üzere 6 farklı genişlikte kenetler kullanılmıştır. Her genişlikten 3 adet olmak üzere toplam 18 tane kayma testi deneyi yapılmıştır. D1-D6 arasındaki numuneler üzerinde yapılan deney sonuçları sayısal değerleri Tablo 6'da ve numunelerin deney sonrası fotoğrafları Şekil 9'da verilmiştir.

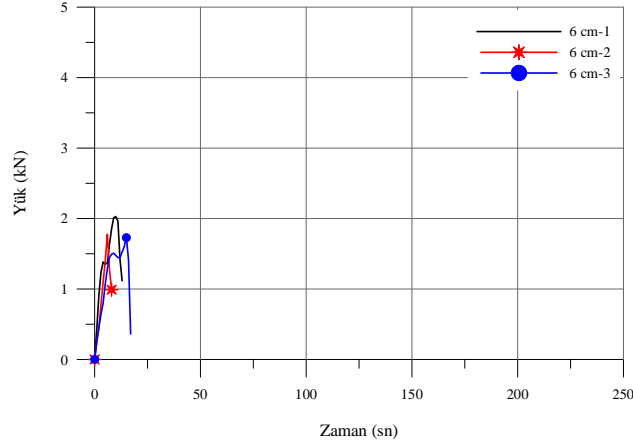


Şekil 9. Deney sonrası numunelerin görüntüleri

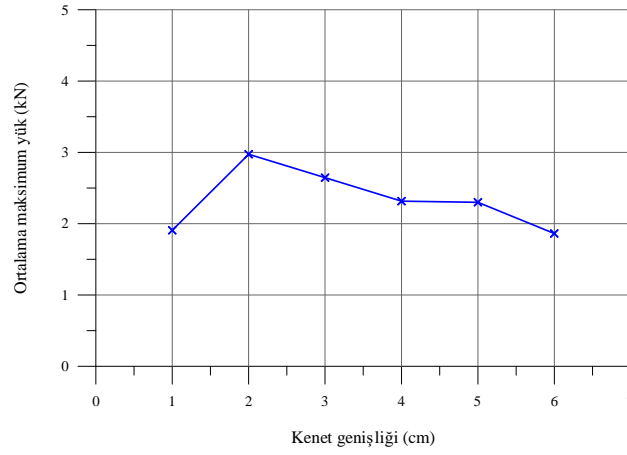
Farklı genişliğe sahip kenet numuneleri üzerinde yapılan deney sonucunda çizilen yük-zaman grafikleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'dan da görüldüğü üzere, 1 cm kenet genişliğine sahip deney numunelerinde, kenet elemanlarında sıyrılmalar gözlemlenmiş olup sıyrılmalardan dolayı numuneler çok fazla yük taşıyamamıştır. Her bir numune için yapılan üçer adet deneyin sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Ortalama maksimum yük-kenet genişliği grafiği Şekil 11'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre ortalama en düşük yük, 1 cm ve 6 cm kenet genişliğine sahip deney numunelerine ait olup sırasıyla 1,907 ve 1,862 kN'dur. 4 cm ve 5 cm kenet genişliğine sahip kenetlerle yapılan deney elemanlarının taşıdığı ortalama maksimum yük birbirlerine çok yakın çıkmıştır. 4 cm kenet genişliğine sahip deney elemanı ortalama maksimum 2,316 kN yük taşırken, 5 cm'lik kenet genişliğine sahip deney elemanı 2,300 kN yük taşımıştır. Grafiklerden de görüldüğü üzere maksimum yük taşıyan deney numunesi 2 cm kenet genişliğine sahip deney elemanında gözlemlenmiştir. 2 cm genişliğe sahip kenet numunesinin ortalama taşıdığı maksimum yük değeri 2,973 kN değerinde iken, 3 cm genişliğe sahip kenet numunesinin ortalama taşıdığı maksimum yük 2,646 kN olmuştur.







Şekil 10. Yük-zaman grafikleri

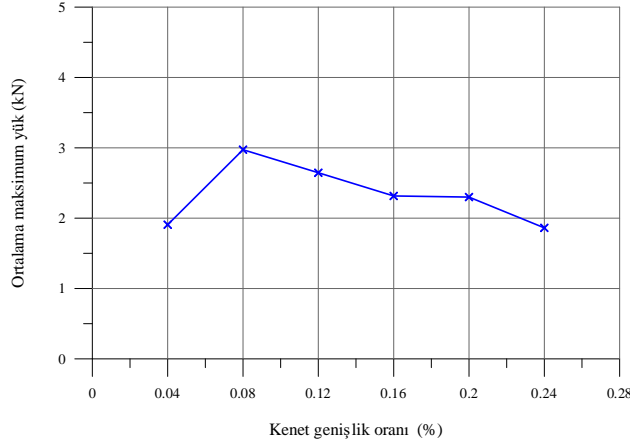


Şekil 11. Ortalama maksimum yük- kenet genişliği grafiği

Tablo 6. D1-D6 numunelerinden elde edilen ortalama maksimum yükler

Deney No	Kenet Genişliği (cm)	Ortalama Maksimum Yük (kN)	Kenet Genişlik Oranı
D1	1	1,907	0,04
D2	2	2,973	0,08
D3	3	2,646	0,12
D4	4	2,316	0,16
D5	5	2,300	0,20
D6	6	1,862	0,24

Tablo 6'da kayma yüzeylerine yerleştirilen kenetlerin alanları hesaplanmış ve kayma alanıyla olan orantısı da çıkartılmıştır. Buna göre kayma yükü en yüksek çıkan D2 (kenet genişliği 2 cm) numunesinde, kenet genişlik oranı 0,08 olarak belirlenmiştir. Deney numunelerinin kenet genişlik oranı ile ortalama maksimum yük arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için Şekil 12'deki grafik çizilmiştir. Grafikten de anlaşıldığı gibi maksimum ortalama yüke sahip olan D2 numunesinde kenet genişlik oranı 0,08 olmuştur. D2 numunesinden sonra kenet genişlik oranı arttıkça maksimum ortalama yük değeri azalmaktadır.



Şekil 12. Ortalama maksimum yük-Kenet genişlik oranı grafiği

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Değişken olarak ele alınan kenet genişliğinin, yığma taş blokların kayma dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında her bir numuneden 3'er adet olmak üzere toplamda 18 adet deney numunesi ele alınarak kayma testi uygulanmıştır. Buradaki amaç, farklı genişlikteki kenet modellerinin, kayma davranışına etkisini göstererek, optimum kenet genişliğini elde etmektir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ D2 numunesinin taşıdığı ortalama maksimum yükün, D1, D3, D4, D5 ve D6 numunelerine göre sırası ile % 55,90, %12,36, %28,37, %29,26 ve % 59,67 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. Bu sebeple deney sonucunda, optimum kenet genişliği 2 cm olarak belirlenmiştir.
- ✓ Maksimum ortalama yüke sahip olan D2 numunesinde meydana gelen kenet genişlik oranı 0,08'dir. Kenet genişlik oranı D2 numunesinden sonra artmıştır. Kenet genişlik oranı ile ortalama maksimum yük karşılaştırıldığı zaman, D2 numunesinden sonraki numunelerde kenet genişlik oranı arttıkça maksimum ortalama yük değeri azalmıştır.
- ✓ Kenet genişliği 1 cm olan deney numunelerinde sıyrılmalar gözlemlenmiştir. Farklı taş numuneleri için de aynı şekilde sıyrılmaların olabileceği öngörülmektedir.
- ✓ Ortalama maksimum yük ile kenet genişliği grafiği incelendiğinde 2 cm kenet genişliğine sahip kenet ile yapılan deney elemanından sonra, kenet genişliği arttıkça deneyden elde edilen ortalama maksimum yük miktarının, doğrusal olarak azaldığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu çalışma, tarihi yapılarda özellikle restorasyon ve güçlendirme uygulamalarında kenet genişliklerinin nasıl yapılması konusunda iyi bir referans olacak ve bu konu üzerine yapılacak olan diğer bilimsel çalışmalara önemli bir katkı sağlayacaktır.

V. KAYNAKLAR

[1] Ş. Sözen ve M. Çavuş, "Tek açıklıklı tarihi taş köprülerde form değişikliğinin köprünün sismik davranışına etkisinin değerlendirilmesi: Nıksar Yılanlı (Leylekli) Köprü Örneği," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 48-59, 2020.

- [2] T. Türker ve Y. Yanık, “İlyasbey Camisi’nin yapısal davranışının çevresel titreşim testi ve sonlu eleman yöntemleriyle incelenmesi, ” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 1431-1453, 2020.
- [3] T. Çelik, Ş. Tanrıverdi, A. Ural ve F.K. Fırat, “yığma yapılarda kullanılan kenetlerin yapı davranışına etkilerinin incelenmesi,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 21, s. 3, ss. 650-659, 2021.
- [4] S. Kurugöl ve S.G. Küçük, “tarihi eserlerde demir malzeme kullanım ve uygulama teknikleri,” *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu Bildiri Kitabı*, ss. 521–536, 2015.
- [5] A. Ural, M.E. Kara ve S.Uslu, “Kenet ve zıvanaların yığma duvarların kesme (kayma) davranışına etkisi,” *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu Bildiri Kitabı*, ss. 537–548, 2015.
- [6] S. Uslu, “Tarihi yığma yapılarda kullanılan metal bağlantı elemanlarının deneysel metotlarda incelenmesi,” *Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray*, 2013.
- [7] Y. Koçak, “Yığma yapılarda kayma dayanımının artırılması amacıyla farklı bağlantı elemanı uygulamaları,” *Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray*, 2013.
- [8] B. Demirtaş, “Magnesia Artemis Tapınağı’nın teknik ve işçilik özellikleri,” Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2006.
- [9] E.E. Toumbakari, “The Athens Parthenon: Analysis and Interpretation of the Structural Failures in the Orthostate of the Northern Wall,” *Structural Analysis of Historic Construction–D’Ayala & Fodde (eds), Taylor and Francis Group, London*, ss. 673-681, 2008.
- [10] K.A. Papadopoulos, “The Restoration Study of the Connections Between the Stone Blocks in the Steps of the Temple of Apollo Epikourios,” *Proceedings of Structural Analysis of Historical Construction*, Eds with D’Ayala & Fodde, New Delhi, 2006.
- [11] F. Baranaydın, “Ephesos St. Jean Kilisesi Kiborion Sütunu 1963 yılı restorasyonuna güncel bir yaklaşım,” *AMİSOS*, c. 5, s. 8, ss. 31-50, 2020.
- [12] Ş. Tanrıverdi, T. Çelik, A. Ural ve F.K. Fırat, “Batma derinliği farklı olan kenetlerin yığma duvarların davranışına etkisinin araştırılması,” *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 56-62, 2020.
- [13] M. Yetkin, İ.Ö. Dedeoğlu ve Y. Calayır, “24 Ocak 2020 Sivrice depremi sonrasında Elazığ ilinde bulunan minarelerde meydana gelen hasarların araştırılması ve değerlendirilmesi,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 33 s.2, ss. 379-389, 2021.
- [14] Z. Nikolic, L. Krstevska, P. Marovic ve H. Smoljanovic, “Shaking table test of scaled model of Protiron dry stone masonry structure,” *Proc. Eng*, vol. 199, pp. 3386–3391, 2017.
- [15] *Kâgir birimler-özellikleri-bölüm 6: Doğal taş kâgir birimler*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 771-6, 2007.
- [16] *Kâgir birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 772-1, 2012.
- [17] *Kâgir birimler-deney metotları-bölüm 6: Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 772-6, 2004.

[18] *Metalik malzemeler-çekme deneyi-bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN ISO 6892-1, 2004.



[19] *Kâğır birimler-deney yöntemleri-bölüm 1: Basınç dayanımının tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 1052-3, 2004.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Sürtünmeli Sarkaç Tipi İzolatörlerin Yapı Sismik Davranışına Etkileri

 Muhamad ZULFAKAR^a,  Ali İhsan KARAKAŞ^{a,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

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

DOI:10.29130/dubited.960841

ÖZ

Bu çalışmada farklı sürtünme yüzeyi sayısına sahip sarkaç tipi izolatörler kullanılarak deprem yalıtımı sağlanan bir yapının zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilerek sürtünme yüzeyi sayısının yapı davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla beş katlı basit bir yapı ile birlikte tek, çift ve üç sürtünme yüzeyli sarkaç izolatörler ABAQUS sonlu eleman programı yardımıyla üç boyutlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Dinamik analizler sismik yalıtımlı ve ankastre mesnetli yapılar için bir deprem kaydı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Maksimum kat göreceli yer değiştirmeleri, kat ivmeleri ve kolon taban kesme kuvvetleri gibi yapı tepkileri farklı izolatör tipleri ve ankastre mesnetli durum için karşılaştırılarak yapının deprem davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre izolatörlerin kullanıldığı yapılarda oluşan tepkilerin ankastre mesnetli yapılara göre önemli oranlarda azaldığı görülmüştür. Farklı sürtünme yüzeyi sayısına sahip izolatörler karşılaştırıldığında ise tüm bu tepkiler için üç sürtünme yüzeyli sarkaç izolatörün diğer izolatörlerinden daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deprem yalıtımı, Sürtünmeli sarkaç izolatör, Sonlu eleman modeli, Sürtünme yüzeyi

Effect of Different Friction Pendulum Bearings on Seismic Behavior of Structures

ABSTRACT

In this study, time-history dynamic analyses of a structure isolated with friction pendulum bearings with different friction surface number were carried out and the effects of friction surface number on the seismic behavior of the structure were investigated. For this purpose, a five-story frame structure isolated with friction pendulum bearings with single, double and three friction surfaces were modeled using three-dimensional elements with the help of the ABAQUS finite element program. Dynamic analyses were carried out taking into account an earthquake record for seismically isolated and fixed-based structures. Structural responses such as maximum story relative displacements, story accelerations and column base shear forces were compared for different isolators and fixed-base case to investigate the effects on the earthquake behavior of the structure. According to the results obtained, it was observed that the reactions in isolated structures decreased significantly compared to structures with fixed-base. When the isolators with different number of friction surfaces were compared, it was concluded that the pendulum isolator with three friction surfaces performed better than the other isolators for all considered reactions.

Keywords: Seismic isolation, Friction pendulum bearing, Finite element model, Friction surface

I. GİRİŞ

Depremler yeryüzünde sıklıkla meydana gelen doğal olaylardır. Şiddetli depremler esnasında dünyanın litosferindeki tektonik plakaların hareketinden dolayı deprem bölgesindeki yapılar yatay ve düşey doğrultuda sarsılarak genellikle hasar görmektedir. Bu durumu engellemek amacıyla çeşitli yapılarda farklı deprem yalıtım sistemleri uygulanmaktadır.

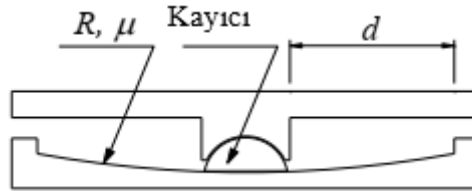
Deprem yalıtım sistemleri yapıların doğal titreşim periyotlarını deprem hakim periyodunun ötesine taşıyarak rezonans etkisinden kaynaklanan atalet yüklerinin azalmasını sağlamaktadır [1]. Bir başka ifadeyle, izolasyon sistemleri yapıları fiziksel olarak deprem yer hareketinden ayırarak depremin yapılar üzerinde oluşturacağı enerjiyi azaltmaktadır. Böylece izolasyonlu yapıların yer değiştirme, hız ve ivme gibi deprem tepkileri kabul edilebilir ve güvenli değerlere düşürülür [2].

Yaygın kullanılan iki tip deprem yalıtım sistemi vardır. Bunlar elastomer ve sürtünmeli izolator sistemlerdir. Sürtünmeli izolatorler ise Şekil 1'de gösterildiği gibi iki ana kategoriye ayrılır: düz yüzeyli ve eğri yüzeyli sarkaç izolatorler. Eğri yüzeyli sarkaç izolatorler içbükey plakalardan ve küresel yüzeylere sahip ara kayıcılardan oluşmaktadır. Düşey kuvvet ve küresel yüzeylerin kombinasyonu geri yükleme (merkezleme) kuvveti sağlarken, yüzeyler arasındaki sürtünme ise hareket öncesi yatay rijitlik ve kayma esnasında kinetik enerji dağılımını sağlamaktadır. Sürtünmeli sarkaç izolatorler genelde tek, çift ve üç sürtünmeli yüzeyli sarkaç izolatorler olarak sınıflandırılır [3].



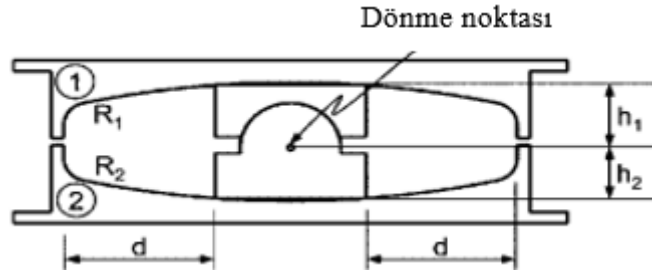
Şekil 1. (a) Düz yüzeyli ve (b) eğri yüzeyli sürtünmeli sarkaç izolator

Tek sürtünme yüzeyli sarkaç (TSYS) izolator ilk olarak 1987 yılında Zayas [4] tarafından tanıtılmıştır. Şekil 2'de enkesiti gösterilmektedir. İzolator, kavisli bir yüzey üzerinde kayma mafsallı bir kayıcıdan oluşur. İzolatorün sürtünme katsayısı (μ), izolatorü stabil halde tutmak ve kayma meydana geldiğinde deprem enerjisinin bir kısmını dağıtmak için yatay rijitlik sağlar. TSYS izolatorünün yatay yer değiştirme kapasitesi, Şekil 2 'de gösterildiği gibi d kadardır. Eğimli yüzeyin yarıçapı ve sürtünme katsayısı yapı deprem davranışını etkileyen izolatorün en önemli parametreleridir [5].



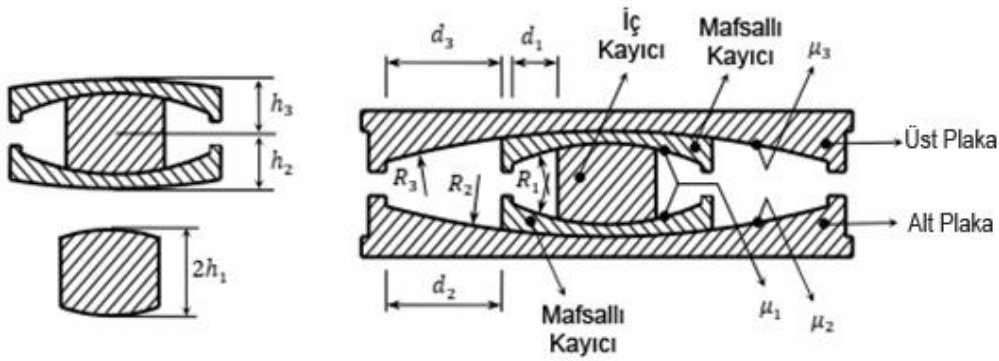
Şekil 2. Tek sürtünme yüzeyli sarkaç izolator enkesiti

Çift sürtünme yüzeyli sarkaç (ÇSYS) izolatorün sıfır yerdeğiştirmedeki enkesiti ise Şekil 3'te gösterilmektedir. İzolator alt ve üst içbükey yüzeylerde kayma hareketi gerçekleştirir. Şekil 3'e göre yatay hareket, mafsallı kayıcının dönmesini gerektirir. Sürtünmenin iki kayma yüzeyinde tam olarak aynı olamayacağı göz önüne alındığında kayıcının her zaman bir miktar döneceği düşünülür. Bu sebeple kayıcı mafsallı oluşturulur. İzolatorün en büyük yer değiştirme kapasitesi $2d$ kadardır, burada d , tek bir içbükey yüzeyin en büyük yer değiştirme kapasitesidir [6].



Şekil 3. Çift sürtünme yüzeyli sarkaç izolatör enkesiti

Üç sürtünme yüzeyli sarkaç (ÜSYS) izolatörün genel bileşenleri ise Şekil 4'te gösterilmektedir. İzolatör küresel yüzeylere sahip iki mafsallı içbükey arasında kayabilen ve daha sonra üst ve alt içbükey plakalar arasında kayabilen bir iç kayıcıdan oluşur. Yüzeyler arasındaki sürtünme, küçük yatay yüklere hareket olmaksızın direnir ve büyük yatay yük altında yüzeyler arasında oluşan kayma sırasında enerjiyi dağıtır. Düşey yük ile birlikte yüzeylerin eğriliği yatay yerdeğiştirme meydana geldiğinde bir geri yüklenme kuvveti (merkezleme kuvveti) oluşturur [7].



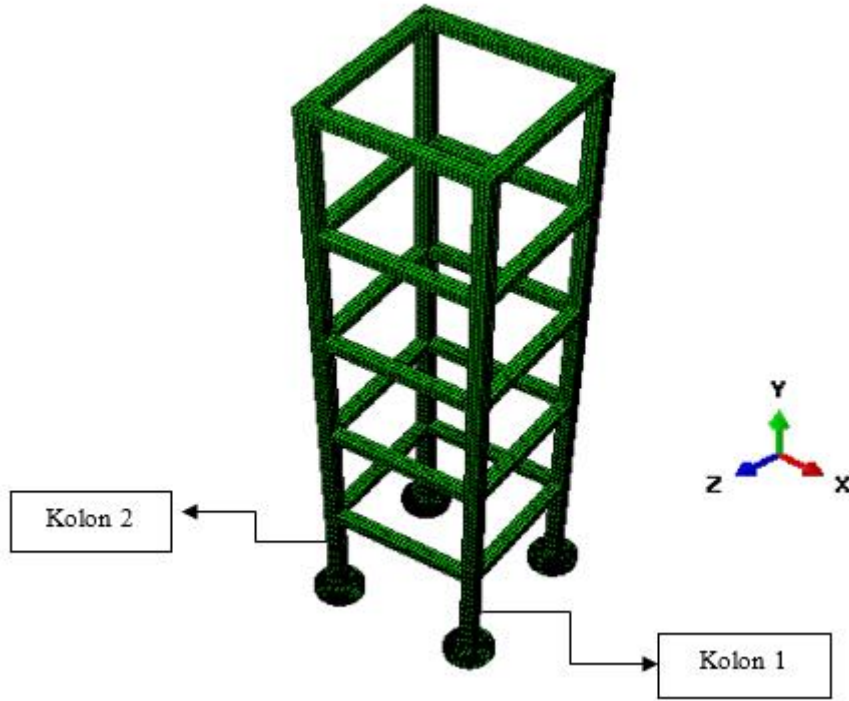
Şekil 4. Üç sürtünme yüzeyli sarkaç izolatör enkesiti

Depremlerin yapılar üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması konusunda sürtünmeli sarkaç izolatörlerin potansiyelini incelemek amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Fenz ve Constantinou [6] çift sürtünme yüzeyli sarkaç izolatörlerin eğrilik yarıçaplarını ve sürtünme katsayılarını değiştirerek kuvvet-yerdeğiştirme ilişkilerini incelemiştir. Benzer şekilde tek ve üç sürtünme yüzeyli izolatörler için de kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerini deneysel [8] ve teorik [9] olarak elde ederek değişen parametrelerle izolatörlerdeki rijitlik ve sönüm değişimlerini incelemiştir. Pigouni vd. [10] bire bir ölçekli sarkaç izolatörler üzerinde deneysel dinamik testler gerçekleştirmişlerdir. Deringöl [11, 12] sürtünmeli sarkaç izolatör kullanılan iki boyutlu çelik çerçevelerin sismik tepkilerinin değerlendirilmesi için çeşitli tasarım yaklaşımlarını araştırmıştır. Calvi vd. [13] tarafından düz ve eğri yüzeyli sarkaç izolatörlerin performanslarının artırılması amacıyla farklı sürtünme özelliklerine sahip malzemeler kullanılarak daha yüksek enerji yutma kapasiteli izolatörler araştırılmıştır. Yurdakul ve Ateş [14, 15] tarafından üç sürtünme yüzeyli sarkaç izolatörlerin deprem yalıtım cihazı olarak verimliliği iki boyutlu analizler gerçekleştirilerek incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sürtünmeli sarkaç izolatörler üzerine ayrıntılı olarak çalışıldığını göstermekle birlikte farklı sürtünme yüzeyi sayısına sahip izolatörlerin birbirlerine göre performanslarının üç boyutlu sonlu elemanlar kullanılarak incelenmediği görülmüştür. Ayrıca izolatörlerin çoğunluğunun basit yay elemanlar ile modellendiği fark edilmiştir. Bu sebeple bu çalışmada üstyapı ile birlikte tek, çift ve üç sürtünme yüzeyli izolatörlerin üç boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturularak zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiş ve yapı deprem davranışı üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

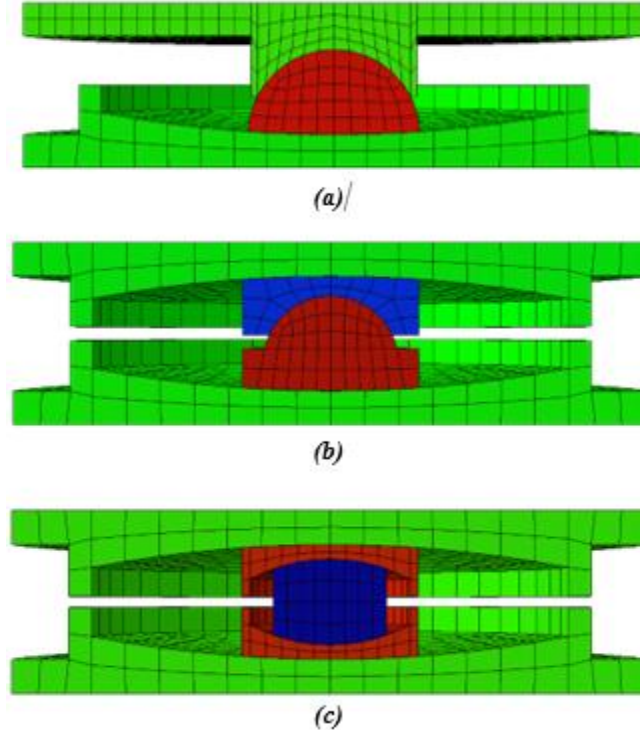
II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Şekil 5'teki 5 katlı yapı modeli dikkate alınmıştır. Yapı ve farklı izolatör türleri ABAQUS [16] sonlu eleman programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Altı yüzlü (hexahedral), üç boyutlu, 8 düğüm noktalı ve azaltılmış integrasyon uygulanan C3D8R tipinde elemanlar kullanılarak sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Yapı kolon ve kirişleri 30 x 30 cm enkesit boyutlarına sahiptir. Kolonlar arası mesafe ve kat yüksekliği 3,5 m'dir. Beton malzemesi için elastisite modülü 20 GPa, Poisson oranı 0,18 ve özgül ağırlığı 24 kN/m³ olarak dikkate alınmıştır. X doğrultusunda dikkate alınan deprem yer ivmelerinin farklı kolonlar üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla Şekil 5'teki Kolon 1 ve Kolon 2 seçilmiştir.

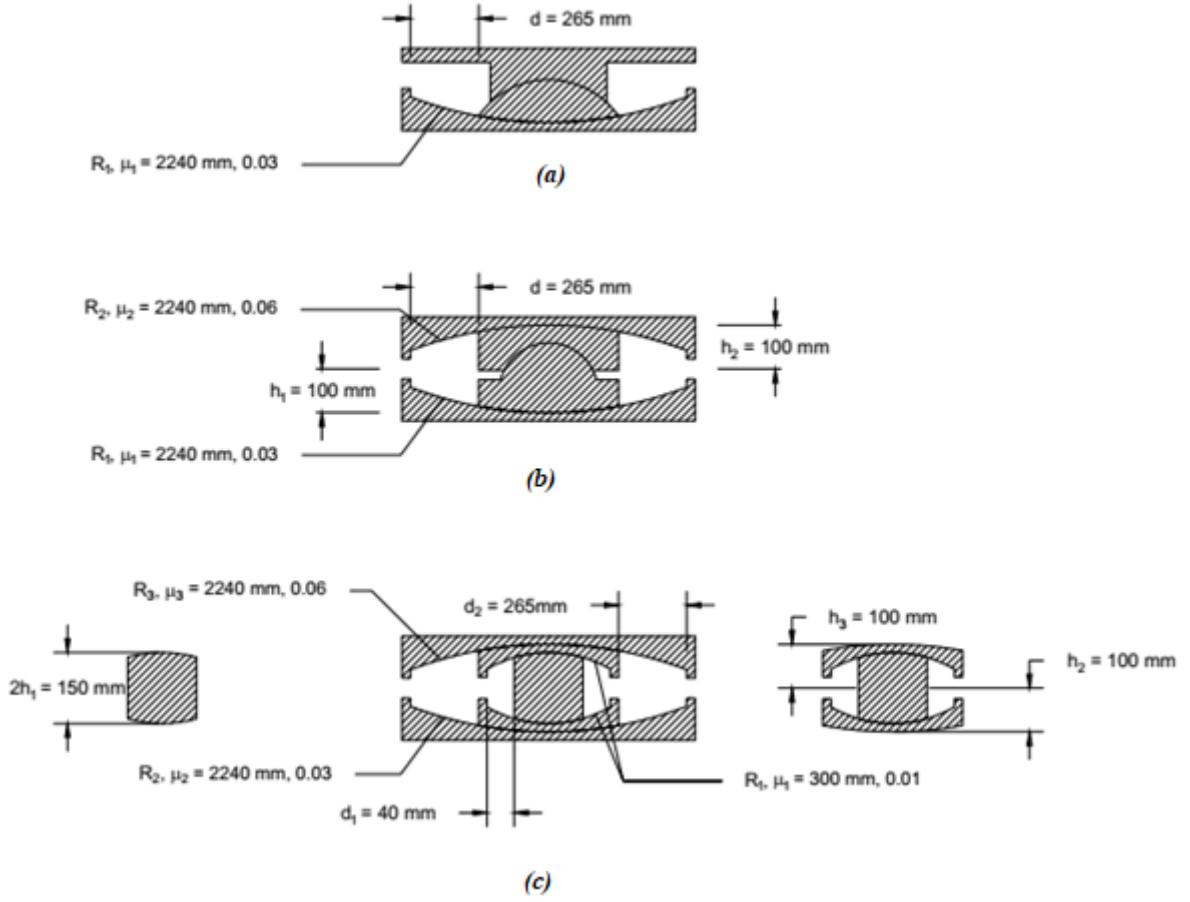


Şekil 5. Yapının üç boyutlu sonlu eleman modeli

Yapının deprem yalıtımı için üç tip sürtünmeli sarkaç izolatör: TSYS, ÇSYS ve ÜSYS dikkate alınmıştır. Dikkate alınan izolatör sonlu eleman modelleri Şekil 6'da gösterilmektedir. İzolatörler için kullanılan malzeme, maksimum çekme dayanımı 490 MPa ve akma dayanımı 355 MPa olan çelik S355'tir. Çelik malzemesinin elastisite modülü 210 GPa ve Poisson oranı 0,3 olarak dikkate alınmıştır. TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatörlerin sonlu eleman modellerinin doğruluğu analitik formüllerle elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme döngülerinin sonlu eleman sonuçları ile karşılaştırmasıyla sağlanmıştır [17]. Farklı sürtünme yüzeyli izolatörler için bu çalışmada dikkate alınan eğrilik yarıçapları ve sürtünme katsayıları gibi geometrik ve malzeme özellikleri Şekil 7'de gösterilmektedir [18]. Şekil incelendiğinde üç izolatörün geometrik ve malzeme özelliklerinin birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Böylece izolatörler malzeme ve geometrik özelliklerinden bağımsız olarak sürtünme yüzeyleri sayısı dikkate alınarak incelenebilecektir. Ayrıca izolatörlerin deplasman kapasitelerinin dikkate alınan depremin yerdeğiştirme talebinden daha büyük olmasına dikkat edilmiştir.

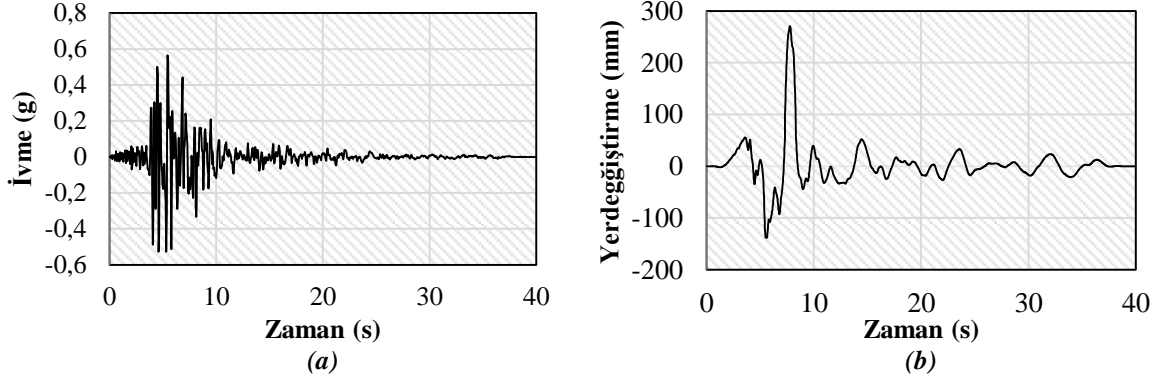


Şekil 6. (a) TSYS, (b) ÇSYS ve (c) ÜSYS izolator sonlu eleman modeli



Şekil 7. (a) TSYS (b) ÇSYS ve (c) ÜSYS izolator detayları

Doğrudan integrasyon yöntemiyle gerçekleştirilen zaman tanım alanında analizlerde kullanılan 1994 Northridge (1/17/1994) depreminin Newhall-Fire istasyonuna ait ivme-zaman ve yerdeğiştirme-zaman kaydı sırasıyla Şekil 8(a) 'da ve Şekil 8(b)'de verilmiştir. Depremin maksimum yer ivmesi değeri (PGA) 0,583g'dir. İlgili deprem kaydı PEER NGA [19] deprem yer hareketleri veri tabanından elde edilmiştir. Bu kayıt seçilirken depremin maksimum yerdeğiştirme değerinin özellikle tek sürtümlü sarkaç olmak üzere izolatörlerin maksimum yerdeğiştirme kapasitelerinden daha küçük olmasına dikkat edilmiştir. Analizlerde dikkate alınan sönüm oranı ise %5'dir.

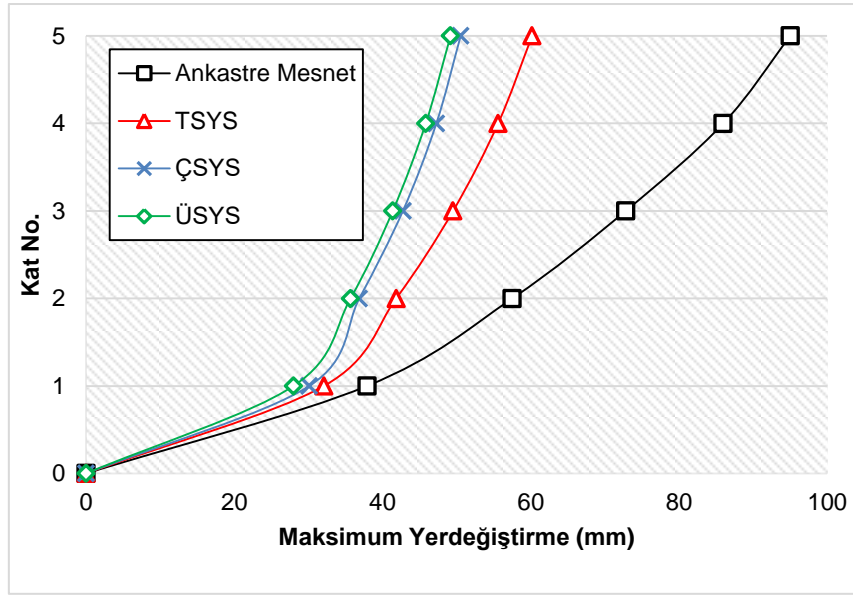


Şekil 8. Northridge 1994 depremi (a) ivme-zaman (b) yerdeğiştirme-zaman kaydı

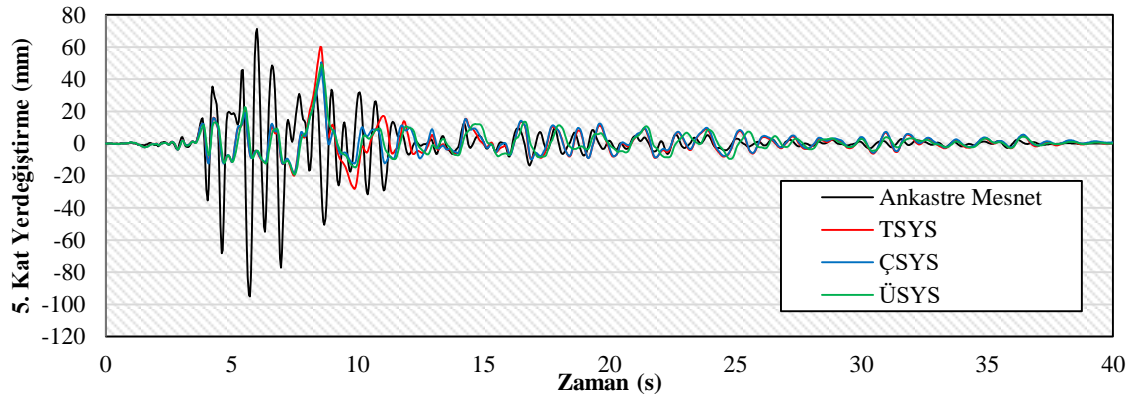
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tek, çift ve üç sürtünme yüzeyli sürtümlü sarkaç ile ayrı ayrı deprem yalıtımı yapılmış yapıların 1994 Northridge depremi yatay yer ivmesi altında zaman tanım alanında analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı sürtünme yüzeyli izolatörlerin yapıların deprem davranışları üzerindeki etkileri kat yerdeğiştirmesi, kat ivmesi ve kolon taban kesme kuvveti açısından karşılaştırılarak incelenmiştir.

Şekil 9 yapının maksimum görel kat yerdeğiştirmelerindeki değişimi ankastre mesnet, TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatör mesnet gibi farklı mesnet türleri için göstermektedir. Maksimum görel yerdeğiştirme, tabana göre kattaki maksimum yerdeğiştirme değeridir. Şekil 9'a göre incelenen tüm yapılar söz konusu depremden önemli ölçüde etkilenmiştir. Sürtümlü sarkaç izolatörlerin kullanılması ankastre mesnetli sisteme kıyasla maksimum görel yerdeğiştirmeleri önemli ölçüde azaltmıştır. Northridge depremi etkisindeki yapının 5. Katındaki görel yerdeğiştirmelerin zaman ile değişim grafiği Şekil 10'da gösterilmektedir. Ankastre mesnetli yapı için 5. kattaki maksimum yerdeğiştirme 95,0 mm olarak elde edilirken TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatörlü yapılar için bu değer sırasıyla 60,2 mm, 50,6 mm, 49,2 mm olarak elde edilmiştir. Ankastre mesnetli yapıya göre görel yerdeğiştirmedeki azalma oranları sırasıyla %36,7, %46,8 ve %48,2 olarak elde edilmiştir. Bu duruma ÇSYS ve ÜSYS izolatörlerin TSYS izolatöre göre artan sürtünme yüzeyi sayısı ve değişken sürtünme katsayısı değerleriyle değişken deprem seviyelerine karşı gösterdikleri adaptif davranışın neden olduğu söylenebilir. Bu adaptif davranış ÇSYS ve ÜSYS izolatörlerin TSYS izolatöre göre aynı deprem etkisine karşı daha az yerdeğiştirme yaparak direnç göstermelerini sağlamaktadır [20, 21]. Bu durum üstyapıda da oluşan maksimum kat yerdeğiştirme değerlerini azalmaktadır. Böylece elde edilen oranlara göre kat yerdeğiştirmesi için ÜSYS ve ÇSYS izolatörlerin birbirine yakın ve TSYS izolatörden daha iyi performans gösterdikleri sonucuna varılmıştır.

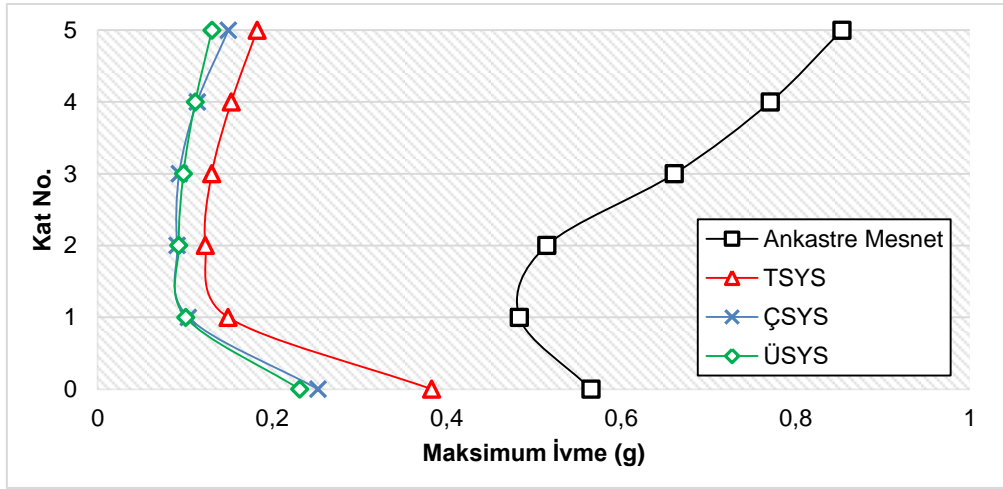


Şekil 9. Ankastr mesnetli ve TSYS, ÇSYS, ÜSYS izolatörlü yapıların maksimum kat yerdeğıştirmeleri

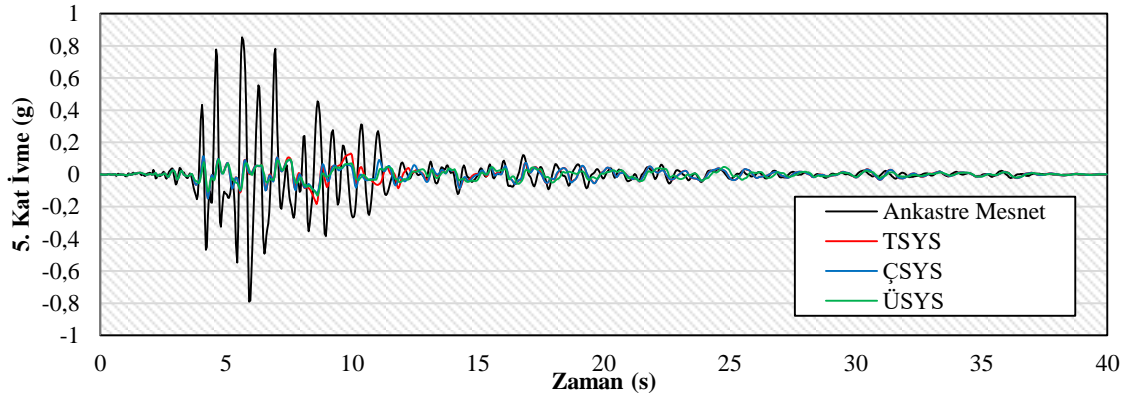


Şekil 10. Ankastr mesnet ve TSYS, ÇSYS, ÜSYS izolatörlü yapıların 5. kat yerdeğıştirme değerlerinin zaman ile değişimi

Dikkate alınması gereken bir diğer önemli yapı tepkisi deprem sırasında katlarda meydana gelen kat ivme değerleridir. Bunun sebebi kat ivmesinin katta oluşacak deprem kuvvetini etkilemesidir. İvme ne kadar büyükse, ilgili katta dikkate alınması gereken kuvvet o kadar büyük olacaktır. Northridge depremi etkisindeki ankastr mesnetli beş katlı yapı için Şekil 11'de görüldüğü gibi mevcut yapının maksimum ivmesi 5. katta 0,853g olarak elde edilirken, diğer TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatörlü yapı sistemleri için 5. katta sırasıyla 0,183g, 0,150g ve 0,131g olarak elde edilmiştir. Burada ankastr mesnetli yapı maksimum yer ivmesi olan 0,583g değerini 0,853g değerine yükseltirken izolatörlü yapı sistemlerinin bu ivmeyi oldukça küçük değerlere indirdiği görülmüştür. 5. kattaki maksimum ivmelerdeki azalma oranları TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatörlü yapı sistemleri için ankastr yapıya kıyasla sırasıyla %78,6 , %82,4 ve %84,6 olmuştur. Ayrıca 5. kattaki ivme değerinin zaman ile değişimi Şekil 12'de gösterilmektedir. Birinci kat kolon tabanlarının rijit kabul edilmesi durumunda kat ivmelerinin artması kullanılan izolatörlerin yapı mesnet durumunu esnek hale getirdiğini göstermektedir. İvmelerdeki azalma oranlarına göre yapıya en fazla esneklik katan izolatörün ÜSYS olduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebi ise bu izolatöre ait iç kayıcının oldukça düşük sürtünme katsayısına sahip yüzeyler arasında kayabilmesi olarak düşünülebilir.

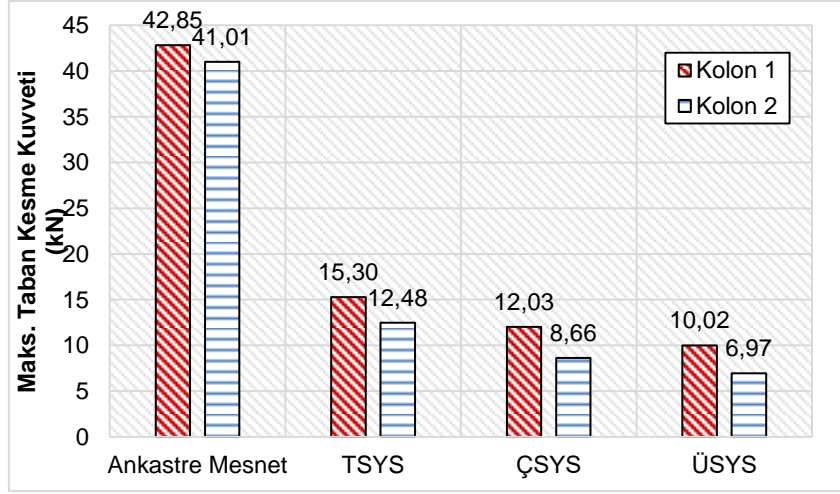


Şekil 11. Ankastr mesnetli ve TSYS, ÇSYS, ÜSYS izolatörlü yapıların maksimum kat ivmeleri



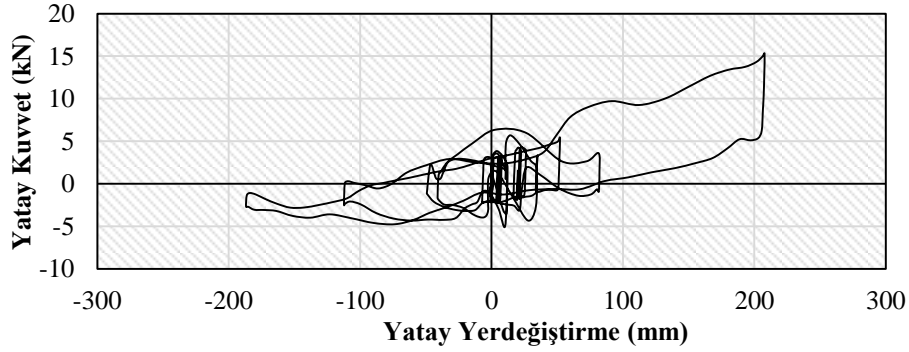
Şekil 12. Ankastr mesnetli ve TSYS, ÇSYS, ÜSYS izolatörlü yapıların 5. kat ivme değerlerinin zaman ile değişimi

Bir yapının tasarımında dikkat edilmesi gereken bir diğer kuvvet de taban kesme kuvvetidir. Şekil 13 Northridge depremi etkisindeki ankastr mesnetli ve TSYS, ÇSYS, ÜSYS izolatörlü yapılar için Kolon 1 ve Kolon 2'de oluşan maksimum taban kesme kuvvetlerini göstermektedir. Ankastr mesnetli yapının maksimum taban kesmesi 1. kolonda 42,85 kN ve 2. kolonda 41,01 kN iken izolasyon sistemlerinin uygulandığı yapılarda maksimum taban kesme kuvvetleri TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatörleri için sırasıyla kolon 1'de yaklaşık 15 kN, 12 kN ve 10 kN olarak elde edilmiştir. Kolon 2 için ise sırasıyla elde edilen maksimum taban kesme kuvvetleri 12,48 kN, 8,66 kN ve 6,97 kN'dur. Bu durumda farklı sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kullanıldığı yapılarda oluşan maksimum taban kesme taleplerinin ankastr mesnetli yapıya göre önemli ölçüde daha düşük olduğu görülmüştür. Kolonlarda oluşan yatay kesme kuvvetlerinin farklı olmasının nedeni deprem sırasında kolonlar üzerinde oluşan farklı düşey normal kuvvet değerleridir. Ayrıca ÜSYS izolatörlerin düşük eğrilik yarıçaplı ve düşük sürtünme katsayılı iç sürtünme yüzeylerine sahip olması deprem etkisine karşı diğer iki izolatöre nazaran daha esnek davranış göstermesini sağlamış ve taban kesme kuvvetini daha fazla azaltmıştır.

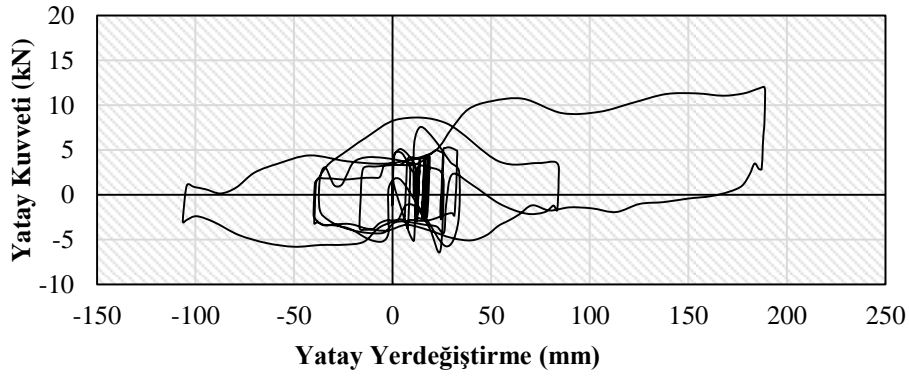


Şekil 13. Ankastr mesnetli ve TSYS, ÇSYS, ÜSYS izolatörlü yapıların maksimum taban kesme kuvvetleri

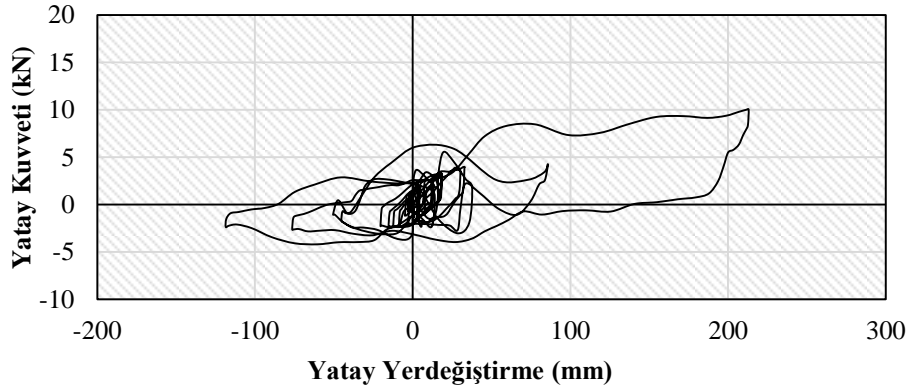
Şekil 14 Kolon 1 altındaki TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatörlerinde deprem süresince oluşan kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerini göstermektedir. Kuvvet-yerdeğiştirme eğrileri döngü başına enerji kaybını ve yüzeyler tarafından sağlanan etkili sönümü belirlemek amacıyla kullanılabilir. Şekil 14 (a) incelendiğinde TSYS'de oluşan maksimum yatay yerdeğiştirmenin yaklaşık 210 mm olduğu görülmektedir. Maksimum yatay yerdeğiştirme oluştuğunda kolon tabanında yaklaşık 15 kN yatay kesme kuvveti oluşmaktadır. Benzer şekilde Şekil 14 (b) ve (c) incelendiğinde kolon tabanındaki ÇSYS izolatörde yaklaşık 190 mm maksimum yatay yerdeğiştirme oluştuğunda kolon tabanında 12 kN yatay kesme kuvveti oluşurken ÜSYS izolatöründe yaklaşık maksimum yatay yerdeğiştirme 215 mm ve kolon tabanında 10 kN yatay kesme kuvveti oluşmaktadır.



(a)



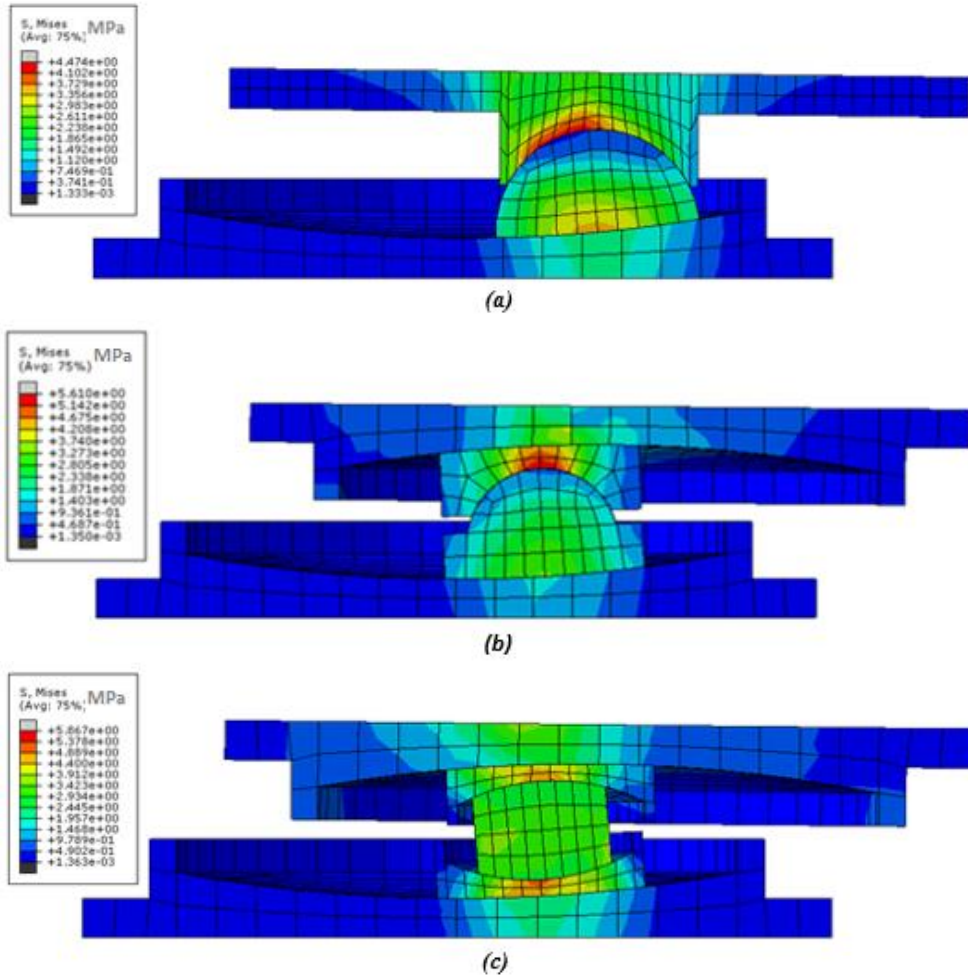
(b)



(c)

Şekil 14. Kolon 1 altındaki (a) TSYS, (b) ÇSYS ve (c) ÜSYS izolatörlerinde oluşan kuvvet-yerdeğiştirme döngüleri

Şekil 15 (a), (b), (c) sırasıyla Kolon 1 altındaki TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatörlerinin maksimum yerdeğiştirme durumlarını ve enkesitlerinde oluşan gerilme durumlarını göstermektedir. Şekillerde gösterilen gerilme izolatörün herhangi bir yükleme durumunda plastik şekil değiştirmeye maruz kalıp kalmadığını belirlemek için hesaplanan bir gerilme türüdür. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan yüklemelerin plastik şekil değiştirmeye sebep olmadığı görülmüştür. Bu durum izolatör tasarımında izolatörlerin elastik davrandığı kabulüne uymaktadır.



(c)

Şekil 15. Kolon 1 altındaki (a) TSYS, (b) ÇSYS ve (c) ÜSYS izolatörlerinin maksimum yatay yerdeğiştirme ve gerilme durumları

IV. SONUC

Bu çalışma kapsamında deprem yalıtımı TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatör kullanılarak gerçekleştirilmiş beş katlı betonarme bir yapının zaman tanım alanında analizleri üç boyutlu sonlu elemanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı sürtünme yüzeyi sayısına sahip izolatörler için yapıda oluşan tepkiler maksimum görelî yerdeğiştirme, kat ivmeleri ve kolon taban kesme kuvveti açısından incelenerek ankastre mesnetli durum ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca deprem süresince izolatörlerde oluşan kuvvet-yerdeğiştirme döngüleri ve maksimum yerdeğiştirmedeki enkesit ve gerilme durumları sunulmuştur. Bu çalışmadan elde edilen temel sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- ❖ Sürtünmeli sarkaç izolatörlerin kullanıldığı deprem yalıtımlı yapıların her biri ankastre mesnetli yapı ile karşılaştırıldığında yapıda oluşan görelî kat yerdeğiştirmelerinin, kat ivmelerinin ve taban kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür. Örnek olarak 5. kattaki maksimum görelî yerdeğiştirme ve ivme değerleri ankastre mesnetli yapı ile karşılaştırıldığında azalma oranları ÜSYS için sırasıyla %48,2 ve %84,6, ÇSYS için %46,8 ve %82,4 ve TSYS için %36,7 ve %78,6 olarak elde edilmiştir. Seçilen birinci kat kolon tabanlarında oluşan maksimum kesme kuvvetlerindeki azalma oranları ise TSYS, ÇSYS ve ÜSYS izolatör için sırasıyla %64,2 , %71,9 ve %76,6'dır.
- ❖ Farklı sürtünme yüzeyi sayısına sahip izolatörler için yukarıda verilen azalma oranları karşılaştırıldığında dikkate alınan tüm sismik tepkiler için ÜSYS izolatörün TSYS ve ÇSYS izolatörlerinden daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Moeindarbari ve T. Taghikhany, "Seismic optimum design of triple friction pendulum bearing subjected to near-fault pulse-like ground motions," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 50, no. 4, pp. 701–716, 2014.
- [2] P. Namiranian, G. Ghodrati Amiri ve S. Veismoradi, "Near-fault seismic performance of triple variable friction pendulum bearing," *Journal of Vibroengineering*, vol. 18, no. 4, pp. 2293–2303, 2016.
- [3] A.A. Sarlis ve M.C. Constantinou, "Model of triple friction pendulum bearing for general geometric and frictional parameters and for uplift conditions," Report No. MCEER-13-0010, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY, 2013.
- [4] V. Zayas, S. Low ve S. Mahin, 1990. "A simple pendulum technique for achieving seismic isolation," *Earthquake Spectra*, vol. 6, no. 2, pp. 317–333, 1990.
- [5] N.V. Nguyen, H.P. Hoang ve K.T. Huong, "Performance of Single Friction Pendulum bearing for isolated buildings subjected to seismic actions in Vietnam," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 143, no. 1, 2018.
- [6] D.M. Fenz ve M.C. Constantinou, "Behaviour of the double concave Friction Pendulum bearing," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 35, no. 11, pp. 1403–1424, 2006.
- [7] N.D. Dao, "Seismic Response of a Full-scale 5-story Steel Frame Building Isolated by Triple Pendulum Bearings under 3D Excitations," PhD Thesis, University of Nevada, Reno, 2012.
- [8] D.M. Fenz ve M.C. Constantinou, "Spherical sliding isolation bearings with adaptive behavior: Experimental verification," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 37, no. 2, pp. 185–205, 2008b.



- [9] D.M. Fenz ve M.C. Constantinou, "Spherical sliding isolation bearings with adaptive behavior: Theory," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 37, no. 2, pp. 163–183, 2008c.
- [10] A.E. Pigouni, M.G. Castellano, S. Infanti ve G.P. Colato, "Full-scale dynamic testing of pendulum isolators (Curved surface sliders)," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol.130, no.105983, 2019.
- [11] A.H. Deringöl, "Seismic performance of steel moment frames with variable friction pendulum systems under real ground motions," *International Advanced Researches and Engineering Journal*, vol. 02, no. 03, pp. 208–216, 2018.
- [12] A.H. Deringöl ve E.M. Güneyisi, "Effect of friction pendulum bearing properties on behaviour of buildings subjected to seismic loads," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol.125, no.105746, 2019.
- [13] P.M. Calvi, M. Moratti ve G.M. Calvi, "Seismic isolation devices based on sliding between surfaces with variable friction coefficient," *Earthquake Spectra*, vol. 32, no. 4, pp. 2291–2315, 2016.
- [14] M. Yurdakul ve Ş. Ateş, "Modeling of triple concave friction pendulum bearings for seismic isolation of buildings," *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 40, no. 3, pp. 315–334, 2011.
- [15] M. Yurdakul, Ş. Ateş ve A.C. Altunışık, "Comparison of the dynamic responses of Gülburnu highway bridge using single and triple concave friction pendulums," *Earthquakes and Structures*, vol.7, no. 4, pp. 511-525, 2014.
- [16] ABAQUS, Analysis User's Guide Volume IV: Elements Version 6.14, Dassault Systemes Simulia, Inc., Providence, RI, USA, 2014.
- [17] M. Zulfakar, "Farklı Sürtünme Yüzeyleli Sarkaç İzolatörlerin Yapı Deprem Davranışı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE, 2021.
- [18] R. Aguiar, G. Villarruel, P. Caiza, T. Roberto ve A. Falconí, "Implications Of Friction Coefficient Variation In The Seismic Analysis Of Structures With Triple Friction Pendulum Systems (FPS) An Application Case," *16th World Conference on Earthquake*, 16WCEE 2017, 2017.
- [19] PEER, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- [20] M. Malekzadeh ve T. Taghikhany, "Adaptive Behavior of Double Concave Friction Pendulum Bearing and its Advantages over Friction Pendulum Systems," *Transaction A: Civil Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 81-88, 2010.
- [21] F. Weber, J. Distl, C. Braun, "Isolation performance assessment of adaptive behaviour of triple friction pendulum," *Journal of Civil Engineering Research*, vol. 7, no. 1, pp. 17-33, 2017.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

Dijital Sınırların Sonsuzluğu: Günlük Hayattan Somut Örnekler

 Yıldırım YILDIRIM^{a,*},  Hatice YILDIRIM^b

^a Turizm İşletmeciliği ve Otelcilik Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b İşletme Bölümü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: yildirimyildirim@duzce.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1050289

ÖZ

Endüstri 4.0 kavramı 2011 yılında Hannover Fuarında tanıtıldığından bu yana araştırmacılar tarafından oldukça fazla ilgi görmüştür. Hızlıca yapılan yayınlarda Endüstri 4.0'ın bileşenlerinin, faydalarının, avantaj ve dezavantajlarının, KOBİ'ler için önemini ve ülkeler arası karşılaştırmalarının ele alınmasına rağmen, konunun kavranmasında bazı eksiklikler olduğu görülmektedir. Alan yazın incelendiğinde hem Türkiye başta olmak üzere az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hem de dünya genelindeki küçük ve orta ölçekli işletmelerin henüz Endüstri 4.0 kavramına uzak oldukları, farkında olmadıkları, uygulamada zorluklar yaşadıkları vurgulanmaktadır. Hatta Türkiye'nin halen üçüncü sanayi devrimini yaşadığını ileri süren araştırmacılar mevcuttur. Bu bağlamda konunun akademisyenler arasında konuşulan, üst düzey olarak algılanan bir konu olmaktan çıkıp, atölye düzeyine indirgenmesi için daha pragmatist düşünörlere ve aktörlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu makale çalışması, Endüstri 4.0 araçları olan siber-fiziksel sistemler, nesnelerin interneti, robotlar, yapay zekâ, bulut bilişim, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik, üç boyutlu yazıcılar, simülasyon, büyük veri ve veri analitiği hakkında somut örnekler vermek ve konunun örnekler yoluyla anlatılarak üretimin her kademesinde çalışan kişiler için anlaşılmasını sağlamak amacıyla yazılmıştır. Çalışmanın literatüre en büyük katkısı, konunun en alt düzeyde çalışan işçi, işgören ve çıraqlarda dahil herkes tarafından anlaşılmasını sağlayacak somut örnekler içermesi ve Endüstri 4.0'ın gündelik hayatın her alanında var olduğunu yine örnekler yoluyla anlatmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Teknoloji, Dijitalleşme, Gündelik Hayat, Somut Örnekler

The Infinity of Digital Borders: Concrete Examples from Daily Life

ABSTRACT

This article study will give concrete examples about Industry 4.0 tools such as cyber-physical systems, internet of things, robots, artificial intelligence, cloud computing, augmented reality, virtual reality, three-dimensional printers, simulation, big data and data analytics, and explain the subject through examples. It has been written to ensure understanding for people working at all levels. Since the concept of Industry 4.0 was introduced at the Hannover Fair in 2011, it has attracted a lot of attention from researchers. In the quick publications, the components, benefits, advantages and disadvantages of Industry 4.0, its importance for SMEs, and comparisons between countries were discussed. However, the issue still does not seem to be understood at the grassroots. Because, when the literature is examined, it is emphasized that both underdeveloped and developing countries, especially in Turkey, and small and medium-sized enterprises around the world are still far from the concept of Industry 4.0, they are not aware of it, and they have difficulties in implementation. In fact, there are researchers who claim that Turkey is still experiencing the third industrial revolution. In this context, more pragmatist thinkers and actors are needed to reduce the subject from being a high-level subject spoken among academics to a workshop level. The biggest contribution of this study to the field is that it contains concrete examples that will ensure that the subject is understood by everyone, including workers, employees and apprentices working at the workshop level, and it also explains that Industry 4.0 exists in all areas of daily life through examples.

Keywords: Industry 4.0, Technology, Digitization, Everyday Life, Concrete Examples

I. GİRİŞ

Dördüncü endüstriyel devrimin 2011 yılında Almanya Hannover fuarında tanıtılmasından bugüne kadar yapılan çalışmalarda öne çıkan bir başlık bulunmaktadır. O da dijital araçların her alanda kullanılacağı konusudur. Endüstri 4.0 araçlarının daha çok üretim süreçleri ile alakalı olduğu düşünülse de, eğitimden pazarlamaya, sanat ve kültürden muhasebeye, hukuktan turizme, gastronomiden lojistiğe, sağlıktan masal anlatımına kadar pek çok alanda bu tip dijital araçların etkisini görmek mümkündür. Dijitalleşmenin gündelik yaşamda girmediği ve etkisini göstermediği bir alan bulmak oldukça zor gibi görünmektedir. Nesnelere interneti, siber-fiziksel sistemler, yapay zekâ, robotlar, bulut bilişim, büyük veri ve veri analitiği, simülasyon, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik ve üç boyutlu yazıcılar olarak Endüstri 4.0'ın dokuz temel bileşeni hem Türkçe hem de yabancı alan yazında detaylı olarak işlenmektedir. Ancak dijital teknolojilerin dört temel bileşenden (nesnelere interneti, siber-fiziksel sistemler, yapay zekâ ve büyük veriden) oluştuğunu söyleyen yazarlar da bulunmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, dijital teknolojiler olarak adlandırılan Endüstri 4.0 araçlarının kullanıldığı alanlardan örnekler vererek konunun en alt düzeydeki çalışanlar da dahil olmak üzere herkes tarafından anlaşılmasını sağlamaktır. Bu makale ile büyük yatırımlar gerektiren, büyük işletmelerin kullandığı karmaşık süreçler olarak bakılan bu teknolojilere açıklık getirilerek gündelik hayatın basit uygulamalarında dahi Endüstri 4.0 teknolojilerinden yararlanılabileceği örnekler yardımıyla vurgulanacaktır. Örnekendirme aracılığıyla konunun anlaşılması ve öğrenilmesi sağlanarak konuya olan ön yargının da ortadan kaldırılması planlanmaktadır. Alan yazın incelendiğinde hem Türkiye başta olmak üzere az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin hem de dünya genelindeki küçük ve orta ölçekli işletmelerin henüz Endüstri 4.0 kavramına uzak oldukları, farkında olmadıkları, uygulamada zorluklar yaşadıklarının vurgulandığı görülmektedir [1]-[4]. Hatta Türkiye'nin halen üçüncü sanayi devrimini yaşadığını ileri süren araştırmacılar mevcuttur [3], [4]. Bu bakımdan konunun anlaşılabilirliği için daha kolay bir anlatım yolu tercih edilmekte, konu örnekler üzerinden somutlaştırılmaktadır. Endüstri 4.0 araçlarının görünmez alanlara bile nasıl dahil olabileceğini, gündelik işlerde nasıl büyük farklar, büyük karlar ve stratejik çözümler yaratacağını önceki çalışmalardan, onların bulgularından ve en önemlisi resim, grafik ve şekillerle örnekler üzerinden anlatmak amaçlanmaktadır. Bu bakımdan dijital sınırların sonsuzluğuna dair gündelik hayattan verilebilecek somut örneklerin hem konunun derinlemesine anlaşılmasına hem de Endüstri 4.0 kavramının benimsenip hızlıca uygulamaya geçilmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

II. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Endüstri 4.0 ile ilgili yapılan çalışmalar [1]-[5] bu kavramın bütün alan ve sektörleri etkileyeceği yönünde görüş birliğine varmışlardır. İlgili kavramın gelecekte insan kaynakları, inşaat, pazarlama, güvenlik, reklam, hukuk, muhasebe, sağlık ve daha pek çok alanı kapsamına alacağı vurgulanmaktadır. Bu çalışmada da bu alanlarda gerçekleşen gelişmelerin örnekler yardımıyla açıklanması sağlanacaktır. Yaklaşık 20 farklı alandan verilen somut örnekler, kavramı yalnızca akademisyenler ve konunun uzmanları arasında konuşulan bir konu olmaktan çıkarıp, en alt düzeyde bir işçinin, iş görenin veya bir çırağın anlaması sağlanacaktır. Bu anlamda örnekler, resimler, grafikler konuyu ilgi çekici hale getirmekle kalmayıp, bilhassa KOBİ'lerin çekindikleri teknolojik araçları daha kolay benimseyebilmelerini sağlayacaktır. Yapılan çalışmalar KOBİ'lerin en çok kullandıkları teknolojik araçların simülasyon, bulut bilişim gibi en az pahalı ve en az devrim niteliğinde olan araçlar olduğunu, derin işletme dönüşümlerine (CPS, Makineden Makineye, büyük veriler, iş birliğine dayalı robot) izin verenlerin KOBİ'ler tarafından ihmal edildiğini göstermektedir [1], [3], [4], [5]. Aşağıda lojistik, gastronomi, pazarlama, oyuncak, reklam, perakende, eğlence/rekreasyon, giyim/konfeksiyon, tarım ve hayvancılık, üretim, muhasebe-finans, insan kaynakları, kozmetik-kişisel bakım, turizm, sağlık, güvenlik, sınıf yönetimi, medya, iletişim ve müzik alanları gibi 20 farklı alandan çok sayıda örnek, somut olay ve uygulama verilmektedir.

A. LOJİSTİK

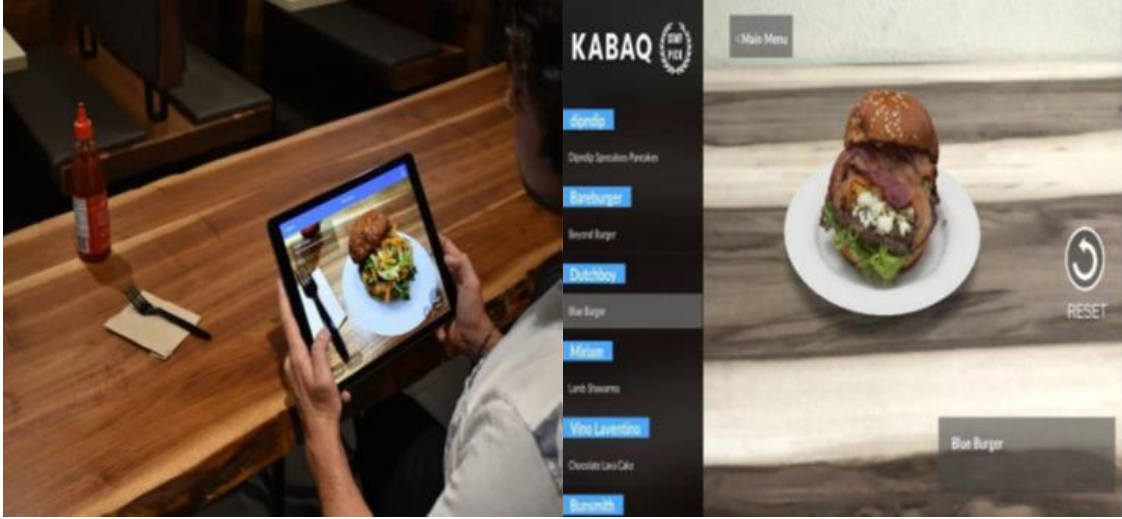
Lojistiğin temel kilit noktalarından sayılan planlama, tedarik ve dağıtım sistemlerinin dijital araçlara eşgüdümlü hale geleceği ve bunun beş yıl içinde lojistik sektörünü dönüştüreceği belirtilmektedir [6]. Akıllı tedarik, depo yönetiminde dijital ikiz uygulaması, dağıtımda otonom araçların kullanımı lojistikte konuşulmaya başlanan teknolojik gelişmelerdir. Walmart 2021 yılında otonom kamyonlar kullanacağını açıklamış ve bunu da 2 km'lik rotalarda test etmiştir. Benzer şekilde DHL tarafından hayata geçirilen dijital yük taşıma platformu Saloodo ve Türkiye'de de bu yönde hizmetlere başlayan Fratchbox, Tırport, KargomKolay gibi uygulamalar konum tabanlı teknolojilerle kişiselleştirilmiş hizmetler sunmakta, yapay zekâ algoritmalarıyla desteklenen aplikasyon teknolojileriyle kamyonculara, nakliye firmalarına, yük veren fabrika ve şirketlere, lojistik faaliyetlerini akıllı mobil cihazlar aracılığı ile yönetebilme fırsatı sunmaktadır [7]. Ayrıca, taşınan ürünler üzerinde bulunan proaktif telematik uygulamalar (uzak nesnelere kontrol etmek için telekomünikasyon cihazlarını kullanarak bilgi gönderme, alma ve depolama teknolojisi) sayesinde sevkiyatlar gerçek zamanlı olarak çevrimiçi izlenebilmektedir. Bütün bu uygulamaların temel çıktısı daha yüksek müşteri memnuniyeti sağlamak, hız kazanmak, maliyetleri azaltmak, güvenliği ve esnekliği arttırmak, evraka dayalı bürokrasiyi ve kırtasiye masraflarını azaltmaktır [8].

B. GASTRONOMİ

Üç boyutlu yazıcılar gastronomiyi şekillendiren ve dönüştüren en temel Endüstri 4.0 teknolojilerinden biridir. Şu an da üç boyutlu yazıcılar ile gıda üretmeyi amaçlayan çok sayıda güncel proje ve ürün geliştirilmektedir [9]. Kullanıcılar bu teknoloji ile istedikleri ürünü istedikleri görüntüde ve lezzette tasarlayıp üretebilmektedir. Üç boyutlu yazıcılar sayesinde yeme bozukluğu olan, yutma güçlüğü çeken, bazı ürünlere alerjisi olan, obezite ve diyabet gibi rahatsızlıkları olan bireylere kişiselleştirilmiş ürünler üretilebilmektedir. Ayrıca bireyin sağlık durumuna göre diyet programları hazırlanıp beslenme kontrolü için bir mühendislik çözümü sunulmaktadır [10] [11]. Yaşam kalitesini iyileştirmeyi ve yemekle olan deneyimi farklı bir boyuta taşımayı amaçlayan üç boyutlu yazıcılar, gıdanın yeni ve alışılmadık formunu sunmaktadır. Hemen hemen bütün gıda ve hammaddelerin yazdırılabildiği bu teknolojide farklı fiziksel ve kimyasal özellikteki gıdalarda bir araya getirilebilmektedir. Örneğin, mantar ve bezelye proteinleri, nişasta ve deniz yosunu kullanılarak somon balığına benzer vegan bir alternatif üretilebilmektedir. Bitkilerden oluşan üç boyutlu olarak yazdırılmış balıklar ve yine canlı hücre kültürlerinden elde edilen ve tamamen bitkisel olan et ikameleri üretilmektedir [12] [14].

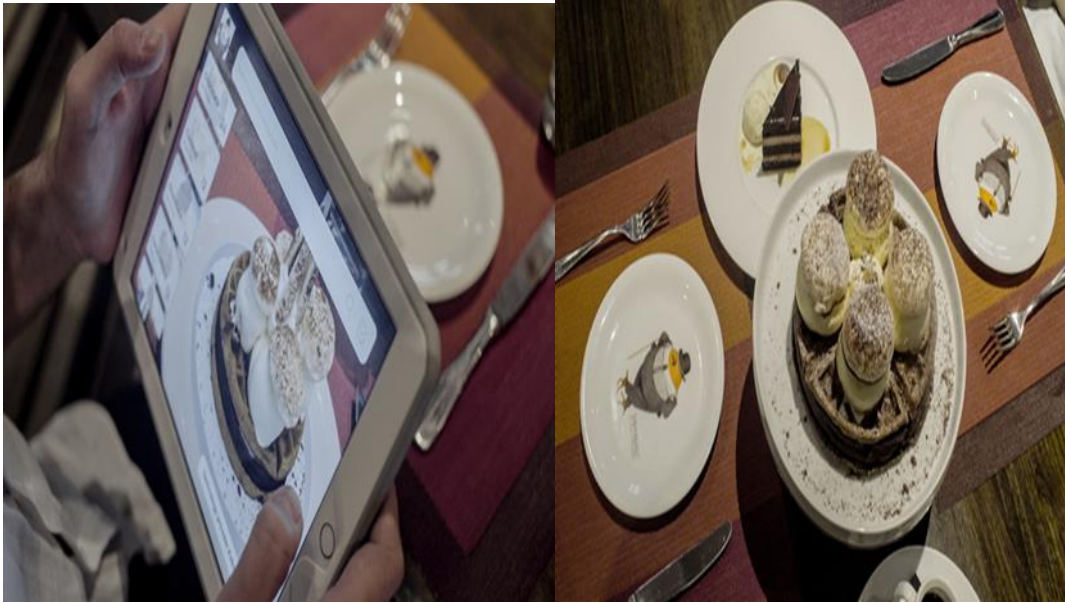
Japonya'da "Open Meals" isimli bir restoranda müşterilerin tükürük, idrar, dışkı örnekleri analiz edilerek her bir müşteri için özel bir sağlık kimliği oluşturulmakta ve biyolojik olarak üç boyutlu yazıcıya yüklenen bu veriler sayesinde müşteriye özel besinlerle oluşturulmuş suşi yapılabilmektedir [15]. Üç boyutlu yazıcılar, tüketiciler tarafından genellikle beğenilmeyen, tercih edilmeyen meyve ve sebzelerinde cazibesini arttırarak, tüketilmesini sağlayabilmektedir. Bilhassa çocukların yemekten hoşlanmadığı kereviz, brokoli, lahana, kivi gibi meyve ve sebzeler az miktarda da olsa kabul edilen bileşenler kullanarak tadı, lezzeti veya rengi ayarlanıp üç boyutlu olarak yazdırılabilmektedir [16].

Gastronomi alanını şekillendiren yenilikler üç boyutlu yazıcılarla sınırlı değildir. Artırılmış Gerçeklik uygulamaları da Endüstri 4.0 teknolojilerinin gıdanın sunumunda ve pazarlanmasında oldukça etkili olduğunu kanıtlamaktadır. Örneğin bu teknolojiden yararlanarak yiyecekleri 'fotorealistik yöntem' – uzaktan bakıldığında sanki fotoğraf zannedilirken aslında çok gerçekçi bir resim oluşturma yöntemi – ile gösteren Kabaq uygulaması kullanıcılara farklı bir deneyim yaşatmaktadır. Kabaq uygulaması, yiyecekleri üç boyutlu olarak yüksek kalitede artırılmış gerçeklik desteğiyle sunmakta, program, akıllı telefon veya tablet vasıtasıyla işaretleyici olmadan kameranın algıladığı düz bir alana seçtiği yemeği gerçek boyutlarıyla müşterinin karşısına çıkarmaktadır [17]. Artırılmış gerçeklik işletmelere kolaylık, hızlilik, hatasızlık, verimlilik ve rasyonel kararlar alabilmede avantajlar sunmaktadır. Ayrıca işletmenin karlılık ve sürdürülebilirlik amaçlarına ulaşmasında da yardımcı olmaktadır [18].



Şekil 1. KABAQ uygulaması deneyimi

Artırılmış gerçeklik uygulamalarına dayanan gastronomi deneyimi birden fazla duyunun harekete geçirilmesini sağlamakta, deneyimin haz boyutunu güçlendirmektedir. Artırılmış gerçeklik uygulamalarının deneyimsel pazarlamada gastronomi turizmi açısından kullanılması şehri her açıdan deneyimlemek isteyen tüketici üzerinde duyuşsal, duygusal, bilişsel, fiziksel ve ilişkisel etkiler yaratarak deneyimlerinin hem faydacı hem de hazcı değerler yaratmasını sağlamaktadır [19], [20]. Genel anlamda bir destinasyonun yerel yemeklerinin hepsini sipariş etmeden ne yemek istendiğine karar vermek oldukça güç olmaktadır. Bununla birlikte yemeğin içinde bulunan malzemelerin ne olduğu, çoğu kişi için yemek siparişinde önemli bir rol oynamaktadır. Kullanılacak bir artırılmış gerçeklik uygulama menüsü yardımı ile tüketici, yemeğin içinde bulunan malzemelerden, pişirme işleminin nasıl yapıldığına, kalori miktarından, görüntüsüne kadar birçok bilgiyi edinebilmektedir. Bu deneyim sırasında sipariş vermeden önce yiyeceği yemeği önceden görebilmekte ve gerekli bilgileri edinebilmektedir. Bu da tüketicinin hem faydalı bir şekilde bilgilenmesini hem de eğlenerek haz duymasını sağlamaktadır [21].



Şekil 2. Artırılmış gerçeklik menü uygulamasının görünümü ve sipariş sonrasında gelen gerçek ürün [21]

C. PAZARLAMA

Pazarlamanın dijital haline verilebilecek en iyi örnek, yeni nesil süpermarketlerdir. istegelsin.com uygulaması gelişen e-ticaret hacmiyle müşterilere kolaylık, çok çeşit imkânı, güçlü dağıtım ağı ve zaman tasarrufu sağlamanın yanı sıra işletmelere de müşterilerini analiz edebilme, onların alışveriş alışkanlıkları hakkında daha derin bilgiye ulaşabilme fırsatı vermektedir [22]. Ryan [23], dijital pazarlamanın temel meselesinin teknoloji değil insan olduğunu söylemektedir. Dijital ortamda pazarlama yapabilmek için büyük bütçelere sahip olmak yahut gelir düzeyi yüksek bir şirket kurmak gerekmemektedir. Dijital yolla yapılan pazarlama için gerekli olan en temel şey, yenilikçi olabilmek ve ilgi çekebilme. Dijital yenilik ve uygulamalar yalnızca e-ticaret sitelerinde görülmemekte, aynı zamanda kripto para kullanımı, Amazon'un AmazonGo uygulaması ile kasalarına dijital entegre etmesi, metin madenciliği yoluyla lüks otel ve otel zincirlerinin müşterilerinin şikâyet ve yorumlarından anlamlı sonuçlar çıkararak müşterilerine daha iyi dönüşler yapması, dijitalleşme ile birlikte gelen yenilikler arasında sayılmaktadır.

Ceylan Parlakay [24] "Pazarlama ve reklam dünyasında Endüstri 4.0 bizi nasıl etkiliyor?" başlıklı yazısında bizleri bir senaryo ile başbaşa bırakmaktadır. Bu senaryoyu okuduğumuzda pazarlama adına birçok şeyin köktenci bir anlayışla değiştiğini, yeni iş modellerinin ve iş stratejilerinin oluştuğunu net olarak görmekteyiz.

"Düşünün ki bir sabah uyandınız ve bahar ayında olmamıza rağmen dışarıda hava buz gibi ama odanız sıcak. Niye? Çünkü yapay zekâ tabanlı çalışan Nest'iniz, uyandığınızda tam olarak hangi sıcaklığa ihtiyacınız olduğunu bilip odanızı ısıtmış bile. Hazırlanıp sokağa çıkıyorsunuz ve sizi kapınızda bekleyen ve nereye gideceğinizi bilen bir taksitle işyerinize gidiyorsunuz. O taksiyi kim programladı? Google! Nasıl mı? Kitle kaynaklı navigasyon uygulaması Waze'i seneler önce satın alarak. Peki sabah odanızı kim ısıtmıştı? Yine Google, tabii ki yine seneler önce 3.2 Milyar dolar karşılığında satın aldığı Nest sayesinde...Ya Facebook? O aslında Messenger Chatbot ile siparişi ve ödemeyi tamamlayıp akşam afiyetle yediğiniz, size özel malzemeli hazırlanmış Dominos pizzanızın baş kahramanı".

Bu senaryoda olağandışı olan durum günlük yapılan aktiviteler değil bu aktivitelerin kendiliğinden oluş şekli ve buna bizim herhangi bir müdahalemizin olmamasıdır. Bu senaryoda sensörler kendi aralarında dünyamızı çevreleyen araçlardan (mailler, cep telefonları, konuşmalar, web site gezintileri, sosyal medya hesapları vs.) elde ettikleri tüketici içgörülerini veri bazlı algoritmalarla modelleyerek bizleri daha mutlu kullanıcılara dönüştürmüşlerdir. Bunu da "gerçek zamanlı pazarlama teknolojilerini" her gün kullanmalarıyla gerçekleştirmişlerdir [24].

D. EĞLENCE/REKREASYON

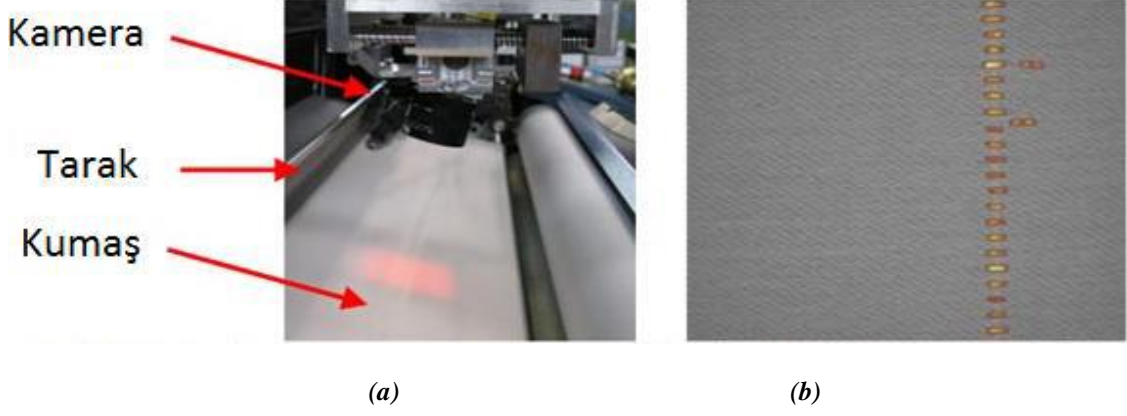
Sirklerde canlı ve yabani hayvanların kullanımı hem hayvan severlerin tepkisine yol açmakta hem de yoğun stres altında kalmasından dolayı hayvanların gösteri esnasında eğiticilere ve izleyenlere saldırmalarına neden olmaktadır. Bu gibi olumsuz durumları engellemeyi amaçlayan Alman sirkü Circus Roncalli, insani yaklaşımı mükemmelleştirmek amacıyla hologram teknolojisi kullanarak sirk gösterisini izleyenler için teknolojik bir görsel şölene dönüştürmektedir. Roncalli, bu hologramlı gösteri için 32 metre genişliğinde ve beş metre yüksekliğinde bir projeksiyona 11 adet ZU850 hologram projektörü ve gelişmiş lensler yerleştirmiştir. Gösteride şimdilik atların, fillerin ve akvaryum balığının üç boyutlu görüntüsü kullanılmaktadır [25].



Şekil 3. 3D hologramlarla yapılan sirk gösterisi

E. GİYİM/KONFEKSİYON

Tekstil fabrikaları manuel üretim sistemlerinden dijital üretim sistemlerine geçiş yapmakta ve tıpkı diğer alanlar gibi Endüstri 4.0 araçlarından fabrika içinde ve fabrika dışında yararlanarak esnekliği, kaliteyi ve verimliliği arttırmayı amaçlamaktadır. Örneğin, RFID (Radio Frequency Identification) teknolojisi kullanılarak iplikhanede pamuk balyaları ve iplikler izlenebilmekte ve partilerin karışması önlenebilmektedir. İplik kopuşları, ipliklerin taşınması ve hatalı kumaşlar yine otonom olarak belirlenebilmekte, hatalı ürün sayısı azaltılarak verimlilik ve kalitede artış sağlanmaktadır [26]. Artık dokuma tezgâhlarında; tüm verilerin dokunmatik ekrandan izlenmesi, ekran üzerinden gerçek zamanlı veri aktarımının yapılabilmesi, makine çalışma parametrelerinin (hava tüketimi vb.) izlenmesi ve gerekirse değiştirilmesi, tüm dokuma parametreleri için çeşitli istatistik analizlerin yapılabilmesi, bakım, ayar, temizlik, yağlama gibi konularda çevrimiçi yardıma erişilebilmesi, hava jetli tezgâhlarda hava tüketiminin optimizasyonu, vardiya raporları ve duruş analizleri alma, gerçek zamanlı çalışma durumunu izleme, elektronik olarak üretim parametrelerinin (havlu için hav oranı kontrolü vb.) kontrolü sağlanmaktadır [26]. Şekil 4 ve Şekil 5'te tekstil üretim işletmelerinde uygulanabilecek dijital araçlara ait örnek görseller sunulmaktadır.



Şekil 4. Tezgâhın üstündeki denetleme sistemi (a) ve kumaş hata tespiti (b)



Şekil 5. İplikhanede fitil yumaklarının otomatik taşınması

F. TARIM VE HAYVANCILIK

Hayvancılıkta en önemli konulardan biri beslenmedir. Hayvanların doğru karışımlarla beslenmesi, sağılması, ahır ve kümes ortamının uygun olması, hayvancılık faaliyetinde kaliteyi belirleyen unsurlardandır. Örneğin, online sistemlerde yerel yem kaynakları kullanılarak sürünün verim kriterlerine özel oranda hazırlama, kızgınlık tespiti ve tohumlama programı oluşturmada radyo dalgalarından ve bilişim teknolojisinden yararlanma, teknoloji ile hayvancılığı buluşturan uygulamalar arasında gösterilebilir. Benzer şekilde, “bağlantılı sürü yönetimi” ile ineklerin özel sensörlerle donatılması, hayvanların hastalıkları ve gebelik durumları cep telefonlarına gelen mesajlar yoluyla izlenebilir ve takip edilebilir hale getirilmiştir. Bunun yanında süt sığırcılığı işlemleri de robotlarla yapılabilmekte ve hayvanlar RFID teknoloji ile tanımlanabilmektedir. Bir kulak küpesi içine yerleştirilmiş RFID teknolojisi ile hayvana ilişkin doğum tarihi, aşılar, üreme özellikleri gibi bilgiler ve daha fazlası bu hayvanın bilgisayar ortamında takibini ve raporlamasını sağlayabilmektedir [27]. Tarım açısından bakıldığında ise, elmadaki hastalıklar da önceden yapay zekâ kullanılarak tespit edilebilmekte ve ileride her türlü bitki türü için oluşabilecek hastalıkların önüne geçilmesi amaçlanmaktadır [28]. Derin öğrenme, makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları gibi teknolojik yöntemler tarımda oldukça büyük fonksiyonellik sağlamakta ve tarımın geleceği açısından önem taşımaktadır.

G. OYUNCAK

Dördüncü Sanayi Devrimini temsil eden teknolojilerden biri olan nesnelerin interneti (Internet of Things – IoT) gündelik hayatın en görünür alanı olan oyuncak sektörünü etkilemekte ve yeni nesil oyuncakların geliştirilmesine ilham vermektedir. Ağ bağlantılı bu oyuncaklar birbirlerine ve diğer çevrimiçi platformlara Wi-Fi, bluetooth gibi yöntemlerle bağlanabilmektedir [29]. IoT tabanlı, bağlantılı, akıllı, yeni nesil oyuncaklar alfa kuşağı olarak adlandırılan çocukların beğenisini çekmekte ve ilgi görmektedir. Hatta yapılan bir araştırmada gelişmiş ülkelerdeki iki yaş altı çocukların %90'ının tablet veya akıllı telefonu nasıl kullanacağını bildikleri ortaya çıkmıştır. Sensörlerle donatılmış Teddy The Guardian isimli şirkete ait oyuncaklar yeni nesil oyuncaklara örnek verilebilir. Sevimli peluş ayı görünümünde olan bu oyuncak gelişmiş ölçümler yapabilmekte ve çocuğun vücut sıcaklığını, kalp atışını ve ortam sıcaklığını ölçerek cep telefonuna bildirim olarak gönderebilmektedir. Bu peluş ayının arkadaşları olan Uzun Zürafa ve Cesur Aslan isimli oyuncaklarda hareketlilik, nabız ve kandaki oksijen ölçümlerini anlık olarak yapabilmektedir [30], [31]. Artık, oyuncaklar geleneksel olanlardan çok daha farklı olmakta ve çok karmaşık teknolojiler vasıtasıyla etkileşimde bulunabilmektedir. Mikrofon ile ses tanıma, kamera ile görüntü alma, mesafeleri algılama, hareketlere uyum sağlama, gerçek zamanlı bilgi aktarımı gibi işlevler yeni nesil oyuncakların öne çıkan özellikleri arasında sayılabilmektedir.

H. REKLAM

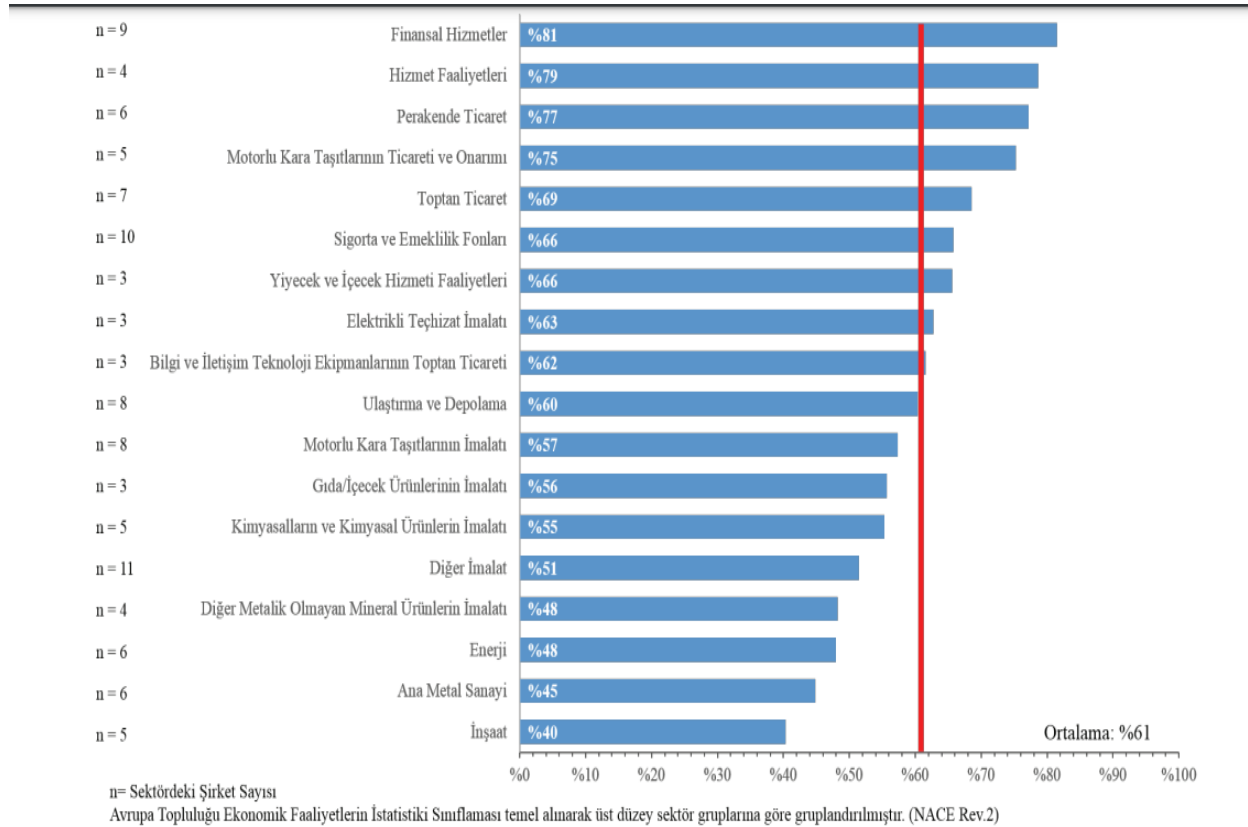
Müşteri arzuları, yeni endüstriyel devrime giden en önemli itici güçtür. "Endüstri 4.0" adlı dördüncü sanayi devrimiyle birlikte bilgi ve iletişim teknolojileri bütünleşik olarak artmakta, hayatımızın ve işimizin tüm yönlerini etkilemektedir [32]. Bu bakımdan reklamlarda yeni nesil dijital araçlardan istifade etmekte ve müşteriyle daha yakın ilişki kuran, müşterinin davranışlarını ölçebilen, sayısallaştırabilen ve müşteriye en uygun reklamı sunan bir yapıya kavuşmaktadır. Amerikalı John Wannamaker'ın 1800'lü yıllarda söylediği meşhur "*reklama harcadığım paranın yarısı boşa gidiyor, ancak hangi yarısı onu bilmiyorum*" sözü artık gerçekliği pek yansıtmamaktadır. Çünkü reklamın sayısallaştırılması, ölçülmesi, etkinliğinin değerlendirilmesi Endüstri 4.0 teknolojileri ile mümkün olabilmektedir. Konum bildirimleri ve elde edilen istatistikler neredeyse her iş stratejisinin bir parçası haline gelmiştir. Hangi reklam harcamalarının boşa gittiği, hangi billboardların daha fazla dikkat çektiği, hangi açık hava reklamını hangi durağa yerleştirmek gerektiğini bize yine konum bildirimleri söylemektedir [33]. Akıllı telefonlar yalnızca konum bildirmek için kullanılmamakta aynı zamanda pazarlamacıların markaları tüketicilerle buluşturmak için de cep telefonlarından ve nesnelerin internetinden yararlanmaktadır. Tüketiciler, belli alanlara girdiği andan itibaren kendilerine özel teklifler (reklamlar) cep telefonlarına anlık olarak gelmektedir. Üstelik bu teklifler tüketicinin yaşına, ilgi alanlarına ve daha önce satın aldığı uygulamaya ve ürünlere dayanarak hazırlanmaktadır. Buna son dönemlerde "programatik pazarlama" denilmektedir. Programatik pazarlama, reklamlarınızı ne tür kitlelere göstermek istediğinizi hedeflemenin bir yoludur. Bu, yaş, cinsiyet, sosyal konum gibi demografik özelliklerden coğrafi bölgelere kadar olan bölümleri kapsayabilir. Programatik pazarlamayı uygulayan reklamverenler, reklamlarının günün hangi saatlerinde hangi sıklıkta yayınlanacağını seçebilmektedir. Ayrıca, reklamların hangi yayıncılarda gösterilmesinin istediğine de karar vermeyi sağlamaktadır. Bu sayede gereksiz masraflar ortadan kaldırılarak yalnızca doğru zamanda doğru kişilere gönderilen son derece etkili reklamlar için ödeme yapılmaktadır [34]. Müşteriler artık daha kaprisli, şımarık, doyumsuz, anı yaşamak isteyen buna yönelik olarak aradığını hemen bulmak isteyen hatta arama zahmetine katlanmak istemeden karşısına öneriler gelmesini bekleyen bir profil sergilemektedir [35]. Değer, değer yaratma, kişiselleştirilmiş ürün ve hizmetler bugünün dünyasını tanımlayan kelimeler arasında yer almaktadır [36].

İ. PERAKENDE

Perakende de dönüşüm değişen müşteri alışkanlıklarıyla birlikte yenilikçi bir yöne doğru kaymaktadır. Perakendecilikte verilen pazarlama kararları bugün çalışanların bilgi ve birikimleri yerine yapay zekâ ve makine öğrenmesi yoluyla bilgisayarlar ve programlar yoluyla verilmektedir. Hangi raf seviyesinin müşterilerin dikkatini çekeceği, hangi müşterinin hangi ürüne ne kadar süre ile baktığı, hangi mağaza

içi düzenlemenin daha çok müşteri çekeceği yeni teknolojiler sayesinde kolayca tahmin edilebilmekte ve pazarlama çözümü olarak yöneticilere rehberlik edebilmektedir. Her sektörün sonuna eklenen 4.0 kavramı perakende sektörü içinde geçerli olmakta, Perakende 4.0, teknolojinin sunduğu dijital ekosisteme atıfta bulunmaktadır. İngiltere'nin en büyük çevrimiçi marketi Ocado perakendecilikte verilebilecek en güzel teknolojik yenilik örneğini oluşturmaktadır. Beş katlı bir alanda, 25 km uzunluğunda bir konveyör şebekeye bağlı olan tesis, dev bir otomatik depoya sahiptir. Sipariş edilen ürünler, herhangi bir insana gerek duyulmadan otomatik olarak özel çekme istasyonundan taşınmaktadır. Ürünler için 1000 adet kasaya kadar güzergahlar oluşturulmaktadır. Yapay zekâ sistemi tarafından kontrol edilen ve zengin içerikli aletlerle geliştirilmiş filolar her kasanın en verimli yolunu hesaplamaktadır. Ayrıca müşteriler tarafından verilen siparişler konveyör üzerinde robot ekipler tarafından kablosuz 4G bağlantı yoluyla sisteme bağlanarak paketlenmekte, taşınmakta ve manuel olan işlemlere duyulacak ihtiyacı azaltmaktadır [37].

Perakendecilikte öne çıkan dijital teknolojiler; temassız-mobil ödeme sistemleri, insansız kasalar, e-ticaret, drone'lar ile yapılan teslimatlar, sayısallaştırılmış müşteri ilişkileri yönetimidir. Amazon Go uygulaması, insansız kasaların en çarpıcı örneğini oluşturmaktadır. Müşterilerin aldığı ürünler kameralar tarafından otomatik olarak algılanmakta ve akıllı sepete eklenmektedir. Yapılan alışverişin toplam bedeli müşterinin hiçbir şey yapmasına gerek kalmadan tanımlanan hesabın bakiyesinden düşülmektedir. Mağazadan ayrılan müşteriye uygulama aracılığı ile dijital bir makbuz gönderilmektedir. Perakendede istenen durum, gün içinde personel tarafından yapılması gerekenleri, alınması gereken kararları otomatiğe bağlamak ve bu sayede maliyetleri düşürüp verimliliği artırmaktır. Accenture'un dijitalleşme endeksi raporunda da perakendecilik 18 sektör arasında üst sıralarda yer almaktadır [38].



Şekil 6. Sektörlerin Accenture Dijitalleşme Endeksi Puanları [38]

Perakende 4.0 ile sağlanan avantajlar ve yapılanlar aşağıda kısaca özetlenmektedir [39]:

- Büyük veri analitiği ile oluşturulan tüketicilere ilişkin veriler, tüketicilerin bir ürün için uygun bulduğu fiyatı belirlemeye yardımcı olur.
- Büyük veri, perakendecilerin tüketicilerini ve ait oldukları demografiyi anlamalarına yardımcı olur. Hangi ürün ve hizmetlerin yüksek talep gördüğünü, hangi ürünlerin piyasada iyi performans göstermediğini belirleyerek tüketici taleplerini tanımada bilgilendirici bir yaklaşım sunar
- IoT sensörleri RFID etiketleriyle bağlantılı 'akıllı' mağazalar oluşturmakta ve mağazaların gerçek zamanlı yönetimini sağlamaktadır. Ödeme sırasında tüketiciler IoT destekli etiketleri tarayabilmekte ve mobil uygulamalar aracılığıyla ödeme yapabilmektedir. Ayrıca müşteriler belirli ürünlerin yakınıdayken indirimler ve promosyonlar konusunda uyarılabilir.
- Perakende ev geliştirme zinciri Lowe's, mağaza içinde LoweBot'u kullanmakta, müşteriler dokunmatik ekranı kullanarak soru sorabilmekte veya yazabilmektedir. LoweBot soruları cevaplamakta, müşterileri ürünlere yönlendirmektedir. Ayrıca koridorlar arasında dolaşarak envanter kontrolü de yapmaktadır. Benzer şekilde Best Buy Chloe robotunu müşterilerin istediği ürünleri robotik bir kol kullanarak raflardan alabilmesini sağlamaktadır. Dominos Pizza ise müşterilerine yiyecek teslim etmek için Domicopter isimli drone'unu kullanmaktadır.
- Perakendecilikte uzun kuyruklar, bekleme süreleri, hatalı ürün teslimatları, yanlış siparişler, işçilik maliyetleri dijital çözümler sayesinde azalmakta, artırılmış müşteri deneyimi ile perakendeciliğin dijital ile bütünleşmesi daha da rekabetçi bir hal almaktadır.



Şekil 7. Amazon Go ile perakendecilikte insansız kasa örneği

J. İNSAN KAYNAKLARI

Yaşanan dördüncü endüstriyel döneme getirilen en büyük eleştirilerden biri teknolojik araçların insan kaynağının yerini alma tehlikesi ve bunun istihdamda negatif etki yaratma beklentisidir [40]. Oysaki birçok çalışmada, gelişen teknolojilerin insan varlığını tehdit etmediği, bilakis insanın yeteneklerini ve sorun çözme kabiliyetini geliştirerek, işletmelerin yenilikçi kültürlerine katkı sağlayacağı iddia edilmektedir [41]-[43]. Teknolojik araçlar sayesinde vasıflı işgücü ortaya çıkacak ve teknolojiyi iş yapma kültürüne entegre edebilen nitelikli işgücü çok daha merkezi bir karar alma rolünü üstlenecektir [44]. Başka bir ifade ile Endüstri 4.0 sayesinde insan faktörü üretim sürecinden tamamen çıkarılmamakta aksine çok daha etkin bir şekilde karar verici rolünü üstlenerek stratejik bir görevliye dönüşmektedir [45].

Büyük veri, veri analitiği, bulut bilişim, yapay zekâ gibi 4.0 teknolojileri insan kaynaklarında işe alım süreçlerinde de etkin şekilde kullanılabilir. İşe alım sürecinde uygun aday bulabilmek veya özel yetenekli bir aday kaçırılmamak, belirli filtreler uygulanarak hızlı bir şekilde değerlendirme yapmak, gerçek zamanlı ve kişiselleştirilmiş iletişim sağlayarak daha fazla adaya ulaşmak, geleneksel yöntemlerle çoğu zaman yavaş ve etkisiz bir şekilde yapılabilir. Oysaki yapay zekâ yöntemleri ile tüm bu süreçler etkin, düşük maliyetli bir şekilde gerçekleştirilebilir [46]. Yapılan araştırmalar, klasik mülakat yöntemlerine kıyasla, zamanın kısıtlı olduğu ve kritik pozisyonlar için yapılan işe alımlarda yapay zekâ kullanımının doğru ve yetenekli başvuru sahibini işe seçmede %82 gibi yüksek bir doğruluk payı sağladığını ortaya koymaktadır [47].

K. ÜRETİM

Yeni dijital araçlar, üretim süreçlerini de dönüştürmekte ve daha önce varolmayan yöntemler ile birlikte stok kontrol yöntemlerini etkilemektedir. Stoklar ve yönetim her işletme için bir maliyet unsurudur. Dolayısıyla bu maliyeti minimize etmek, talepteki dalgalanmaları stabil hale getirmek, üretim aşamasında çeşitliliklerle baş etmek ve sevkiyat süreçlerinde yaşanan aksamaları yönetmek için makineler, sensörler, aktüatörler, konveyörler, robotlar, bilgi taşıyan işlemciler ve gömülü detektörlerden yararlanılacaktır. Böylelikle hatalara, değişikliklere ve müşterilerin üretim devam ederken istediği taleplere hızlı şekilde tepki verilebilecektir [48]. Mobilya sektöründe de Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretime kolaylık, üreticiye ise pazar ve rekabet avantajı sağlayacağı bilinmektedir. Örneğin X kuşağı kayın, meşe, ceviz ve akağaç gibi dayanıklı sağlam mobilyaları tercih edip, ortalama 8 yılda bir mobilya değiştirirken, Z kuşağı ise ortalama 3,5-4 yılda bir mobilya değiştirmektedir. Z kuşağı mobilyalarla birlikte teknolojik ekipmanların bir arada olmasını istemektedir. Böylelikle şarj yeri olan USB girişli mobilyalar talep edilebilmektedir [49]. Bu durum talep şartlarına hızlı uyum göstermeyi, değişen trendleri anlayabilmeyi ve teknolojik araçlar vasıtasıyla pazarın değişen talep hızını yakalamayı zorunlu kılmaktadır. Çünkü mobilya sektöründe renk, tasarım, şekil, dokunsal özellikler ve malzemedeki çeşitlilik büyük önem taşımaktadır. Teslim sürelerini kısaltmak, bireysel farklılaşmaya anlık olarak cevap vermek, hız ve çeviklik kazanmak, kısaca tüm ürün yaşam döngüsü boyunca modülerliği sağlamak ancak Endüstri 4.0 araçlarının kullanımıyla mümkün olabilmektedir [50].

Yapılan bir başka araştırmada vitriyeye üretim işletmesinde manuel olarak yapılan işlerle robot sistemler kullanılarak yapılan işler arasında ürün çıktısı ve verimlilik açısından farklılık olup olmadığı incelenmiş ve araştırma sonucunda manuel çalışan bir işçinin günde 150-160 arası ürün işlediği ancak robotların günde 200-220 arası ürün işlediği görülmüştür. Buna göre dijital entegre olmuş üretimin verimlilikte gözle görülür bir artış sağladığı, Endüstri 4.0 araçları ile daha kısa sürede daha fazla işin yapıldığı sonucuna ulaşılmıştır [51].

L. MUHASEBE-FİNANS VE BANKACILIK

Muhasebe alanında en çok yararlanan Endüstri 4.0 teknolojileri “bulut bilişim” olmaktadır. İnternet üzerinden depolama hizmeti veren sistem hem mükelleflere hem de bu konuda faaliyet gösteren işletmelere büyük avantajlar sağlamaktadır. Klasik muhasebe tabanlı yazılımlardan internet tabanlı

yazılımlara geçiş yapan işletmeler daha az risk ve daha fazla güvenlik elde etmektedirler. Bulut teknolojisinin muhasebe alanına uygulanmasıyla birlikte “bulut muhasebesi” kavramı ortaya çıkmış ve bu kavram muhasebecilerin ve işletme sahiplerinin konumlarından bağımsız olarak aynı sistemde aynı anda çalışabilmelerini sağlamıştır [52].

Bankalar da sınıflama, kümeleme, veri görselleştirme, karar ağaçları, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, değişim ve sapma analizi, tahminleyici modelleme, sepet analizi ve birliktelik kuralları gibi ileri düzey veri analitiği yöntemleri sayesinde müşterilerinin davranışlarını tahmin edebilir, kararların kısa, orta ve uzun dönemli etkilerini hesaplayabilir duruma gelmiştir. Böylelikle veri analitiğiyle “neler oldu” ve “ne olursa neler olabilir” sorularına cevap bulunabilir. Örneğin internet bankacılığında müşteriler elektronik fon transferi (EFT) işlemine göre “sık kullanıcılar”, “orta sıklıkta kullanıcılar” ve “seyrek kullanıcılar” olarak sınıflandırılabilir veya veri madenciliği metotları kullanılarak kredi kartı kullanımlarında sadık müşterilerin analizi yapılabilir. Bu sayede müşteriler gruplandırılarak kredi kartı kullanım sıklığı ve kullanım miktarı açısından sınıflandırılarak her birine farklı pazarlama stratejileri uygulanabilir [53].

M. İNSAN PSİKOLOJİSİ

Güney Kore’de bir anne 2016 yılında ölen yedi yaşındaki kızı ile sanal gerçeklik sayesinde yeniden buluşma imkânı bulmuştur. Dijital teknolojiler geliştiren bir firma, anne ile kızın sık sık gittiği parkı simülasyon yardımıyla sanal ortama aktararak annenin kızıyla buluşmasını sağlamıştır [54]. Bu durum dijital teknolojilerin insan psikolojisi, acı çekme ve acılarla baş etme stratejilerinde de etkili olabileceğini göstermektedir. Çocukların televizyona ya da tablete bakma sürelerini ayarlamak içinde yine 4.0 teknolojilerinden yararlanılabilir. Yakından tablete veya televizyona bakan çocuklar için sensörler ve retina okuma teknolojileri yoluyla iyileştirmeler yapılabilir. Örneğin tablete, TV’ye belli bir mesafeden daha yakın bakanları algılayan sensörler sayesinde cihazlar otomatik olarak kendini kapatabilir. Bu makale ile çocuklara yönelik sunulan bu öneri hayata geçirilebilir pratik bir öneridir.

N. KOZMETİK/KİŞİSEL BAKIM

Güzellik ve bakım ürünleri üreticisi olan L’Oreal markası CES 2017 fuarında yeni akıllı saç fırçasının tanıtımını yapmıştır. Sensörlerle çevrili olan ve internet bağlantısına sahip saç fırçası, saçın ıslak ya da kuru olduğunu belirleyebilmektedir. Fırçalama esnasında uygulanan kuvveti analiz ederek kullanıcıya önerilerde bulunmaktadır. Fırçanın öne çıkan özelliklerinden birisi ise kişinin saçını fırçalarken çıkardığı sesi dinleyebiliyor olmasıdır. L’Oreal’in akıllı saç fırçası tarama sırasında çıkan sese göre kırılmış, kopmuş ve yıpranmış saç telleri konusunda kullanıcıya sesli olarak bilgiler sunmaktadır. Üstelik bu saç fırçası uygulanan kuvvet, saçın yapısı ve saç tellerinin durumu ile ilgili topladığı verileri bir uygulama üzerinden cep telefonuna aktarabilmektedir [55]. Nesnelerin interneti (IoT) kavramının basit gündelik bir saç tarama işleminde tüketiciye nasıl kolaylık sağladığını ve üstelik saç bakım ve tedavi yöntemlerini önermesi ile de işin sağlık ve güzellik yönünü ön plana çıkardığını görmek mümkündür. Bu anlamda Endüstri 4.0 kavramının müşteri memnuniyetine, pazarın değişen yapısına hızlı cevap verebilmeye [56], kısalan teslimat ve üretim sürelerine [57], daha düşük maliyetlerle özelleştirilmiş ürünler üretilmesine [32], değer oluşturan tedarik zinciri ilişkilerine [56], iş verimliliğini arttırmaya, kurumsal rekabet gücüne [58] ve müşterilerin daha önce hiç var olmayan istek ve ihtiyaçlarını doğru şekilde tanımlayıp karşılanmasına [59] katkısı olduğu söylenebilir.

Sosyal ağlar ve e-ticaret siteleri Endüstri 4.0 araçlarıyla güzellik, kozmetik ve kişisel bakım konusunda müşterilere daha fazla deneyim sunmayı amaçlamaktadır. Artık fiziksel deneyim ihtiyacı hissetmeyen müşteriler, kişisel bakım ve kozmetik ihtiyaçlarını dijitalle taşımaktadırlar. Mobil uygulamalara kolayca adapte edilebilen yapay zekâ, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik gibi araçlar, müşterilere mağazaya hiç gitmeden de satın alma yapabilmelerini sağlamaktadır. Deloitte Digital’in TÜSİAD ile ortaklaşa hazırladığı raporda kozmetik sektörü e-ticaret ve dijital platformlarda en çok tercih edilen 13 kategori arasında üçüncü sırada yer almaktadır [60]. Artık bir müşteri ruj denemek için en az 80 saniyesini artırılmış gerçeklikle desteklenmiş çevrimiçi platformlarda geçirmektedir. Çin’in WhatsApp’ı olarak görülen ve Tencent’in bir parçası olan WeChat adlı platformda artırılmış

gerçeklik efektleri kullanılmakta ve kullanıcılar telefon kameralarından makyaj ürünlerini test edebilmektedir [61]. Başka bir kozmetik firması olan NYX Cosmetics, artırılmış gerçeklikle uzmanlarının kullanıcılar canlı seans vermelerini sağlamaktadır. Dahası, görüşmelerde kullanıcılar mobil ekranda hem sanal ürün denemesi yapabilmekte hem de kozmetiğin doğru kullanımı konusunda çeşitli bilgiler alabilmektedir [60].



Şekil 8. CES 2017 Fuarında Tanıtılan L'Oreal Akıllı Saç Fırçası

Akıllı aynalar da 4.0 teknolojileri ile müşterilere farklı bir deneyim yaşatmaktadır. Kullanıcıların makyaj ve cilt ürünlerini sanal bir ayna karşısında denemelerini sağlayan akıllı aynalar aynı zamanda bir dermatoloğa ihtiyaç duymadan cilt analizleri yapabilmekte ve bakım önerileri sunabilmektedir. Akıllı asistan ve akıllı aynaların öncülerinden sayılan HiMirror, Amazon'un akıllı asistanı Alexa, Spotify, Instagram, Facebook ve Youtube ile entegre biçimde çalışabilmektedir. Böylece kullanıcılar hem ayna karşısından ayrılmadan iyi vakit geçirmekte hem de bütünsel bir güzellik asistanlığı alabilmektedir.



Şekil 9. Endüstri 4.0 teknolojileri ile donatılmış akıllı aynalar

O. TURİZM

New York Yotel'e gittiğinizde bir bellboy'un yaptığı bütün hizmetleri yapan ve size odaya kadar eşlik eden bir robotla karşılaşmak mümkündür. Ayrıca bu New York Yotel'de odalardan koridorlara kadar her yerin ısısı özel olarak ölçümlenip ayarlanabilmektedir. Böylelikle otel müşterileri odadan çıktıklarında veya spor salonundan çıkıp restorana gidene kadar ısı farklarına maruz kalmamaktadırlar. Tokyo'da bulunan Peninsula Otel de odada iken misafirlerin ruh hallerine göre ışığı ayarlayabilen ve misafirlerin o andaki ruh halini yansıtan Mood Pad teknolojisini kullanmaktadır [62]. Holiday Inn Otelleri ise müşterilerine "mobile key" uygulaması sunmakta, rezervasyon sonrası misafire sesli mesaj gönderilerek otele giriş yaptığında vakit kaybetmeden bu sesli mesajı kapıya okutarak odasına giriş yapması sağlanmaktadır [63].

Ö. SAĞLIK/MEDİKAL

Sağlıkta yıkıcı dijital teknolojileri kullanmak uygulamada problem olan bir duruma çözüm bulmak veya adaptasyon sağlamak anlamına gelmektedir. Bunun içinde yeni çalışma yolları oluşturmak ve yeni teknolojiler kullanmak gerekebilmektedir. Endüstri 4.0 teknolojileri sağlıkta yenilik yaratmak, hizmet yoğun bu sektörü daha rekabetçi hale getirmek için son derece elverişli araçlar sunmaktadır [64]. Bilhassa hassas (savunmasız) grupların ihtiyaçlarına odaklanarak, tıbbi ürün ve hizmetlerde, hizmet sunum yöntemlerinde iyileştirici yenilikler yapmak, sağlık kuruluşları için giderek zorlayıcı bir küresel baskı haline gelmektedir. Teşhis, tanı ve tedavide, süreç, eylem ve uygulamalarda 4.0 teknolojilerinden yararlanmak bir yandan bu zorluğu aşmayı sağlarken, öte yandan maliyet düşürücü ve rekabeti artırıcı bir etki ortaya çıkarmaktadır. Dünya nüfusunun giderek yaşlanması, sigorta şirketlerinin sağlık harcamalarına yönelik talebi karşılama zorlanması, devletlerin sağlığa yönelik kamu harcamalarındaki artış sağlık sektörünün yeniden yapılandırılmasını zorunlu kılan etkenler arasındadır. Bunların üstesinden gelmek ise ancak 4.0 teknolojileri ile mümkün olmaktadır. Sağlıkta yıkıcı teknolojiler giyilebilir sağlık ürünleri yoluyla uygulanmaktadır. Şekil 10, 11 ve 12'de örnekleri verilen uygulamalar sağlıkta dördüncü sanayi devrimi araçları kullanıldığında ortaya çıkan müşteri/hasta değerini açıkça ortaya koymaktadır.

Şekil 10'da görülen akıllı kontak lens gözlük kullanan diyabetli hastalar için gözyaşını analiz ederek vücuttaki glikoz seviyesini ölçmektedir. Kablosuz bir çip ve minyatürize bir glikoz sensörü sayesinde anlık ölçümler yapılarak yaşanabilecek travmatik olayların önüne geçilebilmektedir [63].



Şekil 10. Akıllı kontak lens

EKG çekilirken hastaların en çok zorluk yaşadığı durum kablo, elektrot ve jel kullanımıdır. Vücuda jel yardımıyla yapıştırılan elektrotlar ve karışık kablolar hem hastaların rahatsız olmasına hem de sağlık çalışanlarının vakit kaybetmesine yol açmaktadır. QardioCore ile göğüs çevresine bağlanan monitör (yapışkan bant veya jel gerektirmeyen kablosuz bir monitör) yardımıyla kalp aktiviteleri anlık olarak mobil uygulamaya aktarılmaktadır. Böylelikle kullanıcılar ve sağlık çalışanları kalp ritmini anlık izleyebilmekte, herhangi bir kablo ile uğraşmak zorunda kalmamaktadır [65].



Şekil 11. *QuardioCore* jel ve kablo gerektirmeyen EKG cihazı

Hareketsizlik ve gün boyu oturmak, kişilerde birçok sağlık problemine neden olabilmektedir. İstemli veya istemsiz şekilde (hasta olduğu için) gerçekleşen immobilitelerle ilerleyen yaşlarda insanları etkileyen ve yaşam kalitelerini düşüren bir unsur olarak görülmektedir. Şekil 12’de görülen The Leaf Healthcare Sensor, kişiyi hareket etme zamanı geldiğinde uyarıcı bir izleme sistemine sahiptir. Bu izleme sistemi kişiye yerleştirildiğinde, hasta yanlış yöne hareket ederse ya da doğru şekilde hareket etmek için yardıma ihtiyacı olursa, ilgililer uyarılmaktadır [65].



Şekil 12. *The Leaf Healthcare* hareketlilik uyarı sensör

Bir başka örnekte göz tansiyonu (glokom) tedavisine yardımcı olması amacıyla Liverpool Üniversitesi’nde geliştirilen kontakt lensler verilebilir. Bu lensler, gözdeki basınç değişimlerini ölçerek veri toplamaktadır. Yükseldiğinde görme kaybına yol açabilecek bir riski bulunan göz içi basınç (GİB) genelde göz tansiyonu hastalarında yılda iki kez ölçülmektedir. Ancak, göz içi basıncın stres, çevresel ve psikolojik faktörlerden çok kolay etkilendiği de bilinmektedir. Söz konusu cihazla ölçümler, 24 saatlik süre içinde sürekli olarak yapılmakta ve kablosuz olarak harici bir kontrol cihazına aktarılmaktadır [66].

P. EĞİTİM/SINIF YÖNETİMİ

Modern eğitim teknolojilerinden sayılan, göze ve kulağa hitap eden akıllı tahtalar, projektörler, fotoğraf makineleri, tepegöz, LCD paneller, projeksiyonlar artık postmodern yaşamda yeterli gelmemekte ve eğitimin içerik olarak zenginleştirilmesinde internet, tablet, akıllı telefonlar gibi teknolojilerden yararlanılmaktadır [67]. Eğitimde dijital sistemler, var olan multimedya, Blu-ray oynatıcılar, belge kameraları, bilgisayar ve internet teknolojilerini entegre ederek aynı anda birbirleri ile etkileşimli şekilde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. 2016’da başlayan FATİH Projesi ile öğretmen-öğrenci arasındaki etkileşimin daha da artmasıyla öğrencilerin dikkati öğrenmeye çevrilmiştir. FATİH Projesi kapsamında kullanılan ESY yazılımı ile anlık oylamalar, çevrimiçi bireysel ve grup çalışmaları yapılabilmekte, öğretmen, öğrencilerin tabletlerini kontrol ederek dikkat dağıtıcı uygulamaları kısıtlayabilmekte ve ayrıca tabletler arası görüntü paylaşılabilir [68]. Öğretmenler ve öğrenciler tarafından sanal sınıf ortamlarında ya da uzaktan eğitim araçları olarak kullanılan teknolojileri; Slastop, Ko-Su, Todaymeet, Google Hangout, Zoom, Adobe Connect,

Skype, Gotomeeting, Microsoft Team, TeacherKit, Class Dojo, Google Classroom, Power Teacher, Skype Classroom, Flipped Classroom, Course Hero, Classkick, Edu Clipper, Classroom Screen ve Eduwiser şeklinde sıralamak mümkündür [67]. Aynı zamanda bulut tabanlı teknolojiler kullanılarak fiziki arşivlerden ve mekândan tasarruf edilebilmektedir. LiveSchool uygulaması buna verilebilecek en iyi örneklerdendir [70]. Eğitimde yeni teknolojilerin kullanılması beraberinde teknolojik araçlarda dikkat edilmesi gereken bazı hususları ön plana çıkarmıştır. Örneğin, ışık, sıcaklık, görüntü netliği ve renkler sanal uygulamalarda ayarlanması gereken özellikler arasındadır [71]. Eğitimde kullanılacak teknolojilerde ve çevrimiçi derslerde öğretmenin kontrolü nispeten daha fazla olabilmektedir. Öğretmen tüm mikrofonları sessize alabilir sadece sanal olarak el kaldıran öğrencilere söz hakkı tanıyabilir, öğrencilerin sohbet ve yazışma alanını kullanmalarını sağlayabilir ve önceden ders materyallerini yükleyerek ders başladığında zaman kazanabilir. Ayrıca video, animasyon, simülasyon, artırılmış gerçeklik, sanal gerçeklik gibi teknolojiler ile desteklenmiş öğrenme materyalleri kullanılarak öğrencilerdeki merak duygusu artırılabilir [71].

Yoklamalarda dijital olarak alınabilmekte, QR kod sayesinde öğrencilerin sınıf içindeki varlıkları raporlanabilmektedir. Ayrıca öğrenciyi izleme ve ona devamsızlığı konusunda anlık olarak bilgi vermede de etkin olan bu sistem, birçok üniversite, lise ve dengi okullarda kullanılmaya başlanmıştır. Hızlı, kolay, yenilikçi olan QR kodlu yoklama sayesinde kâğıt israfından kaçınılmakta, öğretmenlerin iş yükü hafifletmekte ve zamandan tasarruf sağlanabilmektedir. Ayrıca QR kod kullanımı öğrencilerin ilgisini, motivasyonunu ve aktif katılımını olumlu yönde etkileyebilmektedir [72]. Malezya’da bir üniversitede QR Kod ile sınıf yoklaması alınmaktadır.



Şekil 13. Çevrimiçi sınıflarda oturma (kamera) düzeni

R. GÜVENLİK

Yapılan bir araştırmada Amerikan şirketlerinin %90'ının siber saldırılara maruz kaldığını, bunlardan yalnızca %60'ının bu saldırılara tam donanımlı bir şekilde hazır olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca dördüncü endüstriyel devrim ile birlikte eski mesleklerin yerini yenilerinin alacağı, siber güvenlik uzmanı, sanal güvenlik hizmet sağlayıcısı gibi mesleklerinde bu mesleklerde adı geçtiği bilinmektedir [73]. Güvenlik konusu yalnızca işletmeleri ilgilendiren bir konu değildir aynı zamanda üst düzey gizli belgelerin, kurumsal bilgilerin ve devlet sırlarının dijital ortamda güvenle saklanabilmesi de devletlerin öncelikli konuları arasında yer almaktadır. Çünkü bazı hassas ve gizli belgelerin siber saldırıya maruz kalması, diplomatik krizlere, tehditlere, ambargolara, ülke içi karışıklıklara ve diğer olumsuz olaylara öncülük edebilir, bu da ülke vatandaşlarının hükümete ve devlete olan güvenlerini etkileyebilir. Bu bakımdan internet ortamında alınabilecek güvenlik önlemleri birer ticari kuruluş sayılan işletmelerden devlet ve yerel yönetimlere kadar geniş yelpazede herkesin dikkat etmesi unsurlar arasındadır. Tüm dünyada hem kişisel sırların hem de işletme ve devlet sırlarının internet yoluyla sızdırıldığı birçok olaya tanıklık edilmiştir. Bu sızdırmalar radar, uydu, görüntü, siber ve

elektronik istihbarat yoluyla yapılabilmektedir [74,75]. Sonucunda ise kişilerin, işletmelerin ve devletlerin itibar kaybetmesi söz konusu olabilmektedir.

S. MEDYA/İLETİŞİM

Amerikan prodüksiyon şirketlerinden biri olan Netflix kullanıcılarına binlerce dizi, film içeriği sunmakta ve Endüstri 4.0 için ders niteliğinde bir örnek teşkil etmektedir. Endüstri 4.0 kavramını pazarlama 4.0'a dönüştüren ve bunu en iyi uygulayan şirketlerden olan Netflix, aynı film için farklı izleyicilerine farklı fragmanlar ve film afişleri hazırlayabilmektedir. Yalnızca internetten izlenebilen bu video içerik sitesi, müşterilerini film izledikleri andaki davranışlarına göre kategorize etmekte ve onların gelecekteki davranışlarını tahmin etmektedir. Bunu karmaşık yazılım ve donanımlar sayesinde yapsa da ortaya harika bir “değer önerisi” çıkmakta ve müşteriler bu değer önerisini satın almaktadır. Netflix, üyelerini filmi izlerken hangi sahnelerde durduklarını, hangi sahneyi başa alıp tekrar izlediklerini ve daha çok hangi dizi veya film içeriğini arattıklarını analiz ederek onlara özel bir hizmet sunabilmektedir. Ayrıca dünyanın farklı ülkelerindeki farklı kullanıcılar aynı film için farklı film afişleri görmektedir. Bazen filmde sadece on dakika görünen iki karakterin kapak fotoğrafı sayfanızda yer alırken, bir başkasının sayfasında aynı filmin farklı tasarlanmış kapak fotoğrafı gözükebilmektedir. Bu da izleyicilerin hangi kapak fotoğraflarına kaç saniye baktıklarını analiz etmeleri sonucunda olmaktadır. Böylece Netflix her bir farklı izleyiciye aynı içerik için farklı videolar, afişler, fragmanlar hazırlayabilmekte ve onların ilgisini çok daha kolay çekebilmektedir. Üstelik bunu yaparken büyük veri, veri analitiği, algoritmalar gibi önseziye dayanmayan sayısallaştırılmış kaynaklardan yararlanmaktadır [53].

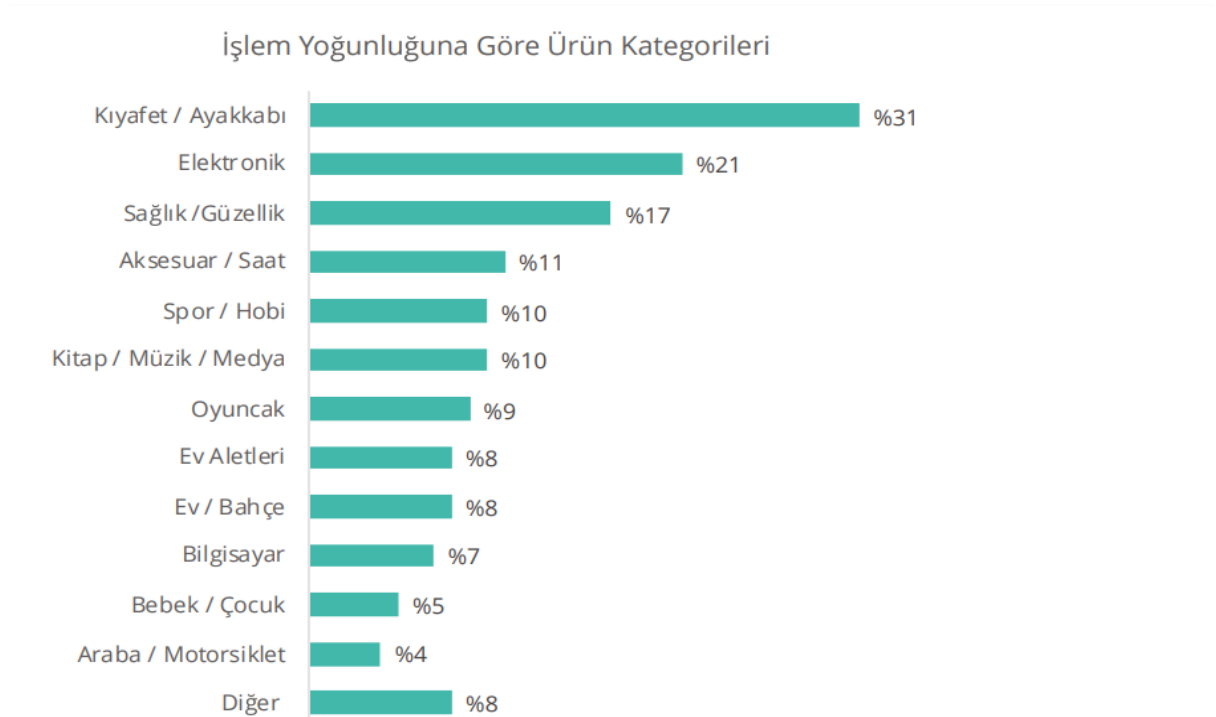
Dijital teknolojiler yalnızca dizi film yapımcılarına değil, bizzat filmlerin ve dizilerin kendilerine de ilham olabilmektedir. Senaryolarında birçok Endüstri 4.0 araçlarının (robotların, yapay zekanın) işlendiği filmler hem izleyiciler tarafından ilgi görmekte hem de insanoğluna gelecek hakkında fikirler vermektedir. Yapay zekanın anlatıldığı ya da içinde yapay zekayı barındıran filmler bir insanlık eleştirisi olarak görülmekte ve insanın eksikliğini bildiği, yetişemediği, eremediği ama mutlaka ulaşmak istediği özelemlerinden ortaya çıktığı vurgulanmaktadır. A.I. Rising, Her, Ex Machina, Transcendence, iHuman ve I, Robot gibi filmler yapay zekanın konu alındığı filmler arasında örnek gösterilebilir [76].

TripAdvisor gibi müşteri şikayetlerinin yer aldığı web siteleri de Endüstri 4.0 teknolojilerinden yararlanan bir başka iletişim örneğini oluşturmaktadır. TripAdvisor gibi yaşanan deneyimlerin paylaşıldığı sitelerde müşterilerin davranışlarını kestirmek, yazılanlardan anlamlı sonuçlar çıkarmak fazlasıyla önem taşımaktadır. İşletmeler kendileri hakkında ne konuşulduğunu, bu konuşulanların yüzde kaçının olumlu olduğunu bilmek zorundadır. Bu yüzden veri madenciliği yöntemlerinden biri olan “metin madenciliği” yöntemini kullanarak metin üzerinden sayısallaştırılmış veri elde edebilmekte ve şikâyetlerin daha çok hangi konular üzerinde yoğunlaştığını görerek buna uygun çözümler üretebilmektedir. Benzer şekilde markalar, sosyal medya hesapları üzerinden “müşteri analizleri” yapabilmekte, sitelerini ziyaret eden müşterilerin ülke, şehir, IP ve bağlanılan cihaza göre profillerini istatistiksel göstergeler şeklinde çıkarabilmekte ve kendisine bir yol haritası belirleyebilmektedir. Bu konuda Google Analytics pratik çözümler sunmaktadır. GTmetrics, Pingdom ve PageSpeed Insights, SEO (Search Engine Optimization) gibi yöntemlerle sitedeki hızı, veri boyutunu, sitenin görünürlüğü ve hata kaynaklarını optimize etmek mümkündür. Ayrıca sosyal medyada kullanılan #hashtag (konu etiketi) sayesinde kişiler, aynı başlığa ilgi duyan diğerleriyle ortak paydada buluşabilmekte ve Endüstri 4.0 kavramının önemle üzerinde durduğu “bağlı olma” koşulunu yerine getirmektedir [53].

Ş. MÜZİK

Bu çalışmada birçok sektörün dijitale entegre olduğu ve dijital teknolojilerden yararlandığı vurgulanmaktadır. Ancak, müzik sektörü dijital olarak doğan sektörler arasında sayılmaktadır. Dijital doğan hizmetler, dijital ürünlerin, içerik ya da hizmetlerin (görsel-ışitsel medya içeriği, SaaS hizmetler vb.) internet üzerinden tüketicilere genellikle anlık talebe yönelik (on-demand) ya da abonelik bazlı

(subscription) sunulması olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma uygun olarak Spotify, Apple Channels, Amazon Music, Fizy gibi doğrudan internet üzerinden müzik indirme ve müzik akışı (stream) hizmetleri örnek olarak verilebilir [60]. 2023 yılına kadar kullanıcı sayısının 1 milyar 234 milyon civarı olması beklenen dijital müzik hizmeti endüstrisinin çoğunluğunu 25-34 yaş arası kullanıcılar oluşturmakta, bu grubu ise 18-24 yaş arası kullanıcılar takip etmektedir. Dijital müzik pazarı küresel olarak incelendiğinde “streaming” gelirlerinde %60,4 oranında bir büyüme görülmektedir. Ayrıca 2016 yılında müzik pazar payından elde edilen gelirlerin %50’sini dijital müzik hizmetleri sağlamıştır [77]. ABD’de dijital müzik sektöründe kişi başı harcama 2018 yılında 44 \$ iken, bu rakamın 2022 yılında 50 \$’a yükseleceği tahmin edilmektedir. Amazon Prime Music, Apple Music, Spotify, Deezer, iHeartRadio, Pandora, SoundCloud ve Tidal, stream hizmetlerinde öne çıkan örneklerdir. Spotify özellikle genç kullanıcılar arasında daha yaygın kullanılmakta olup 2017’de kullanıcılarının %38’ini 12-24 yaş arasındakiler oluşturmuştur. Amerika’daki kullanıcıların %41’i müzik dinlemeye harcadığı zaman diliminde stream hizmetlerini kullanmaktadır [78]. Hedefli içeriklerin kullanıcılara önerilmesiyle yetinmeyen platformlar kişiselleştirilmiş içerik üretimine daha çok yatırım yapmaktadır. Youtube sık dinlenen müzik listesini hafızasına alarak kullanıcıya otomatik çalma listesi oluşturmaktadır.



Şekil 14. Dünyada sınır ötesi e-ticaret işlemlerinde en çok tercih edilen kategoriler

Tablo 1. Yapay zekâ ile ilgili yapılmış gündelik alanlara ilişkin çalışmalar.

SAĞLIK, TIP, DIŞÇILIK	
Ertürk (2021)	Acil Serviste Yapay Zekâ Kullanımı
Kunt, Karaca, Erbil ve Akpınar (2021)	Acil Tıp ve Yapay Zekâ
Sayın, Salman, Aksoy ve Köse (2021)	EKG Sinyallerini Kullanarak Kalp Ritimlerinin Yapay Zekâ ile Sınıflandırılması
Alıcılar ve Çöl (2021)	Halk Sağlığında Yapay Zekanın Kullanımı
Akalın ve Veranyurt (2020)	Sağlıkta Dijitalleşme ve Yapay Zekâ
Yılmaz ve Ölçer (2020)	Yapay Zekanın Cerrahi Uygulamalara Entegrasyonu
Uzun (2020)	Yapay Zekâ ve Sağlık Uygulamaları
Büyük ve Hatal (2019)	Ortodontide Yapay Zekâ ve Makine Öğrenimi
Serhatlıoğlu ve Hardalaç (2009)	Yapay Zekâ Teknolojisi ve Radyolojiye Uygulanması
KÜLTÜR-SANAT	
Göral (2021)	Sinemanın Yapay Zekaya Bakışı
Uzun, Akkuzu ve Kayırcı (2021)	Yapay Zekanın Kültür ve Sanatla İlişkisi
Artut (2019)	Yapay Zekâ Olgusunun Güncel Sanat Çalışmalarındaki Açılımları
Aslan (2019)	Yapay Zekâ Resimleri ve Sanatın Başkalaşan Mecrası Üzerine
DİLBİLİM, ÇEVİRİ VE EĞİTİM	
Savaş (2021)	Yapay Zekâ ve Eğitimde Yenilikçi Uygulamalar
İşler ve Kılıç (2021)	Eğitimde Yapay Zekâ Kullanımı ve Gelişimi
Aslan ve İlhan (2021)	Müze Eğitiminde Yapay Zekanın İleriye Dönük Avantajları
Aslan (2020)	Eğitimde Yapay Zekâ ve Uygulamaları
Konig (1994)	Dilbilim ve Yapay Zekâ
Kuşçu (2015)	Çeviride Yapay Zekâ Uygulamaları
HUKUK	
Kağıtçıoğlu (2021)	Yapay Zekâ ve İdare Hukuku
Yılmaz (2021)	Yargı Uygulamasında Yapay Zekâ Kullanımı: Yapay Zekâ Hâkim Cübbesini Giyebilecek mi?
Turan, Kemaloğlu ve Küçüksille (2020)	Hukukta Yapay Zekâ: Çalışmalar ve Gelecek Öngörülleri
PAZARLAMA, YÖNETİM, TURİZM	
İyigün (2021)	Yapay Zekâ ve Stratejik Yönetim
Aylak, Oral ve Yazıcı (2021)	Yapay Zekâ ve Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Lojistik Sektöründe Kullanımı

Tablo 1 (devam). Yapay zekâ ile ilgili yapılmış gündelik alanlara ilişkin çalışmalar.

Kılıç Kırılmaz ve Ateş (2021)	İşe Alımlarda Yapay Zekâ Kullanımı: Kavramsal Bir Değerlendirme
Uzan ve Sevimli (2020)	Gastronomideki Robotik Uygulamalar ve Yapay Zekâ
Ercan (2020)	Turizm Pazarlamasında Yapay Zekâ Teknolojilerinin Kullanımı ve Uygulama Örnekleri
MUHASEBE-FİNANSMAN VE VERGİ UYGULAMALARI	
Avcı (2021)	Vergi Tahsilatında Yapay Zekanın Kullanımı
Arda ve Küçükkoçoğlu (2021)	Yapay Zekâ Yöntemleri ile Hisse Senedi Fiyat Öngörülleri
Ucoğlu (2020)	Yapay Zekâ Teknolojisinin Muhasebe Mesleğine ve Eğitime Etkileri
Yardımcıoğlu ve Şitak (2020)	Yapay Zekâ Teknolojisinin Muhasebe Alanına Yansımaları: Literatür İncelemesi
Tas ve Mert (2019)	Denetimde Yapay Zekâ Uygulaması
DİĞER ALANLAR	
Yağanoğlu ve Irmak (2021)	Yapay Zekâ Teknikleri ile Gelen e-Postaların Ayrıştırılması
Yıldız, Başkurt ve Süzen (2021)	İnsan Yürüyüşünün Yapay Zekâ ile Sınıflandırılması: Sistematik Bir Gözden Geçirme
İlıcak ve Çinko (2021)	Yapay Zekanın Yarattığı Masal: Prenses ile Tilki
Atasoy, Efe ve Tural (2021)	Sporda Yapay Zekâ Yönetimine Doğru
Kara (2020)	Gemilerde Yapay Zekâ Kullanımı ve Buna Dair Hukuki Sorunlar
Şeker (2020)	Yapay Zekâ Tekniklerinin/ Uygulamalarının Siber Savunmada Kullanımı
Bütüner (2020)	Yapay Zekâ Yöntemleri ile Bebek Seslerinin Tahmin Edilmesi
Aksoy, Halis ve Salman (2020)	Elma Bitkisindeki Hastalıkların Yapay Zekâ Yöntemleri ile Tespiti ve Yapay Zekâ Yöntemlerinin Performanslarının Karşılaştırılması
Turgut, Temir, Aksoy ve Özsoy (2019)	Yapay Zekâ Yöntemleri ile Hava Sıcaklığı Tahmini İçin Sistem Tasarımı ve Uygulaması
Akıllı ve Atıl (2014)	Süt Sığırcılığında Yapay Zekâ Teknolojisi: Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları
Uygunoğlu ve Yurtçu (2006)	Yapay Zekâ Tekniklerinin İnşaat Mühendisliği Problemlerinde Kullanımı
Tuzcuoğlu (2003)	Yapay Zekâ Kavramları, Depremde Kullanılması ve Küme Kuramları

Tablo 1, Endüstri 4.0 teknolojilerinden biri olan yapay zekanın gündelik hayatın her alanında nasıl kullanıldığına dair somut çalışmaları özetlemektedir. Bu çalışmalar arasında en dikkat çekici olanları, yapay zekâ aracılığı ile yeni bir masal geliştirilebilmiş olması, tarımda elma bitkisindeki hastalıkların tespit edilebilmesi, hayvancılıkta süt sığırcılığında kullanılması ve insan yürüyüşünün yine yapay zekâ

yöntemleri ile sınıflandırılmasıdır. Bu alanlar dışında, eğitim, sağlık, dışçılık, acil tıp, cerrahi müdahaleler, sanat ve kültür, sinema, spor, finans ve bankacılık, vergi uygulamaları, muhasebe, turizm, gastronomi, pazarlama, insan kaynakları, jeoloji/jeofizik, hukuk, ulusal güvenlik, dilbilim/çeviri, stratejik yönetim, mühendislik uygulamaları gibi pek çok alanda yapay zekanın rekabet avantajı ve üstünlük sağlayıcı avantajlarından yararlanılmaktadır. Endüstri 4.0 teknolojilerinin tümüne ilişkin örnek çalışmalar vermek çalışmanın uzunluğunu arttıracığından en çarpıcı alan olan yapay zekâ seçilerek bu alanda yapılmış akademik çalışmalar ve kapsadığı alanlar örnek olarak sunulmuştur.

IV. SONUÇ

Bu makale çalışması, dördüncü endüstriyel devrim olarak adlandırılan Endüstri 4.0 teknolojilerinin kapsayıcılığını ve sınırsızlığını ortaya koymak amacıyla somut örnekler üzerinden kurgulanmıştır. Örneklerle anlatılan konunun ‘konu hakkında uzman olmayan’ kişiler tarafından da kolayca anlaşılabilirliği düşünülmektedir. Teknoloji kavramının gerekliliği herkesçe kabul edilmesine ve hiçbir direnç gösterilmeksizin faydalı olacağına inanılmasına rağmen pratikte halen temkinli yaklaşıldığı, işletmelerin teknolojik araçlar hakkında çekimser davrandığı bilinmektedir. Bu makalenin yazarları tarafından bunun nedenlerinden birisi, konunun akademik düzeyde ele alınması, kavramların anlaşılması, teknik ve karmaşık bir dille ifade edilmesi olarak görülmektedir. Bu yüzden de Erol ve arkadaşları [44] “Endüstri 4.0’ın “ulaşılabilir” vizyonunu atölye düzeyine indirebilecek pragmatik düşünürlere ve aktörlere ihtiyaç vardır” diyerek konunun tabandan da anlaşılması gerektiğini vurgulamışlardır. 4.0 teknolojilerini işletme düzeyinde uygulayabilecek kalifiye personel eksikliği ve bu teknolojilerin yüksek finansal çaba gerektirmesi, kavramın benimsenmesinin önündeki engeller olarak sayılabilir. Ancak, daha da önemlisi dördüncü sanayi devrimi araçlarının müşteri ilişkileri yönetiminden, satış geliştirmeye, halkla ilişkilerden tutundurma çalışmalarına [79] varıncaya kadar gündelik hayatın her alanında kullanılabilir potansiyelinin olması ve bunun yalın, basit, sade bir dille atölye düzeyinde çalışan tabana anlatılması gerektiğidir. Bu makale çalışmasının temel çıktılarında biri, teknolojik araçların hangi alanlarda nasıl kullanılabilirliğine dair somut örnekler içermesi, okuyucuya bu teknolojiler hakkındaki ön yargısının yersiz olduğunun ve gündelik hayatın en önemsiz ve köşede kalmış alanlarının bile 4.0 teknolojileriyle doldurulabileceğinin gösterilmesidir. Örneklerle anlatılan konunun zihinlerde daha fazla yer etmesi ve konuya daha ılımlı, iyimser ve iş birlikçi yaklaşılması umulmaktadır.

Daniel Lattier’in 2017 yılında yazdığı “Profesörler kimsenin okumadığı makaleleri yazıyor” adlı makalesinde çalışmaların birçoğunun akademi içindeki kişiler tarafından bile okunmadığını, ele alınan konuların önemsenmediğini söylemektedir. Daniel Lattier yazılan makalelerin açık erişimli platformlarda yer alsa bile uzun olmalarından ve kullandıkları anlaşılabilir üsluptan dolayı okunmalarının zorlaştığını vurgulamaktadır [80]. Bu durumu ortadan kaldırmak ve Endüstri 4.0 kavramını işçi, çırak ve kalfa gibi üretimde çalışan kişilerin anlamasını sağlamak amacıyla konu örneklerle ifade edilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın temel önerisi ilköğretim ve lise yıllarından itibaren potansiyel genç çalışma adaylarına kavramın tanıtılması, fırsat ve avantajlarının açıkça anlatılmasıdır. Aynı şekilde üniversitelerde konuya daha fazla yer ayrılması, seminer, çalıştay gibi eğitim etkinliklerinin düzenlenmesi sunulacak öneriler arasında sayılabilir. Ancak en mühimi işletme sahip ve yöneticileri ile alt düzeyde çalışan işçilere Endüstri 4.0’ın taşıdığı potansiyellerin sade, yalın ve anlaşılır bir dille ifade edilmesidir. Bu konuda geniş kapsamlı bir proje yapılıp, alt ve orta düzeyde çalışan işçilerin Endüstri 4.0 teknolojileri hakkındaki korkuları, çekinceleri, endişeleri, kavrama olan bakış açıları, kullanma niyetleri öğrenilebilir. Çünkü bazen kavramlara olan direncimiz kavramı tam olarak anlayamadığımızdan kaynaklanabilmektedir. Bu bakımdan yeni teknolojik araçlar hakkındaki yetersiz bilginiz, bu araçların kullanımı konusundaki niyetimizi de olumsuz etkileyebilir. Öncelikle dördüncü endüstriyel gelişmenin tanımı, özellikleri, kullanım alanları, sağladığı faydalar, işletmeye kazandıracığı avantajlar ve işçilerin kendilerini bu araçlar sayesinde nasıl geliştirebileceğini gösteren somut örnekler anlatılarak kavrama olan yakınlık hissi geliştirilebilir. Bunu yaparken videolardan, somut örneklerden, gündelik hayatın basit dilinden yararlanılabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] D. Günaydın, “Türkiye’de dördüncü sanayi devrimini beklerken: Çerkezköy Organize Sanayi Bölgesi’nde bir araştırma”, *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, c. 29, s. 85, ss. 73-106, 2018.
- [2] K. Yılmaz, Awareness Analysis of Industry 4.0, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2018.
- [3] D. Çevik, “KOBİ’lerde Sanayi 4.0’ın uygulanabilirliği ve yönetici bakış açılarının değerlendirilmesi”, *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi*, c. 4, s. 2, ss. 277-291, 2019
- [4] D. Karademir, E. Öztürk and K.H. Koç, “Industry 4.0 awareness in furniture enterprises: case study of Ordu and Giresun”, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, c. 4, s.4, ss. 666-673, 2019.
- [5] A. Moeuf, R. Pellerin, S. Lamouri, S. Tamayo-Giraldo and R. Barbaray, “The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0”, *International Journal of Production Research*, vol.56, no. 3, pp.1118-1136, 2017
- [6] M. Mazur, G. Urban, T. Saczek, M. Starzyk, A. Kerekes and A. Szabo (Marc, 2020). PwC CEE Transport & Logistics Trend Book 2019. [Online]. Available: <https://www.pwc.pl/pl/pdf/publikacje/2018/transport-logistics-trendbook-2019-en.pdf>.
- [7] H. Kaya (2021). Dijital Dönüşüm ve Ulaştırma – Lojistik Sektörü, Çakırel, Y. (Ed.) İçinde Dijital Dönüşümün Sektörel Analizleri (ss.407-419), Ankara: Nobel Yayınevi
- [8] V. Carlan, C. Sys, T. Vanelslander and A. Rouboutsos, Digital innovation in the port sector, *Competition and Regulation in Network Industries*, vol. 18, no.1-2, pp. 71-93, 2017
- [9] F. Pallottino, L. Hakola, C. Costa, F. Antonucci, S. Figorilli, A. Seisto and P. Menesatti, “Printing on Food or Food Printing: a Review”. *Food Bioprocess Technol*, no. 9, pp.725-733, 2016
- [10] J. Sun, Z. Peng, W. Zhou, J.Y.H. Fuh, G.S. Hong and A. Chiu, “A Review On 3D Printing For Customized Food Fabrication”. *Procedia Manufacturing*, no.1, pp.308-319, 2015b
- [11] L. Giosa, B. Hanson, P. Lam, C. Lecko, C. Leigh, A. Nagy, A.M. Namasivayam, W.V. Nascimento, I. Odendaal, C.H. Smith, H. Wang, C.M. Steele, W.A. Alsanei, S. Ayanikalath, C.E.A. Barbon, J. Chen, J.A.Y. Cichero, K. Coutts, R.O. Dantas ve J. Duivestein, “The Influence of food texture and liquid consistency modification on swallowing physiology and function: A systematic review”, *Dysphagia*, vol. 30, no. 1, pp. 2-26, 2014
- [12] F.C. Godoi, S. Prakash and B.R. Bhandari, “Review, 3D Printing Technologies Applied For Food Design: Status And Prospects”, *Journal of Food Engineering*, no.179, pp. 44-54, 2016
- [13] T. Vialva, (2019). Redefine Meat Raises \$6 Million To Advance Food 3d Printing Technology. [Online]. Available: <https://3dprintingindustry.Com/News/Redefine-Meat-Raises-6-Million-To-Advance-Food-3d-Printing-Technology-161580/>
- [14] A. Iannicelli (2020). Legendary Vish: The 3D Printed Vegan Salmon. [Online]. Available: <https://www.Thepatent.News/2020/08/20/Legendary-Vish-3d-Printed-Vegan-Salmon/>

- [15] A. Zoran, E.A. Gonzalez and A.B. Mizrahi, Cooking with computers: the vision of digital gastronomy. In *Gastronomy and Food Science* (pp. 35-53). Academic Press, 2021
- [16] I. Ricci, A. Derossi and C. Severini, 3D Printed Food From Fruits And Vegetables. *Fundamentals of 3D Food Printing And Applications*, Academic Press, pp.117-149, 2019
- [17] A. Can, (2017). Canlı Mönü, Hürriyet Gazetesi. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/canli-monu-40585465>
- [18] E. Yıldırım, Geleneksel Fonksiyonların Dönüşümünde Artırılmış Gerçeklik, Tunç, A.Ö., Yurder, Y. & Samioğlu, M. (Eds), İçinde İşletmeciliği Yeniden Düşünmek (ss.33-60), İstanbul: Türkmen Kitapevi, 2021
- [19] M. Mizrahi, A. Golan, A.B. Mizrahi, R. Gruber, A.Z. Lachnise ve A. Zoran, Digital gastronomy: Methods & recipes for hybrid cooking. In *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, ss. 541-552, 2016
- [20] H.M. Öztürk, Teknolojik gelişmeler ve gastronomi alanına yansımaları: gastronomi 4.0. *Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi*, c. 4, s.2, ss. 222-239, 2020
- [21] N.K. Karabıyık Yerden, B. Değerli, M. Uydacı ve İ.E. Tuncay, “deneyimsel pazarlamada gastronomi turizmi açısından artırılmış gerçeklik uygulaması kullanımının deneyim değeri üzerine etkisi: artırılmış gerçeklik menü uygulaması üzerine bir araştırma”, *Beykoz Akademi Dergisi*, c. 8, s. 1, ss.174-193, 2020.
- [22] Retail Türkiye, (2019). Dijitalden süpermarket alışverişine büyük yatırım: İstegelsin. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.retailturkiye.com/genel-haberler/dijitalden-supermarket-alisverisine-buyuk-yatirim-istegelsin>.
- [23] D. Ryan, *Dijital Pazarlama*, İstanbul: Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, 2016
- [24] C. Parlakay (2017). Pazarlama ve Reklam Dünyasında Endüstri 4.0 Bizi Nasıl Etkiliyor? [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ceylanparlakay.com/2017/03/27/pazarlama-ve-reklam-dunyasinda-endustri-4-0-bizi-nasil-etkiliyor/>
- [25] C. Üçhisarlı, (2019). Pazarlamasyon: Gerçek hayvanlar yerine hologramların oynatıldığı sirk. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://pazarlamasyon.com/gercek-hayvanlar-yerine-hologramlarin-oynatildigi-sirk/>
- [26] İ. İlhan, Tekstil üretim süreçleri açısından endüstri 4.0 kavramı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 25, s. 7, ss. 810-823, 2018
- [27] G. Gökçe, S. Göncü ve S. Bozkurt, “Endüstri 4.0 ve Hayvancılık”, *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 3, ss. 21-26, 2020
- [28] B. Aksoy, H.D. Halis ve O.K.M. Salman, “Elma bitkisindeki hastalıkların yapay zekâ yöntemleri ile tespiti ve yapay zekâ yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması”, *International Journal of Engineering and Innovative Research*, c. 2, s. 3, ss. 194-210, 2020

- [29] G. Ürüm, (2016). Ağ bağlantılı oyuncaklar dünyanın gündeminde, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://dijitalmedyavecocuk.bilgi.edu.tr/2016/12/26/ag-baglantili-oyuncaklar-dunyanin-gundeminde/>
- [30] BBC News Türkçe (2020a). Oyuncak ayıdan hemşire olur mu? [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.bbc.com/turkce/haberler/2016/07/160708_oyuncak_ayi_cocuk
- [31] Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu (2020). "Oyuncakların Dijitalleşmesi: IoT Tabanlı Yeni Nesil Oyuncaklar", [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.endustri40.com/oyuncaklarin-dijitallesmesi-iot-tabanlı-yeni-nesil-akilli-oyuncaklar/>
- [32] Y. Wang, H.-S. Ma, J.-H. Yang and K.-S. Wang, "Industry 4.0: a way from mass customization to mass personalization production", *Advances in Manufacturing*, vol. 5, no. 4, pp. 311-320, 2017.
- [33] BBC News Türkçe (2014). Pazarlamacılar tüketici 'cebinden' seçiyor, [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.bbc.com/turkce/haberler/2014/06/140617_pazarlama_telefon.
- [34] R. O'Sullivan, (2015). "What is Programmatic Marketing, Buying and Advertising" [Online]. Available: <https://www.stateofdigital.com/what-is-programmatic-marketing-buying-and-advertising/>
- [35] E. Yıldırım, Tüketicinin Postmodernizmle değişen rolü: online ürün kişiselleştirmesi üzerine bir uygulama, *CBÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, c.17, s.2, ss.219-240, 2019
- [36] M. Gezer, (2018). Endüstri 4.0 ile Müşteri Deneyimi, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.brandingturkiye.com/endustri-4-0-ile-musteri-deneyimi/>
- [37] İ. Telatar, (2020). Perakende sektörünün dijital dönüşümü, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.endustri40.com/perakende-sektorunun-dijital-donusumu/>
- [38] Accenture Türkiye Dijitalleşme Endeksi (2021). [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.researchgate.net/publication/313676852_Accenture_Turkiye_Dijitallesme_Endeksi
- [39] M. Elibol, (2021). Modern Teknolojilerin Perakende Sektörüne Etkileri, Internet of Things Türkiye, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ioturkiye.com/2021/06/modern-teknolojilerin-perakende-sektorune-etkileri/>
- [40] H. Mohelska and M. Sokolova, Management approaches for Industry 4.0: The organizational culture perspective. *Technological and Economic Development of Economy*, c. 24, s. 6, ss. 2225–2240, 2018
- [41] B. Dworschak and H. Zaiser, Competences for cyber-physical systems in manufacturing – first findings and scenarios. *Procedia CIRP*, vol. 25, pp. 3–8, 2014
- [42] R. David, J. Stahre, T. Wuest, O. Noran, P. Bernus, A. Fast-Berglund and D. Gorecky, Towards an operator 4.0 typology: A humancentric perspective on the fourth industrial revolution technologies, *Proceedings of International Conference on Computers & Industrial Engineering CIE*, no. 46, pp. 1–11, 2016
- [43] E. Laudante, Industry 4.0, Innovation and Design: A new approach for ergonomic analysis in manufacturing system, *The Design Journal*, vol. 20, no. 1, pp. 2724-2734, 2017

- [44] S. Erol, A. Jager, P. Hold, K. Ott and W. Sihn, “Tangible Industry 4.0: A scenario based approach to learning for the future of production”. *Procedia CIRP*, no. 54, pp. 13-18, 2016.
- [45] D. Gorecky, M. Schmitt, M. Loskyll and D. Zuehlke, “Human Machine Interaction in the Industry 4.0 Era”, 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto Alegre, Brazil., 2014.
- [46] S. Kılıç Kırılmaz ve Ç. Ateş, İşe Alımlarda Yapay Zekâ Kullanımı: Kavramsal Bir Değerlendirme. *Journal of Business and Trade*, c. 1, s. 2, ss.37-48, 2021
- [47] A.K. Upadhyay and K. Khandelwal, “Applying artificial intelligence: implications for recruitment”. *Strategic HR Review*, vol. 17, no. 5, pp.255-258, 2018
- [48] G.H. Zorlu, M.G. Öztürk and A.M. Köseoğlu, Inventory Control Methods In Companies By Using Industry 4.0. *PressAcademia Procedia*, vol. 7,pp. 348-351, 2018
- [49] Perakende.org (2017). “Kuşakların mobilya tercihleri belli oldu”, [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.perakende.org/gundem/kusaklarin-mobilya-tercihleri-belli-oldu-342806123h.html>
- [50] E. Öztürk ve K.H. Koç Endüstri 4.0 ve Mobilya Endüstrisi, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 786-794, 2017
- [51] E. Berksun, Sanayide Endüstri 4.0 Süreçleri: Çorum sanayisinde bir uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çorum, Türkiye, 2018.
- [52] S. Açık Taşar ve Ö. Demir, Bulut bilişimin muhasebe mesleği üzerindeki etkileri, *ANEMON Muş Alparşan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 8, ss. 51-57, 2020.
- [53] Y. Yıldırım, Industry 4.0, Marketing and Value Triplication, Ayhan, F. (Ed.), İçinde Several Dimensions of Innovation, Technology and Industry 4.0 (pp.127-141) Berlin: Peter Lang Publication, 2019
- [54] BBC News (2020). Güney Koreli anne 2016’da ölen kızıyla sanal gerçeklikte buluştu [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-51447691>.
- [55] R. Strange and A. Zucchella, Industry 4.0: Global value chains and international business. *Multinational Business Review*, vol. 25, no.3, pp. 1-14, 2017
- [56] A. Mazak and C. Huemer, A standards framework for value networks in the context of Industry 4.0, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 6-9 December, Singapore, pp. 1342–1346, 2015
- [57] K. Witkowski, Internet of Things, Big Data, Industry 4.0: Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management, 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management, *Procedia Engineering*, vol.182, no.2017, pp. 763-769, 2017
- [58] O. Ungerman, J. Dedkova and K. Gurinova, The Impact of Marketing Innovation on the Competitiveness of Enterprises in the Context of Industry 4.0, *Journal of Competitiveness*, vol. 10, no.2, pp. 132-148, 2018

- [59] S. Wang, J. Wan, D. Zhang, D. Li and C. Zhang, Towards smart factory for industry 4.0, *Computer Networks, Elsevier*, vol. 10, no.1, pp. 158–168, 2016
- [60] Deloitte Digital & TÜSİAD (2019). E-Ticaretin Gelişimi, Sınırların Aşılması ve Yeni Normlar [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tusiad.org.tr/tr/images/pdf/dd-tusiad-eticaret-raporu-2019.pdf>
- [61] C. Liu, (2017). Eveything You Need to Know About Alipay and WeChat Pay [Online]. Available: <https://charliecliu.medium.com/everything-you-need-to-know-about-alipay-and-wechat-pay-2e5e6686d6dc>.
- [62] Z. Mesci, Yenilik ve Turizm, Yıldırım, Y. (Ed.), İçinde Yenilik Yönetiminde Multi-Disipliner Yaklaşımlar (ss.203-229), Ankara: Nobel Yayıncılık, 2020
- [63] D. Kutukız ve A. Uslu, Otel İşletmelerinde Yenilik Uygulamaları, M. Mesci & Ö. Bozkurt (Eds.), İçinde, Otel İşletmelerinde Yenilik Yönetimi (ss.191-203), İzmir: Sidas Yayınevi, 2013
- [64] H. Karadılı, Yenilik ve Sağlık, Yıldırım, Y. (Ed.), İçinde Yenilik Yönetiminde Multi-Disipliner Yaklaşımlar (ss.175-199), Ankara: Nobel Yayıncılık, 2020
- [65] S. Kosir, (2015). Top 15 Wearables in Healthcare. [Online]. Available: <https://www.wearable-technologies.com/2015/04/wearables-in-healthcare/>
- [66] D. Öztürk, (2017). Göz Tansiyonunu Ölçebilen Kontakt Lens Üretildi [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.tekdozdijital.com/goz-tansiyonu-olcebilen-kontakt-lens.html>
- [67] S. Karabatak, Teknoloji Temelli Sınıf Yönetimi, Karabatak, S., Alanoğlu, M., Atik, S. (Editörler), İçinde Yeni Nesil Sınıflar ve Yönetimi (ss.356-389), Anı Yayıncılık: Ankara, 2021
- [68] MEB. (2015). Eğitimde Yeni EBA ve Etkileşimli Sınıf Yönetimi. TC. Millî Eğitim Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.meb.gov.tr/egitimde-yeni-eba-ve-etkilesimli-sinif-yonetimi/haber/9567/tr>
- [69] Web Eğitim Araçları. (2016). Web 2.0 Teknolojisi. Eğitimde Yeni Araçlar, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.webegitimaraclari.com/web-2-0-teknolojisi/>
- [70] T. Sarıtaş, T. ve N. Üner, Eğitimdeki yenilikçi teknolojiler: Bulut teknolojisi. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, c. 2, s. 3, ss.192-201, 2013
- [71] S. Gökoğlu, Çevrimiçi Sınıfların Yönetimi, Karabatak, S., Alanoğlu, M., Atik, S. (Editörler), İçinde Yeni Nesil Sınıflar ve Yönetimi (ss.356-389), Anı Yayıncılık: Ankara, 2021
- [72] E. Karahan ve S. Canbazoğlu Bilici, Use of QR Codes in Science Education: Science Teachers' Opinions and Suggestions, *Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 11, no.1, pp. 443-457, 2017
- [73] G. Arıksoy, (2016). Endüstri 4.0: Akıllı Fabrikaların Akıllı Güvenliği, Harvard Business Review Dergisi [Çevrimiçi]. Erişim: <https://hbrturkiye.com/blog/endustri-4-0-akilli-fabrikalarin-akilli-guvenligi>






- [74] Y. Karaağaç, Wikileaks Belgeleri Işığında CIA ve Ortam Dinlemesi. *Ekonomi, Yönetim ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 3, s. 2, ss.89-98, 2018
- [75] BBC News Türkçe (2021). Pandora Belgeleri: Dünya Liderlerinin Gizli Servetleri ve Anlaşmaları Ortaya Çıktı, [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-58784081>
- [76] B. Göral, Sinemanın Yapay Zekaya Bakışı, *TRT Akademi*, c. 6, s.13, ss. 919-929, 2021
- [77] Statista (2021a). Streaming Drives Global Music Industry Resurgence, [Online]. Available: <https://www.statista.com/chart/4713/global-recorded-music-industry-revenues/> adresinden erişildi.
- [78] Statista (2021b). Digital Media Worldwide [Online]. Available: <https://www.statista.com/outlook/200/100/digital-media/worldwide>
- [79] N. Gümüş ve Ö. Çark, The Effect of Customers' Attitudes Towards Chatbots on their Experience and Behavioural Intention in Turkey", *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, vol.19, no. 3, ss. 420-436, 2021.
- [80] D. Lattier, (2017). What Professors Are Writing... No One is Reading [Online]. Available: <https://theimaginativeconservative.org/2017/01/professors-writing-no-one-reading-daniel-lattier.html>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

S-SBR (Solution Stiren Bütadien Kauçuk) Bazlı Kauçuk Karışımlarına Farklı Karbon Siyahlarının Etkisi

 Gasim ALTUNDAL ^{a*},  Tuğçe GÖRMÜŞER ^a,  Metin Kuru ^a,  Esra Çetin ^a,  İlyas UYGUR ^b

^a *Anlas Anadolu Lastik AŞ., Düzce, TÜRKİYE*

^b *Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gasim.altundal@anlas.com.tr

DOI:10.29130/dubited.1056168

Öz

Lastik endüstrisinde ya da diğer kauçuk sektörlerinde kullanımı yüksek elastomer malzemeler stiren bütadien kauçuk (SBR) ve doğal kauçuklardır (NR). Bu çalışmada, S-SBR (solution-stiren bütadien kauçuk) ve ASTM standardına göre adlandırılan farklı gradelerdeki karbon siyahları ile reçeteler hazırlandı ve hazırlanan reçetelerin reolojik ve fizikomekaniksel davranışları araştırıldı. S-SBR miktarı sabit tutularak (137,5phr) karbon siyahlarından N220, N234, N326, N330, N375, N550, N660, N772 gradeleri 80phr olarak kullanılmış 8 reçete hazırlanmıştır. Yapılan testlerin sonucunda; karbon siyahlarının tanecik yapılarının farklı olması ile karışımların reolojik ve mekaniksel değerleri incelenmiş, tanecik boyutunun ve kümeleme (aggregate) yapısına sahip olmasının belirgin şekilde değerleri etkilediği değerlendirilmiştir. Farklı yapılarıdaki karbon siyahlarının S-SBR bazlı reçetelerde etkilerinin karbon yapısı, yüzey alanı, kümeleme yapılarının yoğunluğuna göre değiştiği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Solution-Stiren Bütadien Kauçuk, Karbon siyahı, Karbon siyahı yapısı, Kümeleme,*

Effect of Different Carbon Blacks on S-SBR (Solution Styrene Butadiene Rubber) Based Rubber Mixtures

ABSTRACT

The elastomer materials used in the tire industry or other rubber sectors are styrene butadiene rubber (SBR) and natural rubber (NR) rubbers. In this study, recipes will be prepared with S-SBR (solution-styrene butadiene rubber) and carbon blacks of different grades named according to the ASTM standard, and the rheological and physico-mechanical behaviors of the prepared recipes will be investigated. By keeping the amount of S-SBR constant (137.5phr), 8 recipes were prepared using carbon black grades N220, N234, N326, N330, N375, N550, N660, N772 as 80phr. As a result of the tests; the rheological and mechanical values of the mixtures were examined due to the different particle structures of the carbon blacks, and it was evaluated that the particle size and the presence of aggregate significantly affected the values. It has been understood that the effects of carbon blacks in different structures in S-SBR based recipes vary according to the carbon structure, surface area, and density of aggregate structures.

Keywords: *Solution-Styrene Butadiene Rubber, Carbon black, Carbon black structure, Aggregate,*

I. GİRİŞ

Kauçuk; bazı bitkilerin sütümsü öz suyundan doğal halde ya da petrol ve alkolün bileşimlerinden suni olarak elde edilen bir malzemedir. Kauçuk türü malzemeler, günlük yaşamın içinde her alanda yer almış vazgeçilmez bir mühendislik malzemesidir [1]. Birçok polimerlere fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla katkı maddeleri katılır. Kauçuk karışımlarının temel bileşenleri; kauçuklar, takviye edici dolgular, pişirici sistem, yaşlanma önleyiciler ve proses yardımcılarıdır [2].

Stiren Bütadien Kauçuğu (SBR), bir tür suni kauçuk olup, stiren ve bütadien monomerlerinin polimerizasyonu ile elde edilmektedir. Polimerizasyon, reaksiyonun tipine, kullanılan başlatıcıların, emülgatörlerin, ayarlayıcıların ve durdurucuların cinsine ve dönüşüm derecesine bağlı olarak değişmektedir. Bunun sonucunda elde edilen polimerin özellikleri de farklılıklar göstermektedir. Polimer zinciri stiren ve bütadien monomerlerinin gelişmiş güzel karışımıdır. Bu yapı kauçuk özellikleri vermekle birlikte düzensiz olduğundan kristallenme de önlenmektedir. Bu durum SBR kauçukların değişik birçok alanda kullanılmasını sağlamaktadır. Stiren bütadien kauçuklar emülsiyon ve çözelti polimerizasyonu ile üretilebilmektedir. SBR kauçuk üretim prosesine göre E(Emulsion)-SBR ve S(Solution)-SBR olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [3].

Solution-stiren bütadien kauçuk (S-SBR) çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Lastik, ayakkabı, konveyör bantlar, halılar, hortumlar ve yapıştırıcılar gibi ürünleri içermektedir. S-SBR, stiren ve vinil monomerlerinin çeşitli miktarlarda anyonik polimerizasyonu ile elde edilmektedir. S-SBR, kauçuk ürünlerden yüksek performans lastiklerinin karışım hamurlarında silika ve karbon siyahıyla kullanıldığında lastiğin ıslak ve kuru yol tutuşu sırasında harika bir balans ayarı, yuvarlanma direnci elde edilir. S-SBR genellikle yüksek kaliteli teknik kauçuk ürünlerin üretimi için kullanılır. Bilindiği üzere, reçetelerde kullanılan doğal kauçuğun miktarı azalır iken S-SBR motosiklet lastiklerinin performansını güçlendirmektedir [4]. S-SBR içeriği stiren ve bütadien polimerleri yanı sıra vinil içeriği de önemlidir. Bu yüzden proses içerisindeki miktarı yuvarlanma direncini de direkt etkilemektedir. Sürücüler araçlarının lastiklerinde kar, ıslak veya kuru şartlarda sürüş gerçekleştirdiğinde performans kaybetmek istemezler. S-SBR tüm sezonlarda kullanılabilen bir polimerdir. Yüksek vinil içeriğinden düşük vinil içeriğine kadar birçok farklı S-SBR fonksiyonel polimeri mevcuttur [5].

Dolgu maddeleri, siyah ve beyaz dolgu maddeleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Siyah dolgu maddeleri karbon siyahlarıdır. Beyaz dolgu maddeleri ise kalsiyum karbonat, silika, kil, talk, çinko oksit gibi dolgulardır [6]. Dolgu maddeleri kauçuklar ve plastikler içerisinde farklı amaç için kullanılabilirler. Güçlendirici dolgu maddeleri kauçuk içerisine eklendiği zaman, hamurun kopma dayanımı yüksek oranda artar. Özellikle sentetik kauçuklar için güçlendirici dolgu maddeleri çok önemlidir. Dolgusuz sentetik kauçuk ile hazırlanan hamurun kopma dayanımı dolgusuz doğal kauçuk ile hazırlanan hamur ile karşılaştırmayacak kadar küçüktür [7].

Tane büyüklüğü, dolgu maddesinin kauçuğu kuvvetlendirmesi açısından en önemli parametredir. Tane büyüklüğü küçüldükçe, kauçuğu kuvvetlendirme özelliği artmaktadır. Dolgu maddelerinin yüzey alanı, tane büyüklüğü ile ilgilidir. Tane büyüklüğü küçüldükçe, yüzey alanı artmaktadır [8]. Dolgu maddelerinin kuvvetlendirme bakımından kauçuğun özelliklerine etkileri, başlıca iki özelliğinin ölçülmesi ile izlenmektedir. Bunlar, kopma dayanımı ve modulus değerleridir [9].

Karbon siyahı, asetilen gazı, doğal gaz ya da muhtelif yağların düşük oksijenli ortamda yakılması sonucu elde edilen bir karbon türüdür. Karbon siyahları, karbon siyahını oluşturan taneciklerin büyüklüğüne göre sınıflandırılmaktadır. Kauçuk sektöründe kullanılan ve güçlendirme etkisi olan karbon siyahlarının tanecik büyüklüğü 1-100 nm arasında değişmektedir. Karbon siyahı başta kauçuk, plastik ve boya olmak üzere çok geniş alanda kullanılmaktadır. Kauçuk sanayinde en çok kullanılan karbon siyahlarının tanecik büyüklüklerine göre sınıflandırılması Tablo.1' de verilmiştir. Karbon siyahları, üretim şekillerine göre fırın siyahları, kanal siyahları ve termal siyahlar olarak sınıflandırılmaktadır. Kauçuk içerisinde en çok kullanılan karbon siyahları, fırın siyahlarıdır. Fırın

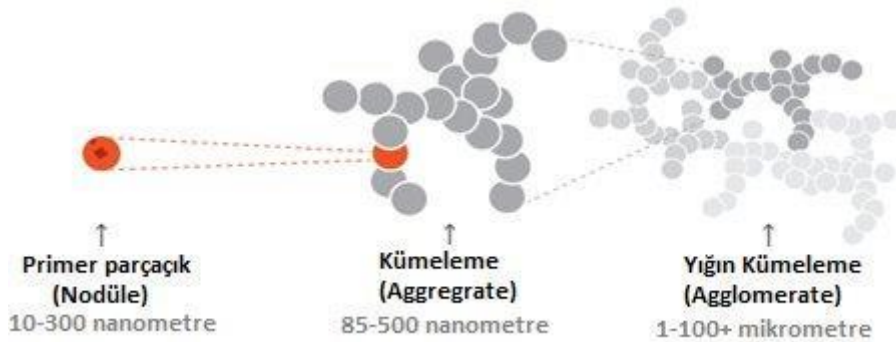
siyahlarının tanecik boyutları 18-85 nm arasındadır. Ön ısıtmadan geçen hidrokarbonların kısıtlı oksijen içeren fırınlarda 1200-1600 °C sıcaklıkta yakılması ile elde edilirler. En çok bilinen tipleri SAF, ISAF, FEF, GPF ve SRF'tir. En çok kullanılan fırın siyahları Tablo.1 'de verilmiştir [3, 10, 15].

Tablo 1. Bazı karbon siyahlarının özellikleri ve adlandırılması.

ASTM	İsmi	Özelliği	Tane büyüklüğü (nm)	Yüzey alanı (m ² /g)
N 110	SAF	Üstün aşınma	11-19	121-150
N 115	SAF	Üstün aşınma	11-19	121-150
N 220	ISAF	Yüksek aşınma	20-25	100-120
N 234	ISAF	Yüksek aşınma	20-25	100-120
N 326	HAF	Yüksek aşınma	26-30	70-99
N 330	HAF	Yüksek aşınma	26-30	70-99
N 440	FF	İnce Fırın Siyahı	31-39	50-69
N 539	FEF	Hızlı Ekstrüzyon Siyahı	40-48	40-49
N 550	FEF	Hızlı Ekstrüzyon Siyahı	40-48	40-49
N 650	GPF	Genel amaçlı Siyahlar	49-60	33-39
N 660	GPF	Genel amaçlı Siyahlar	49-60	33-39
N 762	SRF	Yarı kuvvetlendirici siyahlar	61-100	21-32
N 772	SRF	Yarı kuvvetlendirici siyahlar	61-100	21-32

Tablo.1'de görüldüğü gibi tanecik büyüklüğü arttıkça yüzey alanı azalmaktadır. Bu durumun lastik hamurlarında güçlendirme etkisi oldukça belirgindir. Güçlendirici özelliği en fazla olan karbon siyahı türü N110 olmasına rağmen, lastik sanayinde kullanımı oldukça sınırlıdır. Bunun en önemli sebebi, bu karbon siyahının hamurun içerisinde homojen şekilde dağılımı ve işlenme zorluğudur. N220 ve N330 karbon siyahları otomobil lastiğinin sırt ve yanak kısımlarında kullanılırken, N550 iyi ekstrüzyon özelliğinden dolayı kord ve tel kaplama hamuru yapımında kullanılır. N660 ve N762 genel amaçlı karbon siyahlarıdır [6, 11].

Karbon siyahları 10 ile 90 nm çapındaki küresel yapıların karmaşık bir şekilde diziliminden meydana gelmiş bir yapıdır. Atomik kuvvet mikroskobu kullanılarak elde edilen sonuçlar doğrultusunda, karbon siyahlarının temel parçacığı "primer parçacıklar" denen yapılardır. *Primer parçacıkların* (nodüles) kimyasal olarak birleşmesi sonucu oluşmuş yapılara *kümeleme*(aggregate) denir. Birçok kümelemeler birleşerek oluşturduğu zayıf, büyük boyutlu yapılara *yığın kümelemesi*(agglomerate) denir. Karbon siyahlarının güçlendirici (reinforcing) kabiliyeti kümelemelerin yapılarına bağlıdır, yani kümelemeler karbon siyahlarına güçlendirici özellik kazandıran en küçük yapı taşlarıdır [12]. Tipik karbon siyahı formları Şekil.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. Primer parçacık, kümeleme ve yığın kümelemesi formları [13]

Karbon siyahlarının güçlendirici karakteri kümelemeler hem yapılarına hem de boyutuna bağlı olduğundan ve nihai ürünün performansına doğrudan etkisi bulunduğundan ASTM tarafından

sınıflandırılması yapılmıştır. Her karbon siyahı 4 çeşit karakter koduna göre sınıflandırılmıştır, N_{xyz} . N nin anlamı “normal curing” yani vulkanizasyon sırasında meydana gelen kimyasal olaylara etkisi yoktur anlamındadır, xyz ise karbon siyahının güçlendirici karakteri ile alakalıdır. X temel parçacıkların ortalama tanecik büyüklüğü hakkındaki bilgiyi verir ve yüzey alanı ile ters orantılıdır, yz ise kümelemelerin yapıları ile alakalıdır ve ne kadar büyük ise kümelemelerin de karmaşık ve dallanmış yapıda olduğunu gösterir yani yz sayısı büyük olan karbon siyahlarının güçlendirici karakteri daha iyi olur [13].

II. MALZEME ve YÖNTEM

A. TASARLANAN REÇETELER

A.1. Tasarlanan Reçete Formülasyonları

Anlas Lastik fabrikası Ar-Ge laboratuvarlarında hazırlanan reçete dizaynlarında kauçuk türü olarak Tablo.2’de özellikleri belirtilen Solution-stiren bütadien kauçuk kullanılmıştır.

Tablo 2. S-SBR özellikleri

Özellik	Değer
Mooney Viskozite (<i>MU</i>)	50
Vinyl miktarı (%)	44,5
Styrene miktarı (%)	26
Uçucular (%)	Max. 0,75
Yağ miktarı (%)	27,5

Güçlendirici ve renklendirici dolgu malzemesi olarak Tablo.3’de ASTM özellikleri belirtilen 8 farklı karbon siyahı kullanılmıştır. Proses kolaylaştırıcı olarak proses yağlarından TDAE (Vivatec 500) kullanılmıştır. Bu malzemelere ilave olarak koruyucu, proses yardımcısı, hızlandırıcı ve pişirici grubu kimyasallar kullanılmıştır.

Tablo 3. Kullanılan karbon siyahlarının ASTM özellikleri

ASTM	N-220	N-234	N-326	N-330	N-375	N-550	N-660	N-772
NSA (<i>m²/g</i>)	114	119	78	78	93	40	35	32
STSA (<i>m²/g</i>)	106	112	76	75	91	39	34	30
Iodine (<i>mg/g</i>)	121	120	82	82	90	43	36	30
OAN (DBPA) (<i>ml/100g</i>)	114	125	72	102	114	121	90	65
COAN (24M4) (<i>ml/100g</i>)	98	102	68	88	96	85	74	59
Pour Density (<i>kg/m³</i>)	355	320	455	380	345	360	440	520

Reçete formülasyonları 8 farklı karbon karası aynı oranda kullanılmak üzere; S-SBR, proses yağları ve diğer kimyasallarda aynı oranda kullanılmıştır. Hazırlanan formülasyonlar Tablo.4’de phr (Parts Per Hundred Rubber) cinsinden verilmiştir.

Tablo 4. Reçete formülasyonları

Hammadde (phr)	K220	K234	K326	K330	K375	K550	K660	K772
S-SBR	137,5	137,5	137,5	137,5	137,5	137,5	137,5	137,5
N220	80,0	-	-	-	-	-	-	-
N234	-	80,0	-	-	-	-	-	-
N326	-	-	80,0	-	-	-	-	-
N330	-	-	-	80,0	-	-	-	-
N375	-	-	-	-	80,0	-	-	-
N550	-	-	-	-	-	80,0	-	-
N660	-	-	-	-	-	-	80,0	-
N772	-	-	-	-	-	-	-	80,0
Proses yağı	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Çinko Oksit	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Çinko Stearat	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Koruyucular	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Proses yardımcıları	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Reçineler	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kükürt	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Hızlandırıcılar	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

A.2. Reçete Formülasyonlarını Hazırlama Prosesi

İki kademe hazırlanan reçetelerde; ana kademe ve son kademe hamurlarının hazırlanmasında açık karıştırıcı olan roll-mill kullanılmıştır. Ana kademe kauçuklar, dolgular, proses yağları, antidegradantlar, aktivatörler eklenerek karıştırma işlemi yapılmıştır. Son kademe ise pişiriciler adı verilen kimyasal grubu (vulkanizasyon sağlayan kimyasallar ve hızlandırıcılar) ana kademe hamuruna katılarak son haline getirilir. Reçete formülasyonlarını hazırlama süreci Tablo.5'de verilmiştir.

Tablo 5. Formülasyon hazırlama süreci

Ana kademe	Süre (dk)
Kauçuk (S-SBR)	0
Dolgu maddeleri + Kimyasallar + Proses yağları	3,5- 4,0
Mill boşalt	15 – 17,5
Son kademe	Süre (dk)
Ana kademe karışımı	0
Pişiriciler	3,0 – 3,5
Mill boşalt	7,0 – 8,5

Hazırlanan reçetelerin reolojik özellikleri için reometre testleri (Moving Die Rheometer, MDR), EKTRON MDR 2000S ile ASTM D5289 standardına göre 195 °C'de 5 dakika olarak yapılmıştır. [16] Numuneler iki ısıtılmış levha arasında sıkıştırılmış izotermal koşullar altında sinüzoidal olarak değişen strese maruz bırakılmıştır. Mooney Scorch (SC) testleri, EKTRON MV 2001M cihazı ile ASTM D1646 standardına göre 135 °C'de yapılmıştır. Karışımların fizikomekanik testleri 170 °C'de 15 dakika preste pişirilerek hazırlanan plakadan papyon numuneler kesilerek ASTM D412'ye göre Hounsfield H5KS Tensometre cihazı ile yapılmıştır. Sertlik testi ise ASTM D2240'a göre Mitutoyo Shoremetre cihazı ile (Shore A cinsinden) yapılmıştır.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

A. MOVİNG DİE REOMETER ANALİZİ (MDR)

MDR testi hamurların viskozite, pişmeye başlama ve pişirme süresi hakkında bilgi vermektedir. Viskozite ve t_{s2} değerleri, pişirme öncesi proseslerdeki işleme bilgisini verdiği gibi t_{90} değeri de pişirme sisteminde ne kadar kalması gerektiğinin bilgisini vermektedir. Bu nedenle kauçuk sektöründe en çok kullanılan ve yararlanılan test parametreleridir. Hazırlanan karışım hamurlarının MDR analizleri sonucunda elde edilen değerler Tablo.6'de verilmiştir. MDR testindeki; minimum tork (ML) değeri en yüksek 1,56 dNm N220 kullanılan reçetede, en düşük 0,47 dNm ise N772 kullanılan reçetede ölçülmüştür. En yüksek maximum tork değeri (MH) 8,4dNm N234 kullanılan reçetede iken, N772 kullanılan reçetede en düşük 4,57 dNm değeri ölçülmüştür. MH-ML farkı, polimer malzeme içerisindeki çapraz bağlanma derecesini gösterir [14]. En yüksek MH-ML farkı N234 karbon siyahlı numunede, en düşük fark ise N772 karbon siyahlı numunede görülmüştür. En yüksek t_{s2} değeri (1:29) N772, en düşük (1:01) ise N234 reçetesinde ölçülmüştür. En yüksek t_{90} değeri (3:37) N220 kullanılan reçetede, en düşük (3:15) ise N326 kullanılan reçetede ölçülmüştür.

Tablo 6. MDR test sonuçları

Parametre	K220	K234	K326	K330	K375	K550	K660	K772
ML (dNm)	1,56	1,53	0,86	0,98	1,07	0,55	0,52	0,47
MH (dNm)	6,6	8,4	6,51	6,84	7,79	5,74	5,16	4,57
MH-ML	5,04	6,87	5,65	5,86	6,72	5,19	4,64	4,1
t_{s2} (dk:sn)	01:22	01:01	01:08	01:12	00:57	01:25	01:25	01:29
t_{90} (dk:sn)	03:37	03:21	03:15	03:23	03:16	03:31	03:25	03:20

B. MOONEY SCORCH ANALİZİ (SC)

Viskozite değerleri karışım hamurunun proses edilebilirliği ve hamurun sertlik-yumuşaklık değerleri hakkında bilgi vermektedir. Mooney Scorch (SC) cihazı ile 135 °C de ölçülen viskozite ve t_s değerleri Tablo 7'de verilmiştir. ML değeri en yüksek N234 kullanılan reçetede ölçülürken, en düşük değer ise N772 kullanılan reçetede ölçülmüştür. En yüksek t_s değeri (46:33) N772 kullanılan reçetede, en düşük değer (24,05) ise N375 kullanılan reçetede ölçülmüştür. Genel olarak her iki değerde, artan tane boyutu ile değişmiştir.

Tablo 7. Karışımların ML ve t_s değerlerinin grafikleri.

Parametre	K220	K234	K326	K330	K375	K550	K660	K772	
Mooney Scorch	ML (MU)	27,02	30,08	19,66	23,05	23,91	20,56	16,88	14,83
	t_s (dk:sn)	37:10	27:41	32:32	31:19	24:05	42:58	39:47	46:33

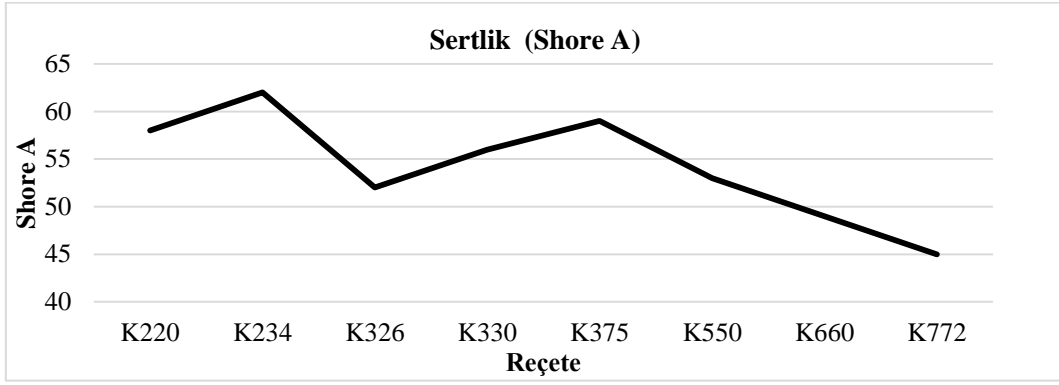
C. FİZİKOMEKANİK TEST ANALİZLERİ

Fizikomekaniksel testler, karışım hamurlarının çalışma ortamında beklenen performanslarının değerlendirildiği testlerdir. Kopma mukavemeti, karışımın kopması için gerekli kuvveti hakkında fikir verirken, uzama yüzdesi ile kopma noktasına kadar ne derece uzadığı hakkında fikir vermektedir. %300 Modulus değeri de numunenin 3 katına uzaması için gerekli kuvveti göstermektedir. Tablo.8'de fizikomekaniksel testlerin sonuçlarına yer verilmiştir. Kopma mukavemeti en yüksek (161kg/cm²) N234 kullanılan reçetede ölçülürken, en düşük (92kg/cm²) N772 kullanılan reçetede ölçülmüştür. N220 kullanılan karışım en fazla (%753) uzarken, N550 en az (%614) uzama göstermiştir. En yüksek

modulus değeri (54 kg/cm^2) N234 de ölçülürken, N772 de en düşük (29 kg/cm^2) değer ölçülmüştür. Çalışılan karışımlara ait sertlik değerleri Şekil.2' de gösterilmiştir. En sert karışım N234 tane boyutlu reçetede (54 Shore A), en yumuşak karışım ise N772 tane boyutlu karışımda elde edilmiştir. Kompozit malzemeyi oluşturan kimyasal bileşen, partikül tane boyutu ve hacimsel oranı malzemenin mekanik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir [15].

Tablo 8. Fizikomekanik test sonuçları

Parametre	K220	K234	K326	K330	K375	K550	K660	K772
Kopma mukavemeti (kg/cm^2)	135	161	128	131	150	102,6	110	92
Uzama (%)	753	650	737	638	676	614	679	708
%300 Modulus (kg/cm^2)	33	53	32	47	54	50	42,5	29
Sertlik (Shore A)	58	62	52	56	59	53	49	45



Şekil 2. Farklı karışımlara ait S-SBR numunelerinin sertlik değerleri

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada; S-SBR kauçuk bazlı reçete formülasyonunda 8 farklı karbon siyahı denenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Reolojik testler, karışımın işlendiği ekstruder, kalender gibi proseslere uygunluğu ve pişirme preslerinde uygun süreyi belirlemek için önemli parametrelerdir. Genel olarak baktığımızda, tanecik büyüklüğü arttıkça ML ve MH değerlerinde azalma, t_{s2} ve t_{90} parametrelerinde birbirine yakın değerler ölçülmüştür.
2. Mooney Scorch değerleri karbon siyahı tane boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Küçük tane boyutunda sahip karbonla daha akışkan özellikler gösterirken tam tersi etki en büyük tane boyutlu numunede elde edilmiştir.
3. Genel olarak, karbon siyahının tanecik boyutu arttıkça kopma, uzama, elastik modulus ve sertlik değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. N234, N326, N375, N772 gibi kümeleme yapıları karbonlar diğerlerine göre farklı etkiler göstermiştir.
4. Literatür kısmında Tablo 1'de bahsedilen aşınma dayanıklılığı gibi özelliklerden de faydalanılarak hedef ürün için gerekli karbon seçimi ve miktar ayarlaması yapılarak reçete oluşturulabilir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada kullanılan numuneler ve tüm deneyler ANLAS lastik fabrikasında yapılmıştır.

VI.KAYNAKLAR

- [1] V.Vahapoğlu, "Kauçuk türü malzemeler: sınıflandırma," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, ss.25-34,2013.
- [2] V. Deniz ve B. Karaağaç, "Lastik karışımlarında çinko bileşiklerinin ve yüksek aromatik içerikli yağların azaltılması," *Kauçuk Dergisi*, ss. 38-41, 2012.
- [3] H. Ö. Savran, *Elastomer Teknolojisi-2*, Kadıköy-İstanbul: Kauçuk Derneği Yayınları, 2001.
- [4] K. Pal, S. K. Pal, C. K. Das ve J. K. Kim, (2015, Dec 29). (*Elastomeric nanocomposites for tyre applications*,) [Online]. Available: <https://documents.pub/document/elastomeric-nanocomposites-for-tyre.html?page=1>
- [5] M. T. L. Janice, "Effect of sSBR composition, functionality on tire tread compound performance characteristics," *Rubber World*, vol. 256, no. 6, pp. 35-48, 2017.
- [6] H. Ö. Savran, *Elastomer Teknolojisi-1*, Kadıköy-İstanbul: Kauçuk Derneği Yayınları, 2001.
- [7] B. Rodgers, "Rubber Compounding," in *Chemistry and Applications*, 1st ed., Akron, Ohio,USA: The Goodyear&Rubber Company, 2004, pp. 131-420.
- [8] M. Edge, N. S. Allen, R. G. Sanchez, C. M. Liauw, S. J. Read and R. B. Whitehouse "The influence of cure and carbonblack on the high temperature oxidation of natural rubber I. Correlation of physico-chemical changes," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 64, no. 2, pp. 197-205, 1999.
- [9] S. S. Choi, C. Nah , S. Lee and C. Joo , "Effect of filler-filler interaction on rheological behaviour of natural rubber compounds filled with both carbon black and silica," *Polymer Int.*, vol. 52, no.1 p. 23-28, 2003.
- [10] M. J. Forrest, "Rubber Analysis-Polymer, Compounds and Products," in *Rapra Reweiv Reports*, 1st ed., vol. 12, New York, USA: Smithers Rapra Technology, 2001, pp. 12-50
- [11] P.A. Ciullo, "The Rubber Formulary," in *PDL Handbook Series*, 1st ed, New York, USA: Noyes Publications/ William Andrew Publishing, 1999, pp.10-43.
- [12] ICBA, (2021, Dec 29). [Online]. Available: <https://www.carbon-black.org/physical-properties>.
- [13] Continental Carbon, (2021, Dec 29). [Online]. Available: http://www.continentalcarbon.com/pdfs/What_Is_Carbon_Black.pdf.
- [14] X. Gong, H. Yin, M. Zhang ve Z. Lin, "Effects of in-situ reactive phenolic resin on shape memory performance of polynorbornene," *Journal of Applications Polymer Science*, vol. 138, no. 14, pp. 50143, 2020.
- [15] I. Uygur ve H. Saruhan, "Aluminyum esaslı Metal Matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 8, ss. 167-174, 2004.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Gaz Tungsten Ark Kaynaklı 10 mm Kalınlığındaki AISI 316L Bağlantıların İçyapı ve Mekanik Karakterizasyonu

 H. Tarık SERİNDAG^a,  Gürel ÇAM^{b*}

^a Havaçılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, Havaçılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun-Hatay, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun-Hatay, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gurel.cam@iste.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.1015580

ÖZ

Östenitik paslanmaz çelikler, düşük sıcaklıklarda bile çok iyi şekillendirilebilirlik, iyi mekanik özellikler ve yüksek korozyon direnci gibi özelliklere sahiptir. Bunun sonucu, tüm paslanmaz çelikler içerisinde en fazla üretilen ve kullanılan türdür. Ancak bu çeliklerin kaynağında birçok problem söz konusudur. Bunların başında, krom karbür oluşumu sonucu ısıdan etkilenmiş bölgede korozyon direncinin düşmesi gelmektedir. Bu çalışma, gaz tungsten ark kaynağı yöntemi ile AISI 316L levhalarda kaynak hatası içermeyen bağlantıların üretilmesini amaçlamaktadır. Bu amaca yönelik, 10 mm kalınlığında AISI 316L levhalar, 2,4 mm çapında ER316L dolgu teli kullanılarak beş pasoda kaynaklanmıştır. Elde edilen kaynaklı levhanın mikroyapısal ve mekanik özelliklerini araştırmak ve karakterize etmek için çekme testi yanında detaylı optik mikroskop çalışmaları ve mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çok pasolu kaynağın mikroyapısal değişim üzerindeki etkisi ve dolayısıyla üretilen bağlantının mekanik davranışını nasıl etkilediği de araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, kaynak bölgesinde herhangi bir hata gözlenmemiş olup, kaynaklı bağlantının çekme mukavemeti ve uzama açısından sırası ile %104 ve %58 lik bir kaynak performansı sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca, ergime bölgesinde ve ısıdan etkilenen bölgede sertlik artışı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Östenitik paslanmaz çelik, 316L, Isı girdisi, Karbür çökmesi, Sıcak çatlama, Kaynak performansı

Microstructural and Mechanical Characterization of Gas Tungsten Arc Welded 10 mm Thick AISI 316L Joints

ABSTRACT

Austenitic stainless steels possess properties such as very good formability, good mechanical properties and high corrosion resistance even at low temperatures. As a result, it is the most produced and most widely used type among all stainless steels. However, there are many problems in welding of these steels. The most common of these problems is the decrease in corrosion resistance in the heat-affected zone as a result of the formation of chromium carbide. This study aims to produce defect-free joints in AISI 316L plates by gas tungsten arc welding method. For this purpose, 10 mm thick AISI 316L plates were welded in five passes using 2.4 mm diameter ER316L filler wire. In order to investigate and characterize the microstructural and mechanical properties of the welded plate, detailed optical microscopy studies and microhardness measurements were conducted as well as tensile testing. The effect of multi-pass welding on microstructural evolution and in turn on the mechanical behavior of the joint fabricated was also investigated. As a result of the study, no defects were observed in the weld region, and it was determined that the welded joint exhibited a weld performance of 104% and 58%, in

1873

terms of tensile strength and elongation, respectively. In addition, an increase in hardness was observed in the fusion zone and the heat affected zone.

Keywords: Austenitic stainless steel, 316L, Heat input, Carbide participation, Hot crack, Welding performance

I. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, bünyelerinde en az %12 Cr bulunan ve yüksek korozyon direncine sahip çeliklerdir. Bu yüzden, otomotiv, denizcilik, beyaz eşya, enerji, kimya, petrokimya, gıda, tıp, havacılık ve inşaat gibi çok geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadırlar [1-5]. Östenitik paslanmaz çelikler dahil birçok paslanmaz çelikte, Cr ile birlikte yüksek oranlarda östenit fazını kararlı hale getiren Ni alaşım elementi olarak bulunur. Östenitik paslanmaz çelikler iyi korozyon direnci yanında iyi şekil verilebilirlik gibi üstün mekanik özelliklere de sahiptirler. AISI 316L tipi paslanmaz çelik tüm paslanmaz çelikler arasında bazı ortamlarda en iyi korozyon direncini gösteren türlerden biridir. Tipik uygulama alanları arasında gıda işleme, güç santralleri ve kimya endüstrisi sayılabilir. Östenitik paslanmaz çelikler ya %100 östenitik ya da çok az, yüksek sıcaklıkta oluşan, delta (δ) - ferrit içeren östenitik yapıdadır. Bu çeliklerde östenit fazı tüm sıcaklıklarda kararlıdır, dolayısıyla yüksek sıcaklıklardan hızlı soğutulurken (su verilerek) faz dönüşümü gerçekleşmez. Martenzit fazı oluşmadığı için bu çeliklerin kaynak bölgesinde sertlik artışı söz konusu değildir.

Ancak, bu çeliklerde ısıdan etkilenmiş bölgede (IEB'de) krom karbür oluşumu sonucu korozyon direncinde düşüş ve kaynak dikişinde sıcak çatlama ve gevrek sigma fazı oluşumu gibi birçok sorunla karşılaşabilmektedir. Karbon, krom ile karbür oluşturarak korozyon dayanımını düşürdüğü için özellikle kaynak konstrüksiyonda kullanılan türlerinde düşük tutulmaktadır. L kaliteleri, üretildiği standartlara bağlı olarak en fazla %0.03 nominal karbon seviyesine sahip düşük karbonlu varyantları temsil etmektedir [6,7]. Örneğin AISI 304L ve 316L düşük karbon içerikleri sayesinde krom karbür oluşumu gerçekleşmediğinden kaynak gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Ancak, düşük C içerikli östenitik paslanmaz çelik türlerinde bile kaynak sonrası kaynak dikişinin korozyon direnci düşebilmektedir. Örneğin, Dadfar ve ark. [8] da, otojen gaz tungsten ark kaynağı (GTAK) yöntemiyle birleştirilmiş AISI 316L bağlantıların korozyon davranışını incelemiş ve ergime bölgesinde delta fazı oluşumunun ve mikro segregasyon sonucu oluşan Cr-miktarı düşük bölgelerin korozyon performansını azalttığını gözlemlemiştir. Ayrıca, kaynak sonrası çözeltiye alma ısıl işleminin, kaynaklı AISI 316L bağlantının korozyon direncini arttırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca, 304, 316 ve 347 bazı östenitik paslanmaz çeliklerde kaynak dikişinde sıcak çatlama duyarlılığı azaltmak için içyapıda östenite ilaveten %3-10 arasında delta ferrit fazı oluşturulur. Ancak, 304L ve 316L tipi östenitik paslanmaz çeliklerde S, P, Si ve N gibi düşük ergime noktalı ötektik oluşturan elementlerin varlığı kaynak dikişinde sıcak çatlama problemini artırabilmektedir. Özellikle, C, N, Cr, Ni ve Si miktarlarındaki çok az bir artış bile sıcak çatlama problemini artırabilmektedir [7]. Dolayısıyla, kaynaklı konstrüksiyonda kullanım için bu elementlerin düşük olduğu türler tercih edilmelidir. Örneğin, James ve ark. [9] ER309L ilave tel kullanılarak GTAK yöntemiyle kaynak edilmiş çatlama dayanıklı olarak bilinen AISI 304L levhaların ergime bölgesinde dendritler arası (interdendritic) sıcak çatlama oluştuğunu gözlemlemiştir. Ayrıca, Mo miktarı AISI 316 dahil östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon performansında belirleyici bir role sahiptir [10,11]. AISI 316 paslanmaz çelikte Mo bulunması korozyon performansını ve mukavemeti artırırken, kaynak dikişinde Mo miktarının yüksek olması korozyon direncini düşürmektedir [10,12]. Ayrıca, sıcak çatlama önleyen uygun dolgu malzemeleri geliştirilmiş olmasına rağmen, dolgu malzemesinin ana malzemedeki yüksek miktarda östenit tarafından seyreltilmediği özellikle kaynaklı bağlantıların kök bölgesinde sorunlar hala ortaya çıkmaktadır.

Karbon miktarı yüksek olan östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağındaki en önemli sorunların başında daha önce bahsedildiği gibi IEB'de krom karbür çökmesi sonucu paslanmazlık özelliğinin kaybı gelmektedir. Nitekim, Somervuori ve ark. [13] nokta kaynaklı AISI 304 ve 301LN östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak çekirdeği etrafında Cr-miktarı azalmış bölgelerin korozyon davranışını olumsuz

etkilediğini açıkça göstermiştir. Ayrıca, birçok araştırmacı [14,15] 316L östenitik paslanmaz çeliğin kaynağı sonrası krom karbür çökmesi oluşmasa bile kaynak dikişinde oluşan delta ferrit fazının klorür ortamında korozyon performansını olumsuz etkilediğini de rapor etmişlerdir.

Daha önce değinildiği gibi tamamen östenitik yapıdaki paslanmaz çelikler, ergitme kaynağında sıcak çatlamaya daha duyarlıdır. Genel olarak, sıcak çatlama sorununu önlemek için ergime bölgesindeki delta-ferrit içeriğinin %3-10 aralığında tutulması tavsiye edilmektedir [1,2]. Daha yüksek miktarlarda delta ferrit, faz dönüşümü nedeniyle ergime bölgesini yüksek sıcaklıklara daha duyarlı hale getirir [1,16]. Örneğin, delta ferrit miktarının çatlamaya etkisini göstermek için Kim et al. [17], Cr_{es}/Ni_{es} oranının 316L paslanmaz çelik bağlantılarının mikroyapısal değişiklikleri ve mekanik davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yüksek Cr_{es}/Ni_{es} oranlarının AISI 316L bağlantılarının mikro yapısını önemli ölçüde etkilediğini ve delta ferrit miktarı ağırlıkça %3'ün altında olduğunda çatlamının önlenemediğini gözlemlemişlerdir. İlaveten, Muthupandi ve ark. [18] süper dupleks paslanmaz çeliklerin kaynağını incelemişler ve kaynak işleminde kullanılan ısı girdisinin mümkün olduğunca düşük tutulması gerektiği sonucuna varmışlardır. Ayrıca, yüksek ısı girdilerinin σ (sigma) veya X (hi) gibi istenmeyen kırılma fazların çökmesine de yol açabileceğini iddia etmişlerdir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak işlemlerinde bir önceki paragrafta belirtildiği gibi ısı girdisi büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, ısı girdisi düşük olan kaynak yöntemlerinin seçimi önem arz etmektedir. Bu bağlamda, kaynağı güç olan düşük ergime dereceli Al alaşımları [19-27], Cu alaşımları [28-30] ve saf Pb [31] gibi malzemelerin kaynağı için geliştirilmiş olan bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) tekniği, paslanmaz çelikler dahil çelikleri birleştirmek için de potansiyel sunmaktadır [32]. Bu nedenle, son 30 yılda paslanmaz çelikler de dahil olmak üzere çeliklerin SKK ile birleştirilmesi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır [32-40]. Ancak, çeliklerin SKK esnasında maksimum sıcaklık 1000 °C'nin üzerine çıkabileceğinden ve bu sıcaklıklarda yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerden yapılmış karıştırıcı takımlar bile zaman içinde yavaş yavaş aşınabilmektedir. Bu sorun SKK yönteminin çeliklerin kaynağında geniş çaplı kullanımını engellemektedir. Diğer taraftan, bu çeliklerin birleştirilmesinde düşük ısı girdili GTAK yöntemi [17,18,41], soğuk metal transferli (CMT) gaz metal ark kaynağı (GMAK) yöntemi [21,42] ve lazer veya elektron kaynağı [43-52] gibi yüksek enerji yoğunluklu kaynak teknikleri de kullanılabilir. Lazer ve elektron kaynağı gibi yüksek güç yoğunluğuna sahip kaynak teknikleri ile östenitik paslanmaz çelikler kaynak edildiklerinde kaynak dikişinde yine dendritik bir yapı elde edilir. Ancak, düşük ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı, sonucu daha ince tane boyutu, diğer bir deyişle geleneksel ark kaynak işlemlerine kıyasla daha küçük dendrit aralığı oluşur ve dolayısıyla yüksek bağlantı mukavemetine ulaşılır [43].

Lazer kaynağı ile %0,1'den daha düşük karbon seviyelerine sahip düşük karbonlu östenitik paslanmaz çelik (300 serisi paslanmaz çelikler) levhalarda kaliteli birleştirmeler ve güvenilir kaynak performansı elde edilmektedir [44]. Örneğin, Gnanasekaran ve ark. [45] Nd:YAG lazer kaynağı ile birleştirilmiş 1.6 mm kalınlığındaki AISI 301 çelik levhaların mekanik performansını incelemiş ve kaynaklı bağlantıların çok iyi çekme özellikleri gösterdiğini rapor etmişlerdir. Bu yüksek çekme dayanımının nedeninin hızlı soğuma sonucu ergime bölgesinde delta ferrit fazı oluşması ve çok ince taneli bir yapı oluşumu olduğunu gözlemişlerdir. Benzer şekilde, Yan ve ark. [46] lazer kaynağı ve GTAK ile 3mm kalınlığındaki AISI 304 çelik levhaları kaynak yapmış ve elde ettikleri kaynaklı bağlantıların içyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Lazer kaynağı ile üretilen bağlantının, ergime bölgesinde daha küçük dendrit boyutuna sahip olduğunu ve dolayısıyla GTAK tarafından üretilen bağlantıya göre daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Yine, Çam ve ark. [47,48] 6 mm kalınlığındaki AISI 316L (1.4404) paslanmaz çelik levhaları CO₂ lazer kaynağı ile birleştirmişler ve ergime bölgesinde ince dendritik bir yapı gözlemişlerdir. Ayrıca, kaynaklı bağlantı baz levha mukavemeti düzeyinde mukavemet göstermiştir. Mohanty ve ark. [49] da 6 mm kalınlığındaki AISI 316L levhaları CO₂ lazer kaynağı ile başarılı bir şekilde kaynak yaptıklarını belirtmişlerdir. Liu ve ark. [50] da 2 mm kalınlığındaki 316L çelik levhaları fiber lazer ile kaynak etmişler ve bağlantıların iyi mekanik özellikler gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ancak, bu tartışmalardan açıkça görüleceği üzere lazer kaynağı genel olarak ince levhalarda çalışılmıştır.

Diğer taraftan, kalın östenitik paslanmaz çelik levhalarda elektron kaynağı iyi sonuç vermektedir. Örneğin, Alali ve ark. [51] 20 mm kalınlığındaki AISI 316L plakaları elektron kaynağı ile başarılı bir şekilde birleştirmiş ve kusursuz kaynaklı bağlantı elde etmişlerdir. Ancak, içyapının kaynak kesitinde heterojen olduğunu, kaynak dikişinde tabana yakın kısımda mukavemetin daha yüksek olduğunu ve genel olarak kaynak dikişi mukavemetinin baz plakadan düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde, Kumar ve ark. [52] 18 mm kalınlığındaki ASI 316 ve 316L levhaları elektron kaynağı ile birleştirmiş ve içyapının kaynak yüzeyinden tabana heterojen olduğunu gözlemişlerdir. Ayrıca, mukavemetin kaynaklı levhanın köke yakın alt kısımlarında hızlı soğumadan dolayı ince taneli bir içyapı oluştuğundan kaba taneli üst bölgelerinden daha yüksek mukavemet gösterdiğini, ancak genel olarak kaynak bölgesindeki mukavemetin baz levhadan daha düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, Xia ve ark. [53] 50 mm kalınlığında oldukça kalın AISI 316L paslanmaz çelik levhaları elektron kaynağı ile başarılı bir şekilde kaynak etmişler ve kaynak dikişinde heterojen bir içyapı oluştuğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca, kaynak dikişinde mukavemetin baz malzemeye göre düştüğünü ve çekme numunelerinin kaynak dikişi merkez çizgisi boyunca gerçekleştiğini de gözlemlemişlerdir. Kalın östenitik paslanmaz çelik levhaların kaynağındaki bu güçlükler ilaveten elektron kaynağı yöntemi çok yüksek maliyetli bir kaynak tekniği olup, bu çeliklerin kullanıldığı birçok alanda bu yüksek maliyeti nedeniyle kullanıma potansiyeli bulunmamaktadır.

Literatürde, yukarıdaki tartışmadan da anlaşılacağı üzere AISI 316L östenitik paslanmaz çelik levhaların GTAK yöntemiyle birleştirilmesi üzerine yeterli çalışma bulunmasına rağmen bu çalışmaların tamamı nispeten ince levhalar üzerine olup, özellikle de kalın (10 mm) levhaların kaynağı üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Çok değişik endüstri kollarında kullanılan AISI 316 paslanmaz çeliğin ergitme kaynağı kaçınılmazdır. Bu nedenle bu çeliklerin (özellikle kalın levhaların) birleştirilmesinde kullanılacak güvenilir kaynak prosedürlerinin geliştirilmesine hala gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada, 10 mm kalınlığında AISI 316L östenitik paslanmaz çelik levhalar 2,4 mm çapında ER 316L tipi bir dolgu teli kullanılarak 5 pasoda GTAK yöntemi ile alın kaynağı yapılmıştır. Elde edilen kaynaklı bağlantının kaynak bölgesinde oluşan içyapıların karakterizasyonu için kaynaklı bağlantıdan çıkarılan metalografi numunesinde optik mikroskop kullanılarak ayrıntılı mikro yapısal incelemeler ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin ve kaynak performansının belirlenmesi için ayrıca hem baz malzemedenden hem de kaynaklı birleştirmeden çıkarılan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur.

II. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada kullanılan 10 mm kalınlığındaki AISI 316L tipi östenitik paslanmaz çelik levhanın kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmektedir. Kaynak denemeleri için, tedarik edilen büyük 316L östenitik paslanmaz çelik levhadan 300x150 mm'lik dikdörtgen parçalar kesildi. Kesilen bu dikdörtgen parçalarda kaynaktan önce, Şekil 1'de şematik olarak gösterildiği gibi kaynak ağzı açılmıştır. Kaynak yapılacak yüzeyler birleştirme öncesi paslanmaz çelikten metal fırça ile mekanik olarak temizlenmiştir.

Daha sonra bu plakalar, TIG yöntemi olarak da bilinen gaz tungsten ark kaynağı (GTAK) işlemi ile Şekil 2'de şematik olarak gösterildiği gibi beş pasoda (kök paso, sıcak paso, iki dolgu paso ve kapak paso) kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen 2,4 mm çapında ER 316L dolgu teli kullanılarak kaynaklanmıştır. Bu dolgu çubuğu, kaynak dikişine (ergime bölgesinde) %7,7'lik bir delta-ferrit (δ -ferrit) içeriği sağladığından sıcak çatlamayı önlemek için seçilmiştir.

Kaynak işleminde her pasoda ilave tel 17,5 mm/s'lik bir hız ile beslenmiştir. Pasolar arası sıcaklık maksimum 175 °C olarak seçilmiştir. GTAK işlemi ile kaynak alanının yüzeyden korunmasına ek olarak, kaynağın köküne bir koruyucu gaz da beslenerek kaynak alt yüzeyi de korunmuştur. Kaynak işleminde kullanılan koruyucu gaz %99,97 saflıkta argondur. Kullanılan diğer kaynak parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

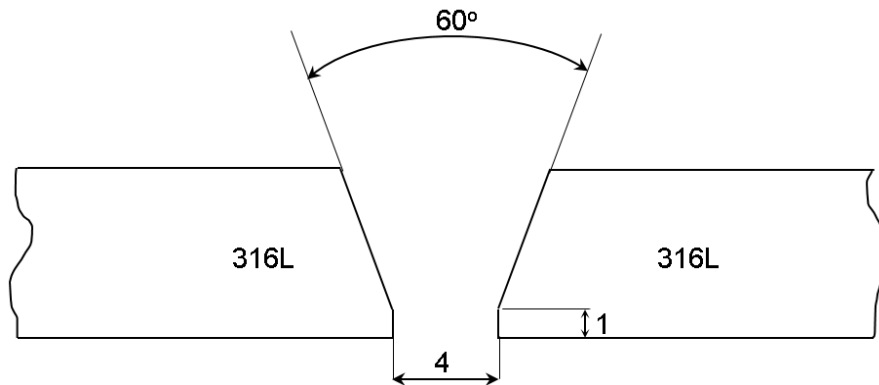
Tablo 1. Çalışmada kullanılan AISI 316L östenitik paslanmaz çelik baz levha ve dolgu telinin kimyasal kompozisyonları.

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	N	Mo	Cu
Baz Levha (AISI 316L)	0,022	0,53	1,28	16,5	10,07	0,038	0,003	0,034	2,05	--
Dolgu Teli (ER316L)	0,020	0,40	1,9	18,4	11,8	0,02	0,01	--	2,6	0,1

Kaynak işlemini takiben, bağlantının kaynak bölgesindeki mikroyapısal değişimleri ve mekanik özelliklerini araştırmak için kaynaklı bağlantıdan bir metalografi numunesi, iki eğme numunesi ve dört çekme numunesi hazırlanmıştır. Karşılaştırma amacıyla baz levhadan da ASTM A370 standardına göre dört çekme numunesi çıkarılmıştır. Metalografi numuneleri, içyapı incelemeleri için zımparalama ve parlatmanın ardından yaklaşık 15 saniye boyunca 50 ml HCl ve 150 ml HNO₃ içeren bir solüsyona daldırılarak dağlanmışır. Bu metalografi numunesi üzerinde mikrosertlik ölçümlerinin yanı sıra detaylı bir mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Şekil 3'te şematik olarak gösterildiği gibi, metalografi numunesi üzerinde API 5L standardına göre sertlik ölçümü yapılacak lokasyonlar belirlenmiş ve 10 kg'lık bir yük kullanılarak mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu çerçevede, kaynak kesitinin üst bölgesinde, merkezinde ve kök bölgesinde olmak üzere üç farklı bölgede baz levha bölgesinde toplam altı, IEB'de toplam 18 ve kaynak dikişinde toplam 9 ölçüm alınarak bu ölçüm sonuçları ile her bir bölge için ortalama sertlik değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 2. Kaynak işleminde kullanılan kaynak parametreleri (kaynakta kullanılan akım türü ve kutuplama: DAEN).

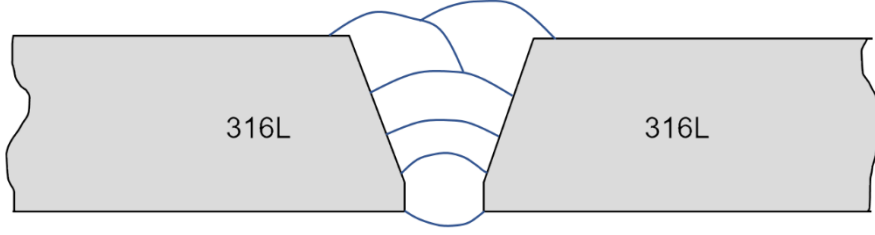
Paso Sayısı	Akım (A)	Voltaj (V)	Kaynak hızı (mm/dk)	Koruma gazı debisi (l/dk)	Kök gazı debisi (l/dk)
Kök pasosu (1) ve sıcak paso (1)	85-95	9-10	75-90	14	8
Dolgu pasosu (2)	130-145	13-14	130-145	14	8
Kapak pasosu (1)	100-125	10,5-12,5	95-105	14	8



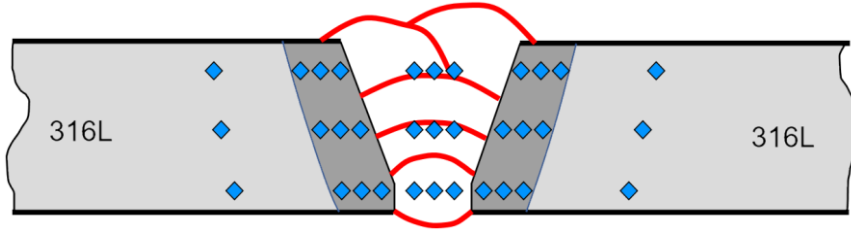
Şekil 1. Kaynak denemeleri için plakaların hazırlanması (kaynak ağızı detayları).

Kaynaklı bağlantının mekanik özellikleri, kaynaklı bağlantının mekanik performansı ve kaynak kalitesini belirlemek için hem baz levha hem de kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme test numuneleri, ISO 6892-1'e göre 0,0025 1/s'lik bir deformasyon hızı ile test edilmiştir. İlaveten, elde edilen kaynaklı

bağlantının kaynak bölgesinde çatlama olup olmadığını belirlemek için iki adet bükme numunesi de çıkarılmıştır. Bu bükme numunelerinden biri yüzey bükme durumunda, diğeri ise kök bükme konfigürasyonunda bükülmüştür. Bükme numuneleri kaynak merkezi orta konumda olacak şekilde yaklaşık 150 dereceye kadar bükülmüştür.



Şekil 2. GTAK yöntemiyle 5 pasoda yapılan kaynak işleminin şematik gösterimi.



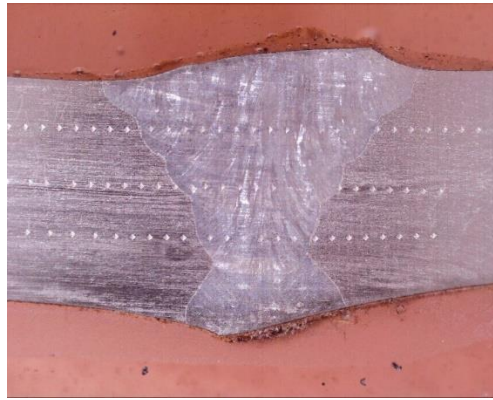
Şekil 3. Kaynak kesitinde baz levha, IEB ve ergime bölgesinde mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı noktaları gösteren şematik çizim.

III. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen bulgular aşağıda mikroyapı ve mekanik özellikler başlıkları altında iki alt bölümde tartışılacaktır.

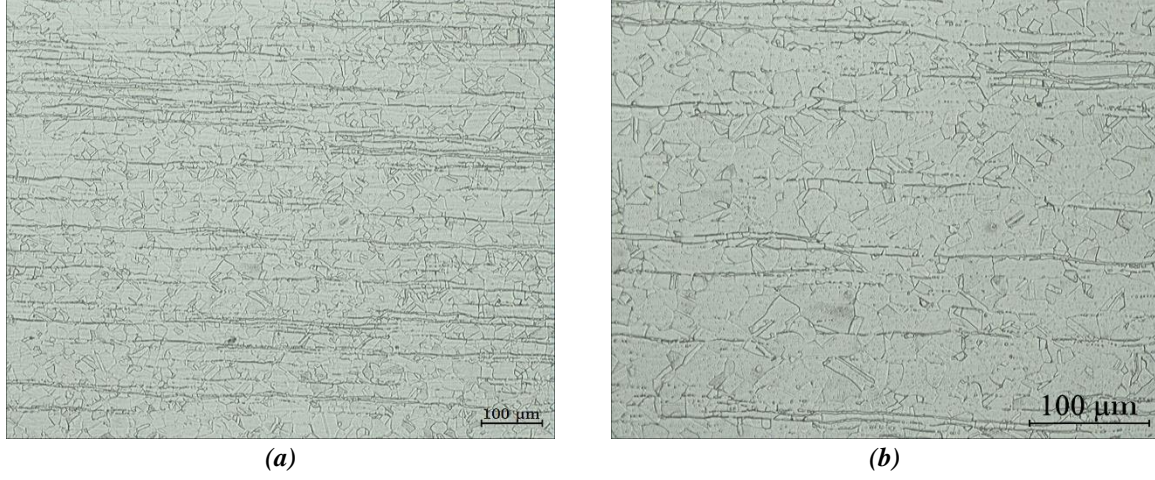
A. MİKROYAPI

Elde edilen bağlantının kaynak kesitini gösteren makro resim Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere kaynak bölgesinde porzite, çatlak, vb. herhangi bir kaynak hatası gözlenmemiştir. Kaynaklı bağlantıda herhangi bir kaynak kusuru olup olmadığı ayrıca radyografi ile de kontrol edilmiş ve herhangi bir kaynak hatası gözlenmemiştir.

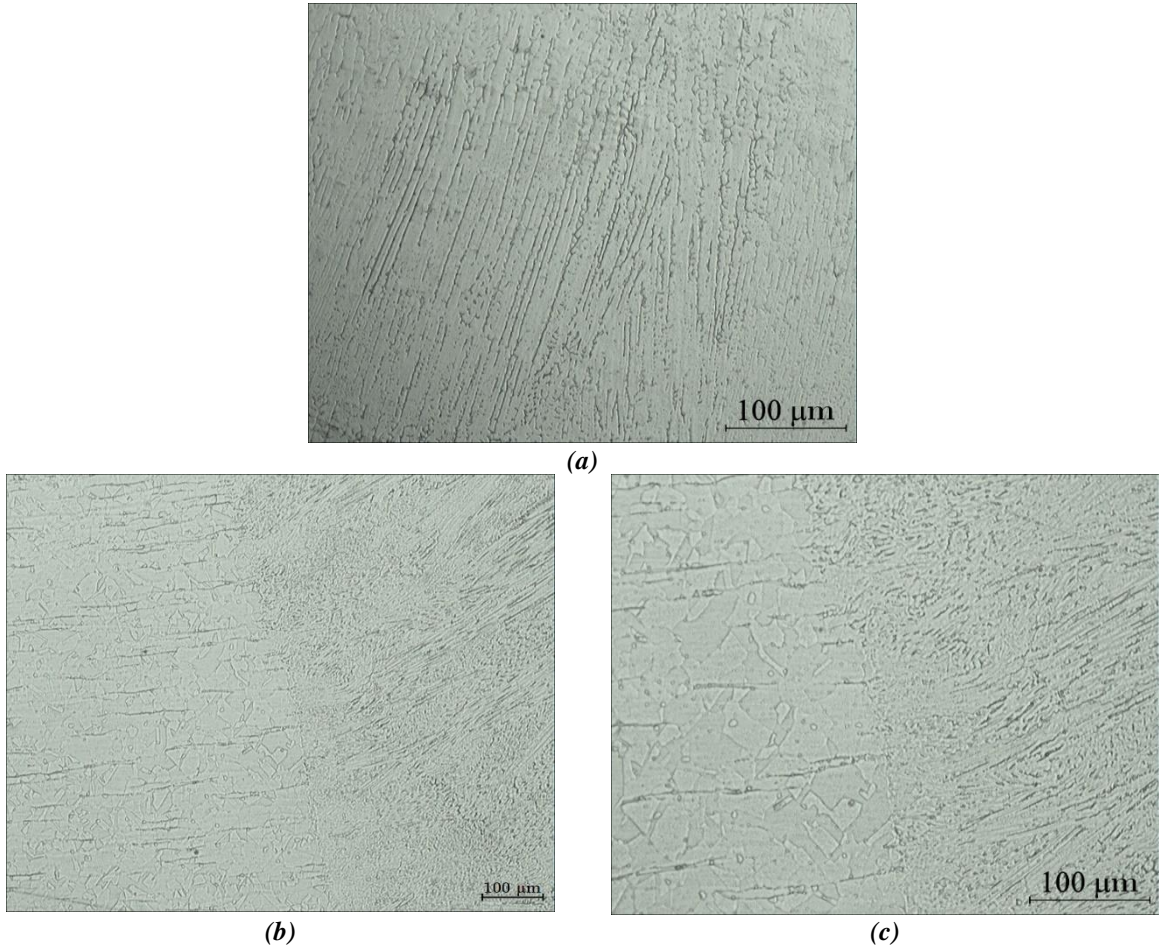


Şekil 4. Elde edilen kaynaklı bağlantının kesitini gösteren makro resim.

Şekil 5, baz levha mikro yapısını vermektedir. Şekilden görüldüğü gibi AISI 316L kalite östenitik baz levha, östenit tanelerinden oluşan bir mikro yapıya sahiptir. İçyapıda ikiz sınırları da gözlenmiştir. Ayrıca, baz levha içyapısında hadde yönünde yönelmiş (uzamış) delta ferrit fazı da mevcuttur.



Şekil 5. Çalışmada kullanılan AISI 316L östenitik paslanmaz çelik baz levha içyapısı: (a) X100 büyütme ve (b) X200 büyütme.



Şekil 6. Kaynaklı bağlantının muhtelif bölgelerindeki içyapıları gösteren mikro resimler: (a) baz levha, (b) ve (c) IEB, sırasıyla X100 ve X200 büyütme.

Diğer taraftan, elde edilen kaynaklı bağlantının kaynak dikişi (ergime bölgesi - EB) ve ısıdan etkilenmiş bölgede (IEB) oluşan içyapıları gösteren mikro resimleri Şekil 6 da verilmiştir. Kaynaklı bağlantının EB'nde, östenitik paslanmaz çelikler için çok yaygın olan, döküm yapısına benzer ince bir dendritik yapı gözlenmiştir (Şekil 6a). Bu dendritik yapı, östenit dendritlerinden (açık renkli bölgeler) ve birincil ve ikincil dendrit kolları arasındaki interdendritik (dendritler arası) δ -ferritten (koyu bölgeler) oluşur. Dendritik yapı %7.7 delta ferrit fazı içeren östenit fazından oluşmaktadır. Ergime bölgesinde benzer dendritik döküm yapısına benzer içyapı oluşumu TIG kaynaklı AISI316 bağlantılarda birçok araştırmacı tarafından da gözlenmiştir [42-44,46]. Ayrıca, kaynaklı bağlantının IEB'inde herhangi bir karbür çökmesi gözlenmemiştir. Ancak, IEB'nin ergime çizgisine yakın kısmında kaynak sonrası bu bölgede meydana gelen yeniden kristalleşme sonucu yeni eşeksenli östenit taneleri oluşmuş ve östenit taneleri içerisinde hadde yönünde uzamış delta ferrit fazının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca, östenit tanelerinde bir miktar irileşme (kabalaşma) de tespit edilmiştir (Şekil 6b ve c).

B. MEKANİK ÖZELLİKLER

Tablo 3, Şekil 3'te şematik olarak gösterildiği gibi API 5L standardına göre yapılan sertlik ölçümleri sonucu elde edilen sertlik değerlerini vermektedir. Tablodan da görüleceği üzere, baz levhanın ortalama sertliği 200 HV civarındadır. Kaynaklı bağlantının hem kaynak dikişinde (ergime bölgesinde) hem de IEB'de sertlik değeri baz levha ortalama sertliğinden belirgin bir şekilde daha yüksek olup, en yüksek ortalama sertlik değeri 218 HV ile ergime bölgesinde tespit edilmiştir. Bu da kaynaklı bağlantının kaynak dikişinde bir sertlik artışı ve dolayısıyla yaklaşık %10'luk bir mukavemet artışı (strength overmatching) olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Metalografi numunesi üzerinde kaynak kesitinde Şekil 3'te gösterilen noktalarda yapılan mikrosertlik ölçümleri ile edilen sertlik değerleri ile bu ölçümlerden hesaplanan baz levha, IEB ve kaynak dikişi bölgelerinin ortalama sertlik değerleri.

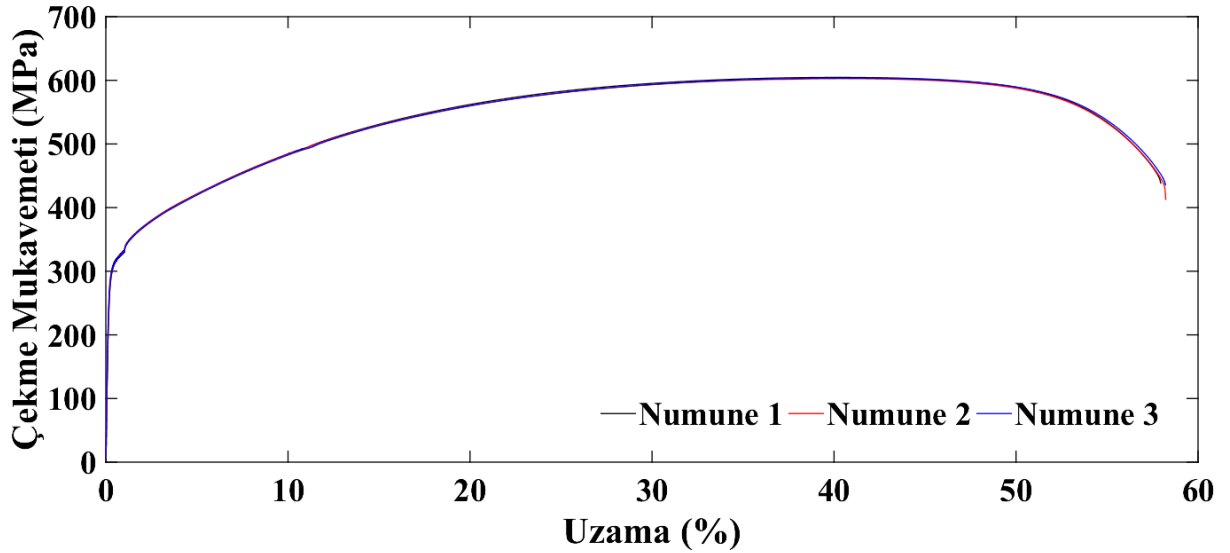
	Baz Malzeme (BM)	Kaynak Dikişi (KD)	Isıdan Etkilenmiş Bölge (IEB)
Mikrosertlik (HV10)	201; 195; 202	214; 213; 218	209; 211; 213
	202; 196; 203	217; 217; 219	213; 208; 215
	(Ort.: 200)	224; 214; 226	201; 205; 212
		(Ort.: 218)	211; 204; 196
			198; 201; 206
		215; 211; 197	
		(Ort.: 215)	

Baz levhadan hazırlanan numunelerin ve kaynaklı birleştirmeden çıkarılan numunelerin çekme testi sonuçları Tablo 4 ve Şekil 7'de özetlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan AISI 316L baz levha; 308 MPa'lık bir akma mukavemeti, 603 MPa'lık bir çekme mukavemeti ve yaklaşık %58'lik uzama sergilemiştir. Tablo ve şekilden açıkça görüldüğü gibi, kaynaklı bağlantı baz levhaya göre daha yüksek çekme mukavemeti sergilemiştir, nitekim bağlantının mukavemet performansı yaklaşık %104 olup, oldukça yüksektir. Diğer bir deyişle, kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numuneleri kaynak bölgesinde mukavemetin daha yüksek olması nedeniyle (strength overmatching) baz levha numunelerinden daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Şekil 8, bağlantılardan çıkarılan tüm çekme testi numunelerindeki kırılma konumlarını göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, tüm numuneler kaynak bölgesinden çok uzakta baz levhadan kırılmıştır. Bu, kaynak kalitesinin, dolayısıyla bağlantının mukavemeti performansının oldukça iyi olduğunu açıkça göstermektedir. Bu sonuç, kaynaklı bağlantıda herhangi bir kaynak kusuru olmadığı ve kaynak bölgesindeki sertlik değerinin baz levha sertliğinden daha yüksek olduğu için oldukça makuldür. Diğer taraftan, Şekil 9'dan net bir şekilde görüleceği üzere, kaynaklı bağlantı baz levhaya göre daha çok düşük %uzama göstermiş olup, kaynaklı bağlantının süneklik performansı oldukça düşüktür (yaklaşık %72). Bu durum kaynaklı

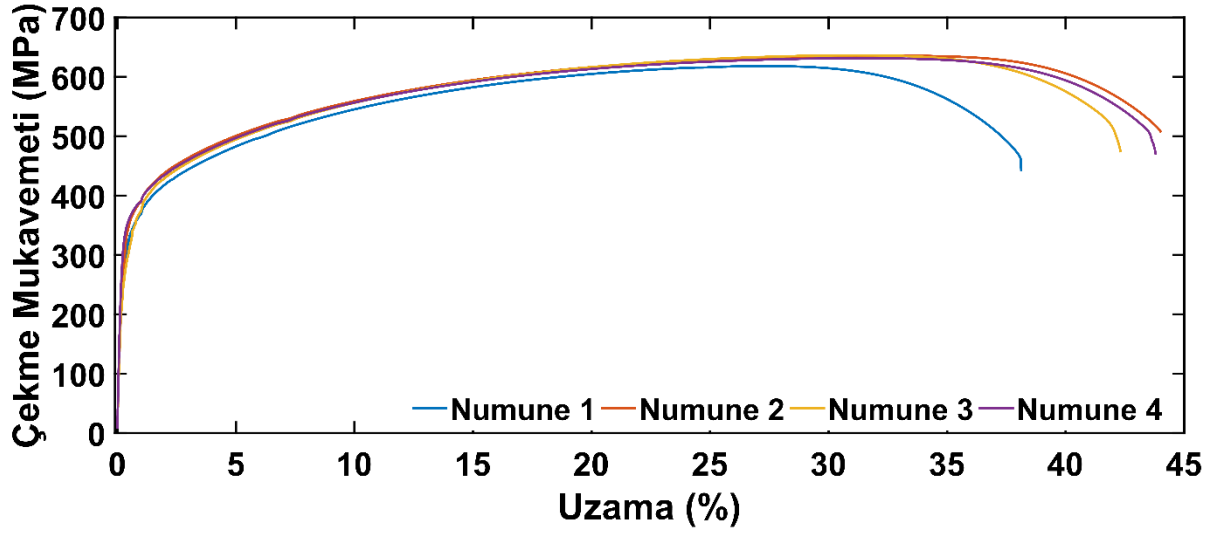
bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinde mukavemetin daha yüksek olduğu kaynak bölgesinde uzama olmaması ve deney esnasındaki uzamanın sadece numunelerin baz levha bölgelerinde gerçekleşmesinden dolayıdır. Diğer bir deyişle yüksek mukavemetli kaynak bölgesi deney esnasında elastik bölgede kalmakta ve % uzamaya katkı yapmamaktadır.

Tablo 4. Çekme deneyi sonuçları.

Numune	%0,2 akma sınırı (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	Uzama (%)	Mukavemet Performansı (%)	Süneklik Performansı (%)	Kırılma Yeri
Baz Levha	308, 307, 309 (308)	604, 602, 603 (603)	58, 58, 58 (58)	--	--	--
316L kaynaklı bağlantı	318, 348, 299, 350 (329)	618, 636, 636, 631 (630)	38, 44, 42, 44 (42)	104	72	Kaynak dikişinden uzakta baz levhada



(a)



(b)

Şekil 7. Gerilme - % uzama eğrileri: (a) baz levha ve (b) kaynaklı bağlantı.

Literatürde elektron ışını kaynaklı AISI316L bağlantıların bu çalışmada elde edilen yüzde uzama değerlerinden çok daha yüksek değerler gösterdiği rapor edilmiştir [50]. Ancak elektron ışın kaynağı yöntemi yüksek enerji yoğunluklu bir yöntem olduğu ve kaynak işleminin tek pasoda yapılması sonucu kaynaklanan levhalara ısı girdisi çok daha düşük olduğundan ergime bölgesi ark kaynağına nazaran çok dar olmaktadır. Bu da mukavemet artışı artan bölgenin dar olmasına ve çekme deneyinde uzama olmayan kısmın çok dar olması sonucu daha yüksek uzama değerleri elde edilmesine yol açmaktadır. Diğer taraftan, bu çalışmaya benzer düşük süneklik performansı değerleri kaynak bölgesinde mukavemet artışı olan (strength overmatching) diğer kaynaklı bağlantılarda da rapor edilmiştir [33-36,51]. Hatta, kaynak bölgesinde mukavemet düşüşü olan (strength undermatching) Al-alışımı bağlantılarda uzama sadece çok dar kaynak bölgesinde gerçekleştiğinden çok daha düşük süneklik performansı değerleri elde edilebilmektedir [58-65].

Kaynaklı bağlantıdan çıkarılan hem yüzey hem de kök bükme numunelerinde herhangi bir çatlama meydana gelmemiştir. Bu sonuç kaynak kalitesinin oldukça iyi olduğunu ve bağlantının kaynak bölgesinin hatasız olduğunu göstermekte olup, hem metalografik çalışmalarda elde edilen sonuçlar hem de sertlik ölçümleri ve çekme deneyi sonuçları ile uyumludur.



Şekil 8. Kaynaklı bağlantı numunelerinde kırılma bölgelerini gösteren makro resimler (Şekildeki oklar kırılma noktalarını göstermektedir).



Şekil 9. Baz levha ve kaynaklı bağlantı çekme numunelerindeki uzama miktarlarının karşılaştırılması

IV. SONUC

Bu çalışmada, 10 mm kalınlığında AISI 316L östenitik paslanmaz çelik levhalar, 2,4 mm çapında ER316L dolgu teli kullanılarak GTAK yöntemiyle beş pasoda kaynaklanmıştır. Elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- GTAK yöntemiyle AISI 316L çelik levhalarda elde edilen bağlantıda herhangi bir kaynak hatası gözlemlenmemiştir.
- Kaynaklı bağlantının ergime bölgesinde (EB) döküm yapısına benzer ince taneli bir dendritik mikro yapı elde edilmiştir. Bu dendritik yapı, östenit dendritlerinden ve birincil ve ikincil dendrit kolları arasındaki δ -ferritten oluşmaktadır.
- Kaynaklı bağlantının IEB'inde herhangi bir karbür çökmesi gözlenmemiştir. Ancak, IEB'nin ergime çizgisine yakın kısmında yeniden kristalleşme sonucu yeni eşeksenli östenit taneleri oluştuğu ve östenit tanelerinde bir miktar irileşme (kabalaşma) tespit edilmiştir.
- Kaynaklı bağlantıdan çıkarılan tüm çekme test numuneleri EB'den oldukça uzakta baz levha içerisinden kırılmıştır.
- Kaynaklı bağlantıda yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda, baz levhada ortalama 200 HV sertlik elde edilmesine karşılık olarak ısıdan etkilenen bölgede ortalama 215 HV ve kaynak dikisinde de ortalama 218 HV sertlik değerleri elde edilmiştir.
- Elde edilen kaynaklı bağlantının akma ve çekme mukavemeti sırasıyla 308 ve 603 MPa olarak tespit edilmiştir.
- Kaynaklı bağlantı, baz levhadan daha yüksek çekme mukavemeti sergilerken, bağlantının sünekliği, baz levhadan önemli ölçüde daha düşüktür. Nitekim, kaynaklı bağlantının mukavemet ve süneklik performans değerleri sırasıyla %104 ve %72 olarak hesaplanmıştır.
- Kaynaklı bağlantıdan alınan hem yüzey hem de kök bükme numuneleri, bükme testinde çatlamamıştır. Bu da kaynak kalitesinin iyi olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada araştırılan kaynaklı bağlantının imalini gerçekleştiren TEKFEN İmalat ve Mühendislik A.Ş., İstanbul'dan Sayın Cemal TARDU ve Sayın İshak Özer KIRÇIÇEK'e, ayrıca bu çalışma kapsamında yürütülen metalografi çalışmaları, mikrosertlik ölçümleri ve mekanik testlerin (çekme ve bükme deneyleri) yapılmasındaki desteklerinden dolayı NOKSEL Çelik Boru Sanayi A.Ş., İskenderun'dan Sedat UYSAL'a (Fabrika Müdürü) ve Tuğrul YAZGAN'a da teşekkürü bir borç biliriz.

V. KAYNAKLAR

- [1] J. C. Lippold and D. J. Kotecki, "Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels". 1st ed., Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [2] G. Çam, "Science and Technology of Welding", 1st ed., Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Turkey, 2020. (in Turkish)
- [3] M. Mukherjee, T.K. Pal, "Evaluation of microstructural and mechanical properties of Fe-16Cr-1Ni-9Mn-0.12N austenitic stainless steel welded joints", *Materials Characterization*, vol. 131, pp. 406-424, 2017.
- [4] N. Ghosh, P. K. Pal, G. Nandi, "GMAW dissimilar welding of AISI 409 ferritic stainless steel to AISI 316L austenitic stainless steel by using AISI 308 filler wire", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 27, pp.1334-1341, 2017.

- [5] R.M. Molak, K. Paradowski, T. Brynk, L. Ciupinski, Z. Pakiela, K.J. Kurzydowski, "Measurement of mechanical properties in a 316L stainless steel welded joint", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, vol. 86, pp. 43-47, 2009.
- [6] C. Balaji, S.V.A. Kumar, S.A. Kumar, R. Satish, "Evaluation of mechanical properties of SS 316 L weldments using tungsten inert gas welding", *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 4, pp. 2053-2057, 2012.
- [7] R. Saluja, K.M. Moeed, "The emphasis of phase transformations and alloying constituents on hot cracking susceptibility of type 304L and 316L stainless steel welds", *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 4, pp. 2206-2216, 2012.
- [8] M. Dadfar, M.H. Fathi, F. Karimzadeh, M.R. Dadfar, A. Saatchi, "Effect of TIG welding on corrosion behavior of 316L stainless steel", *Materials Letters*, vol. 61, pp. 2343-2346, 2007.
- [9] M.N. James, L. Matthews, D.G. Hattingh, "Weld solidification cracking in a 304L stainless steel water tank", *Engineering Failure Analysis*, vol. 115, p. 104614, 2020.
- [10] F. Ostovan, E. Shafiei, M. Toozandehjani, I.F. Mohamed, M. Soltani, "On the role of molybdenum on the microstructural, mechanical and corrosion properties of the GTAW AISI 316 stainless steel welds", *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 13, pp. 2115-2125, 2021.
- [11] M.G. Pujar, R.K. Dayal, T.P. Gill, S.N. Malhotra, "Evaluation of microstructure and electrochemical corrosion behavior of austenitic 316 stainless steel weld metals with varying chemical compositions", *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 14, pp. 327-342, 2005.
- [12] D.J. Kotecki, "Ferrite control in duplex stainless steel weld metal", *Welding Journal*, vol. 65, pp. 273-278, 1986.
- [13] M.E. Somervuori, L.S. Johansson, M.H. Heinonen, D.H.D. van Hoecke, N. Akdut, H.E. Hänninen, "Characterisation and corrosion of spot welds of austenitic stainless steels", *Materials and Corrosion*, vol. 55, iss. 6, pp. 421-436, 2004.
- [14] J. Xiong, M.Y. Tan, M. Forsyth, "The corrosion behaviors of stainless steel weldments in sodium chloride solution observed using a novel electrochemical measurement approach", *Desalination*, vol. 327, pp. 39-45, 2013.
- [15] E. Zumelzu, J. Sepulveda, M. Ibarra, "Influence of microstructure on the mechanical behaviour of welded 316 L SS joints", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 94, iss. 1, pp. 36-40, 1999.
- [16] J. Barcik, "Mechanism of σ -phase precipitation in Cr-Ni austenitic steels". *Materials Science and Technology*, vol. 4, pp. 5-15, 1988.
- [17] Y.H. Kim, D.J. Lee, J.C. Byun, K.H. Jung, J.I. Kim, H.J. Lee, Y. T. Shin, Y. T. Shin, H.W. Lee "The effect of sigma phases formation depending on Cr/Ni equivalent ratio in AISI 316L weldments", *Materials and Design*, vol. 32, iss. 1, pp. 330-336, 2011.
- [18] V. Muthupandi, P. Bala Srinivasan, S.K. Seshadri, S. Sundaresan, "Effect of weld metal chemistry and heat input on the structure and properties of duplex stainless steel welds", *Materials Science and Engineering: A*, vol. 358, pp. 9-16, 2003.
- [19] G. Çam, V. Javaheri, A. Heidarzadeh, 'Advances in FSW and FSSW of dissimilar Al-alloy plates', *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2022. (DOI: <https://doi.org/10.1080/01694243.2022.2028073>).

- [20] N. Kashaev, V. Ventzke, G. Çam, “Prospects of laser beam welding and friction stir welding processes for aluminum airframe structural applications”, *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 36, pp. 571-600, 2018.
- [21] G. Çam, G. İpekoğlu, “Recent developments in joining of aluminium alloys”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 91, pp. 1851-1866, 2017.
- [22] G. İpekoğlu, G. Çam, ‘Farklı Al-Alaşımı Levhaların (AA6061/AA7075) sürtünme karıştırma kaynağına temper durumunun etkisi’, *Mühendis ve Makina*, 2012, c. 53, s. 629, ss. 40-47.
- [23] G. Çam, “Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) – Al-Alaşımaları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi”, *Mühendis ve Makina*, c. 46, s. 541, ss. 30-39, 2005.
- [24] G. İpekoğlu, G. Çam, “Effects of initial temper condition and postweld heat treatment on the properties of dissimilar friction-stir-welded joints between AA7075 and AA6061 aluminum alloys”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 45, no. 7, pp. 3074-3087, 2014.
- [25] G. İpekoğlu, S. Erim, G. Çam, “Investigation into the influence of post-weld heat treatment on the friction stir welded AA6061 Al-alloy plates with different temper conditions”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 45, no. 2, pp. 864-877, 2014.
- [26] G. İpekoğlu, S. Erim, G. Çam, “Effects of temper condition and post weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of friction stir butt welded AA7075 Al-alloy plates”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 70, no. 1, pp. 201-213, 2014.
- [27] G. Çam, G. İpekoğlu, H.T. Serindağ, “Effects of use of higher strength interlayer and external cooling on properties of friction stir welded AA6061-T6 joints”, *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 19, no. 8, pp. 715-720, 2014.
- [28] T. Küçükömeroğlu, E. Şentürk, L. Kara, G. İpekoğlu, G. Çam, “Microstructural and mechanical properties of friction stir welded nickel-aluminum bronze (NAB) alloy”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 25, no. 1, pp. 320-326, 2016.
- [29] G. Çam, S. Mistikoglu, M. Pakdil, “Microstructural and mechanical characterization of friction stir butt joint welded 63%Cu-37%Zn brass plate”, *Welding Journal*, vol. 88, no. 11, pp. 225-232, 2009.
- [30] G. Çam, H.T. Serindağ, A. Çakan, S. Mıstıkoğlu, H. Yavuz, “The effect of weld parameters on friction stir welding of brass plates”, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, vol. 39, no. 6, pp. 394-399, 2008.
- [31] A. Günen, E. Kanca, M. Demir, F. Çavdar, S. Mistikoğlu, G. Çam, “Microstructural and mechanical properties of friction stir welded pure lead”, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, vol. 25, no. 1, pp. 26-32, 2018.
- [32] G. Çam, “Friction stir welded structural materials: Beyond Al-alloys”, *International Materials Reviews*, vol. 56, no. 1, pp. 1-48, 2011.
- [33] G. İpekoğlu, T. Küçükömeroğlu, S.M. Aktarer, D.M. Sekban, G. Çam, “Investigation of microstructure and mechanical properties of friction stir welded dissimilar St37/St52 joints”, *Materials Research Express*, vol. 6, no. 4, p. 046537, 2019.
- [34] T. Küçükömeroğlu, S.M. Aktarer, G. İpekoğlu, G. Çam, “Mechanical properties of friction stir welded St 37 and St 44 steel joints”, *Materials Testing*, vol. 60, no. 12, pp. 1163-1170, 2018.

- [35] T. Küçükömeroğlu, S.M. Aktarer, G. İpekoğlu, G. Çam, “Microstructure and mechanical properties of friction stir welded St52 steel joints”, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, vol. 25, no. 12, pp. 1457-1464, 2018.
- [36] T. Küçükömeroğlu, S.M. Aktarer, G. İpekoğlu, G. Çam, “Investigation of mechanical and microstructural properties of friction stir welded dual phase (DP) steel”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 629, p. 012010, 2019.
- [37] L. Cui, H. Fujii, N. Tsuji, K. Nogi, “Friction stir welding of a high carbon steel”, *Scripta Materialia*, vol. 56, pp. 637-640, 2007.
- [38] P. Chansoria, P. Solanki, M.S. Dasgupta, “Parametric study of transient temperature distribution in FSW of 304L stainless steel”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 80, pp. 1223-1239, 2015.
- [39] H. Kokawa, S.H.C. Park, Y.S. Sato, K. Okamoto, S. Hirano, M. Inagaki, “Microstructures in friction stir welded 304 austenitic stainless steel”, *Welding in The World*, vol. 49, pp. 34-40, 2005.
- [40] A.P. Reynolds, W. Tang, T. Gnaupel-Herold, H. Prask, “Structure, properties, and residual stress of 304L stainless steel friction stir welds”, *Scripta Materialia*, vol. 48, no. 9, pp. 1289-1294, 2003.
- [41] A. Durgutlu, T. Fındık, B. Gülenç, B. Çevik, Y. Kaya, N. Kahraman, “Effect of continuous and pulsed currents on microstructural evolution of stainless steel joined by TIG welding”, *Practical Metallography*, vol. 52, pp. 627-637, 2015.
- [42] G. Chandrasekar, C. Kailasanathan, D.K. Verma, K. Nandagopal, “Optimization of welding parameters, influence of activating flux and investigation on the mechanical and metallurgical properties of activated TIG weldments of AISI 316 L stainless steel”, *Trans Indian Inst Met*, vol. 70, no. 3, pp. 671-684, 2017.
- [43] R. Silverstein, D. Eliezer, Th. Boellinghaus, “Hydrogen-trapping mechanisms of TIG-welded 316L austenitic stainless steels”, *J Mater Sci*, vol. 53, pp. 10457-10468, 2018.
- [44] A. Kulkarni, D.K. Dwivedi, M. Vasudevan, “Microstructure and mechanical properties of A-TIG welded AISI 316L SS-Alloy 800 dissimilar metal joint”, *Materials Science & Engineering A*, vol. 790, p. 139685, 2020.
- [45] S. Selvi, A. Vishvaksenan, E. Rajasekar, “Cold metal transfer (CMT) technology - An overview, Cold metal transfer (CMT) technology - An overview”, *Defence Technology*, vol. 14, pp. 28-44, 2018.
- [46] H.M. Soltani, M. Tayebi, “Comparative study of AISI 304L to AISI 316L stainless steels joints by TIG and Nd:YAG laser welding”, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 767, pp. 112-121, 2018.
- [47] J. Yan, M. Gao, X. Zeng, “Study on microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser-TIG hybrid welding”, *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 48, pp. 512-517, 2010.
- [48] S. Rajasekhara, L.P. Karjalainen, A. Kyröläinen, P.J. Ferreira, “Microstructure evolution in nano/submicron grained AISI 301LN stainless steel”, *Materials Science and Engineering: A*, vol. 527, pp.1986-1996, 2010.

- [49] S. Gnanasekaran, S.S. Kumar, N. Venugopal, M. Upadhyaya, T.C. Manjunath, S.J.S. Chelladurai, G. Padmanaban, "Effect of laser power on microstructure and tensile properties of pulsed Nd:YAG laser beam welded AISI 301 austenitic stainless steel joints", *Materials Today: Proceedings*, vol. 37, pp. 934-939, 2021.
- [50] A. Kumar, B. Singh, S.S. Sandhu, "Effect of thermal aging on metallurgical, tensile and impact toughness performance of electron beam welded AISI 316 SS joints", *Fusion Engineering and Design*, vol. 159, p. 111949, 2020.
- [51] G. Çam, Ç. Yeni, S. Erim, V. Ventzke, M. Koçak, "Investigation into properties of laser welded similar and dissimilar steel joints", *Science and Technology of Welding and Joining*, vol. 3, no. 4, pp. 177-189, 1998.
- [52] G. Çam, S. Erim, Ç. Yeni, M. Koçak, "Determination of mechanical and fracture properties of laser beam welded steel joints", *Welding Journal*, vol. 78, no. 6, pp. 193-201, 1999.
- [53] S. Mohanty, M. Arivarasu, N. Arivazhagan, K.V.P. Prabhakar, "The residual stress distribution of CO₂ laser beam welded AISI 316 austenitic stainless steel and the effect of vibratory stress relief", *Materials Science and Engineering: A*, vol. 703, pp. 227-235, 2017.
- [54] B. Liu, W. Jin, A. Lu, K. Liu, C. Wang, G. Mi, "Optimal design for dual laser beam butt welding process parameter using artificial neural networks and genetic algorithm for SUS316L austenitic stainless steel", *Optics and Laser Technology*, vol. 125, p. 106027, 2020.
- [55] A. Kumar, B. Singh, S.S. Sandhu, "Influence of thermal aging on metallurgical, mechanical and corrosion performance of electron beam welded 18mm thick AISI 316", *Fusion Engineering and Design*, vol. 161, p. 112092, 2020.
- [56] M. Alali, I. Todd, B.P. Wynne, "Through-thickness microstructure and mechanical properties of electron beam welded 20 mm thick AISI 316L austenitic stainless steel", *Materials & Design*, vol. 130, pp. 488-500, 2017.
- [57] X. Xia, , J. Wu, , Z. Liu, H. Ji, X. Shen, J. Ma, P. Zhuang, "Correlation between microstructure evolution and mechanical properties of 50 mm 316L electron beam welds", *Fusion Engineering and Design*, vol. 147, p. 111245, 2019.
- [58] G. İpekoğlu, G. Çam, "Formation of weld defects in cold metal transfer arc welded 7075-T6 plates and its effect on joint performance", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 629, p. 012007, 2019.
- [59] G. İpekoğlu, S. Erim, B. Gören Kırıl, G. Çam, "Investigation into the effect of temper condition on friction stir weldability of AA6061 Al-alloy plates", *Kovove Materialy*, vol. 51, no. 3, pp. 155-163, 2013.
- [60] G. İpekoğlu, B. Gören Kırıl, S. Erim, G. Çam, "Investigation of the effect of temper condition friction stir weldability of AA7075 Al-alloy plates", *Materiali in Tehnologije*, vol. 46, no. 6, pp. 627-632, 2012.
- [61] G. Çam, 'Prospects of producing aluminum parts by wire arc additive manufacturing (WAAM)', *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, pp. 77-85, 2022.
- [62] G. Çam, M. Koçak, "Microstructural and mechanical characterization of electron beam welded Al-alloy 7020", *Journal of Materials Science*, vol. 42, no. 17, pp. 7154-7161, 2007.




- [63] G. Çam, V. Ventzke, J.F. dos Santos, M. Koçak, G. Jennequin, P. Gonthier-Maurin, “Characterisation of electron beam welded aluminium alloys”, *Science and Technology of Welding & Joining*, vol. 4, no. 5, pp. 317-323, 1999.
- [64] G. Çam, S. Güçlüer, A. Çakan, H.T. Serindağ, “Mechanical properties of friction stir butt-welded Al-5086 H32 plate”, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, vol. 40, pp. 638-642, 2009.
- [65] G. Çam, , V. Ventzke, , J.F. dos Santos, M. Koçak, G. Jennequin, P. Gonthier-Maurin, M. Penasa, C. Rivezla, “Characterization of laser and electron beam welded Al-alloys”, *Practical Metallography*, vol. 37, no. 2, pp. 59-89, 2000.



Düce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Doku Mühendisliğinde Yeni Tip Grafen Esaslı Kemik İskelesi

 Mine Kırkbınar^{a,*},  Erhan İbrahimoglu,^a  Fatih Çalışkan^a

^a Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Esentepe Kampüsü, Serdivan, Sakarya, Türkiye

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

DOI: 10.29130/dubited.1079780

Öz

Biyoyimplant mühendisliği hasarlı dokuları ve organları onarmak, tamir etmek ya da korumayı amaçlamaktadır. Her yıl çok sayıda insan kaza ya da çeşitli hastalıklardan kaynaklı olan iskelet kusurlarındaki kemikleri onarmak/tamir etmek istemektedir. Bu nedenle üzerinde yeni kemik büyümesinin oluşabileceği iskeleleri oluşturabilmek çok farklı biyomalzeme türleri kullanılmıştır. Hidroksiapatit, apatit wollostonit ve karbon temelli biyomalzemeler bu amaçla kullanılmıştır. Karbon nanomaterial baskılı iskeleler ticari olarak ulaşılabilirlik, mekanik stabilite, biyolojik uyumluluk özelliklerinden dolayı kullanımı oldukça yaygın biyomalzeme grubudur. Karbon esaslı iskeleler osteojenik farklılaşma, kemik doku yenilenmesi, etkili hücre çoğalması özelliği göstermektedir. Kemik iskeleleri doku mühendisliğinde kemik büyümesi, yenilenmesi, tamiri, kemik dokusu hücrelerinde farklılaşma, adhezyon için temel yapı taşı olarak görülmektedir. Kemik iskeleleri gibi hareket eden çok sayıda karbon nanomateriali mevcuttur. Karbon nanotüpler, grafen ve fulleren kemik iskelesi olarak kullanılabilen karbon esaslı malzemelerin başlıcalarıdır. Grafen ve türevleri dikkat çekici fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahip 2D karbon esaslı bir malzemedir. Grafen mükemmel elektriksel iletkenliği, biyoyumluluğu, yüzey alanı ve termal özellikleri yüzünden bilim dünyası tarafından ilgi görmektedir. Grafenin tabakaları yüksek mekanik dirence ve yüksek spesifik yüzey alanına sahiptir. Dahası grafenin kök hücre farklılaşmasını ve biyomaterial özelliklerini geliştirdiği literatürde raporlanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada grafenin biyoyumluluk özellikleri, grafenin biyomaterial olarak kullanımına dair son çalışmalar ve karbon temelli maddelerin klinik olarak uygulanabilmesi amacıyla biyogüvenlik tartışmaları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Biyomalzemeler, Kemik iskeleti, Grafenoksit, Hidroksiapatit*

A New Type of Graphene Based Bone Scaffold in Tissue Engineering

ABSTRACT

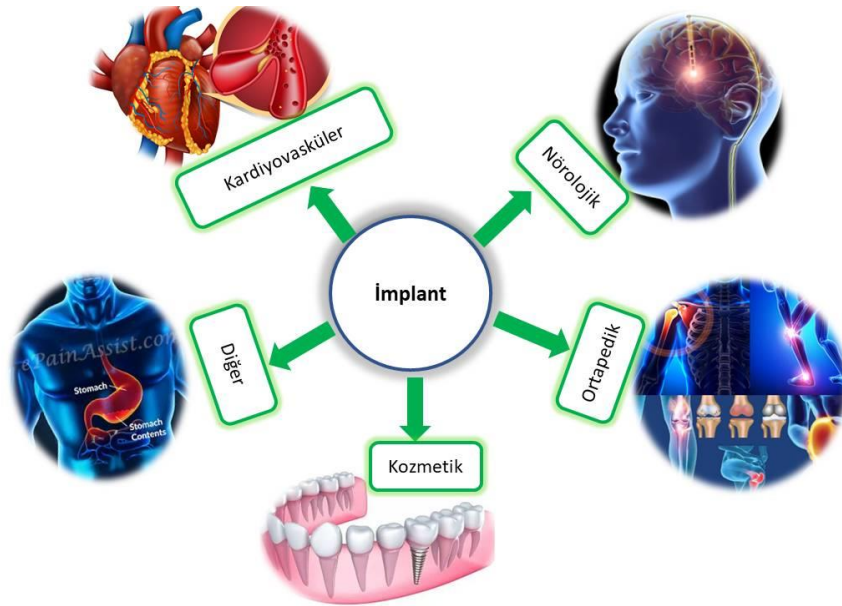
The aim of bioimplant technology is to repair, repair or preserve damaged tissues and organs. Every year, many people want to fix/repair bones in skeletal defects caused by accidents or various diseases. For this reason, many different types of biomaterials have been used to create scaffolds on which new bone growth can take place. Hydroxyapatite, apatite-wollostonite, and carbon-based biomaterials have been used for this purpose. Scaffolds printed with carbon nanomaterials are a widely used group of biomaterials because of their commercial availability, mechanical stability, and biocompatibility. Carbon-based scaffolds demonstrate osteogenic differentiation, bone tissue regeneration, and efficient cell proliferation. Bone scaffolds are considered to be the basic building blocks for bone growth, regeneration, repair, differentiation, and adhesion in bone tissue cells in tissue engineering. Many carbon nanomaterials are available that act as skeletons. Carbon nanotubes, graphene, and fullerene are the main carbon-based materials that can be used as skeletons. Graphene and its derivatives are a 2D carbon-based material with remarkable physical, chemical, and biological properties. Graphene is of interest to the scientific community because of its excellent electrical conductivity, biocompatibility, surface area, and thermal properties. Graphene sheets have high mechanical strength and large specific surface area. In addition, it has been reported in the literature that graphene enhances stem cell differentiation and biomaterial properties. The

conducted study examined the biocompatibility properties of graphene, current studies on the use of graphene as a biomaterial, and biosafety discussions for the clinical application of carbon-based materials.

Keywords: Biomaterials, Scaffold, graphenoxide, hydroxyapatite

I. GİRİŞ

Nanoteknoloji malzemelerin nano ölçeğinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak özellik ve yapılarının değiştirilebildiği multi-disiplinli bir alandır. Nanomateryaller temeli makro ölçekte farkedilemeyen ancak nano boyut ölçeğinde farklı özellikler sergileyen malzemelerdir. Bu alandaki yapılan yenilikler de tıp, moleküler biyoloji, biyoteknoloji, çevre bilimi alanlarında sayısız uygulama için fırsat olmuştur. Doku mühendisliğinde iskelet uygulamaları, kanser tedavileri, medikal görüntülemeler gibi birçok alanda tanı ve teşhis amacıyla kullanılmasıyla nanoteknolojinin medikal uygulamalarda önemi farkedilmiştir. Artan nüfus artışı ve hastalıklara bağlı olarak biyoimplant kullanım sayısı artmaktadır. Biyoimplantlar şekil bozuklukları, ortopedik rahatsızlıklar, diş hastalıkları, kardiyovasküler hastalıklar, nörolojik bozukluklar gibi birçok alanda kullanılmaktadır [1, 2]. Şekil 1’de vücutta biyomalzemelerin vücutta kullanıldığı farklı alanlara ait şematik görsel paylaşılmıştır.

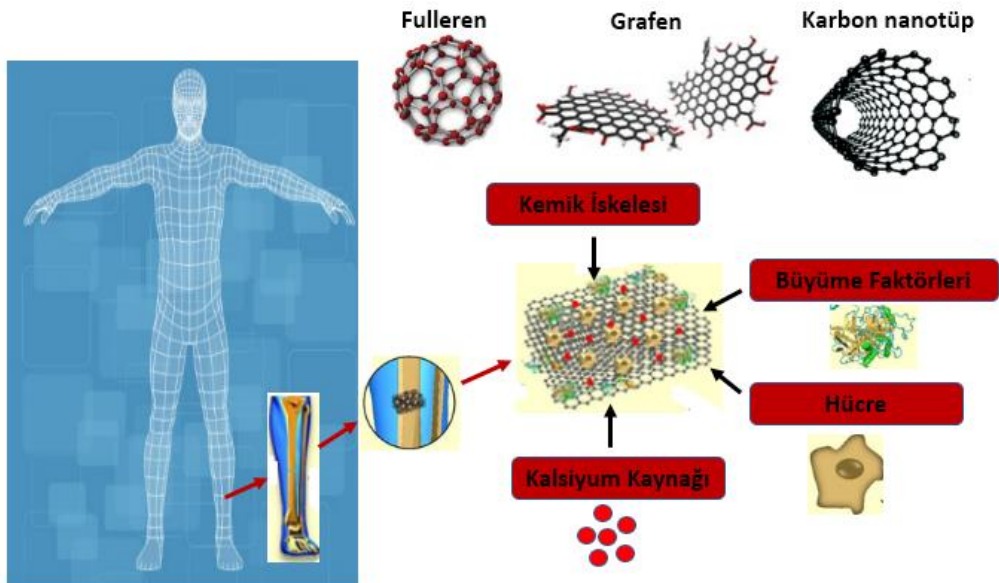


Şekil 1. Vücutta biyomalzemelere ait farklı kullanım alanlarına ait örnekler

İki ya da daha fazla malzemenin farklı kompozisyon ve morfolojilerde birleştirilmesiyle fiziksel kimyasal özellikleri değiştirilebilmektedir. Yapılan kompozit malzemeler ile ana malzemenin mekanik ve biyoaktivite özellikleri artırılabilir. Geliştirilen özellikleri sayesinde bu biyokompozitler protez parçalarda, ilaçlarda, kuvvetlendirici materyallerde kullanılmaktadır[3,4]. Kompozit malzemeler tek bileşenli malzemelere oranla daha yüksek özellikler göstermesine rağmen halen farklı özelliklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin termoplastik reçine kompozitleri termoplastik olanlardan daha düşük oranda toksik olmasına karşın çatlak ilerlemesine yatkındır [5]. Seramik-polimer esaslı(SP) kompozit malzemeler biyoaktif olmasına rağmen alerjik reaksiyonları tetiklemektedir. Ayrıca SP kompozitleri polimer malzemelerin mekanik özelliklerinin kötü olması nedeniyle kötü seramik özellikler göstermektedir[6]. SP kompozitlerinde mevcut ilerlemeler, geleceğin malzemelerini ve yöntemlerini oluşturmak için araştırmacıların büyük ilgisini çekmektedir. Vücutta kaza vb durumlarda yaralanmalar sonucunda oluşan ve hayatı ciddi durumda etkileyen kemik hastalıklarının onarımı spesifik konuların başında gelmektedir. Elde edilen kompozit malzemeler kemik iskelesi olarak kullanımlarında insan hayatını önemli derecede etkilemektedir.

İskeleler doku mühendisliğinin kalbi olarak adlandırılmaktadır. Uygun iskeleler olmadan yapay çevrede kemik hücrelerinin büyümesi mümkün değildir. İnsan hücrelerinin içerisinde en kritik türlerinden olan kemik hücreleri canlı kemiğin büyümesine izin vermek için iyi dizayn edilmiş iskelelere ihtiyaç duymaktadır. Zarar görmüş dokuları sağlıklı olanla değiştirmek ya da kemik yenilenmesi insan hayatını olumsuz etkilediği için bu ihtiyacın acilen giderilmesi gereklidir. Son yıllarda bu tür iskeleleri üretmek için araştırmalar yeni yaklaşımlar üzerine yoğunlaştırılmıştır ve nanoteknoloji ile kombine edilen doku mühendisliği uygulamaları geleneksel doku onarım yöntemlerine umut verici bir alternatif olarak görülmektedir[7,8]. Multidisipliner bilimdeki yeni yaklaşımlar; hasarlı dokuları yenilemek ve onarmak üzerine kurgulanmaktadır. Yaklaşımlar doğal dokudan daha iyi davranabilen spesifik ve fonksiyonel dokuları büyütmek üzerine kurgulanmıştır[9]. Temel bilimler(kimya, mühendislik vb.) hasarlı dokuları geliştirmek için yaşam bilimleri (biyoloji, tıp) alanlarıyla birleşerek ortak çalışmalar yapmaktadır[10]. Doku ya da organ nakli bekleyen insanların, bekleme süreci boyunca yaşamlarını kaybetmeleri gibi problemleri ortadan kaldırmak için, ideal biyolojik modellemeler ile yapay organlar üretilebilmektedir [11]. Kemik iskelelerini inşa etmek için yapay ya da doğal materyaller kullanılmaktadır. Kemik iskeleleri alerjik ve toksik etkiye sahip olmamalıdır. Aynı zamanda iskeleler iltahaplanmaya yol açmayarak yüksek biyouyumluluk göstermelidirler. Ayrıca iskeleler dokuya özgü hücre tipleri ve dokuyu alacak bireyin çevre dokularıyla uyumlu olmalıdırlar. Kemik yapısı vücutta bulunan diğer organlara kıyasla yüksek mekanik özelliklere sahip olması nedeniyle biyomedikal uygulamalarda başlıca hedeftir.

Karbon atomu yapısı nedeniyle bileşikleriyle 4 bağ yapabilmektedir, bu nedenle doğada farklı formlarda bulunabilmektedir. Elmas, grafen, fulleren, karbon nanotüpler bu yapılardan bazılarıdır. Literatürde karbon esaslı malzemelerin kemik onarımında ve kemik iskelelerinde kullanımına dair çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin Sitharaman ve arkadaşları tavşanlar üzerinde tek duvarlı karbon nanotüpler kullanarak ürettikleri kemik iskelelerinde hücre davranışı ve büyüme oranında belirgin etki gözlemlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında uygun kimyasal kompozisyonun hücre çoğalması ve büyümesinde kritik öneme sahip olduğu raporlamışlardır[12]. Karbon esaslı malzemeler kimyasal dayanım ve mekanik özelliklerinin yüksek olması nedeniyle biyomedikal uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Nanomateryallerin pek çoğu yüksek mekanik özellik ve iyi antibakteriyel etki göstermektedir[13]. Benzersiz özelliklerinden dolayı(özellikle mekanik) biyomedikal uygulamalarda karbon esaslı malzemeler ana matris ya da takviye olarak kullanılmaktadır[14]. Şekil 2’de karbon esaslı kemik iskelelerine dair şematik bir görsel paylaşılmıştır. Şekildeki görsel incelendiğinde farklı yapıların kemik iskelet sistemlerinde kullanılabileceği gözlemlenmektedir.



Şekil 2. Vücutta kullanılan karbon temelli kemik iskeleleri şematik gösterimi

Karbon esaslı malzemelerden grafen diğer türevlerine kıyasla biyomedikal uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda grafen ve türevlerinin, karbon nanotüplere oranla yüksek biyoyumluluk, hücrelerin adhezyon, migrasyon, proliferasyon gibi özellikleri üzerinde daha olumlu etkiler gösterdiği sonuçları raporlanmıştır. Elde edilen veriler ve literatür çalışmaları ışığında araştırmacılar için biyomedikal uygulamalarda kullanılmak için grafen türevleri gözde malzeme olmuştur[15].Yapılan çalışmalarda grafen ve türevlerinin medikal alanda kullanımına dair çalışmalar arttırılmıştır. Tablo 1’de karbon temelli malzemelere ait bazı özellikler paylaşılmıştır. Tablodaki veriler incelendiğinde grafen diğer karbon esaslı malzemelere oranla daha yüksek yüzey alanı ve Young modülüne sahiptir. Young modülünün yüksek olması mekanik özelliklerinin daha iyi olduğunu ispat etmektedir. Yüzey alanının artması ise kemik iskelesi uygulamalarında doku temasının artmasını sağlayarak kemik büyümesini kolaylaştırıcı etki göstermektedir.

Tablo 1.Karbon türevleri ve fiziksel özellikleri[15].

Özellik	Grafen	Karbon Nanotüp	Grafit	Fulleren
Yüzey Alanı (m ² /g)	2630	1315	10	5
Termal İletkenlik(W/mK)	5000	>3000 (MWCNTs) 3	3000	0,4
Mobilite	15000 SiO üzerinde SiO üzerinde 200.000 serbest halde	100000	13000	0,56
Young Modülü(TPa)	1	0,64	1,06	0,01
Optik Geçirgenlik(%)	97,7	-	-	-

Grafenoksit (GO) karbon atomlarının sp² hibritleşmesiyle bal peteği şeklinde oluşan yüksek mekanik ve elastikiyet modülü gösteren tek tabakalı bir yapıdır. Dahası GO benzersiz elektronik özelliklere, kimyasal olarak fonksiyonelleştirilebilecek yüzey alanına sahiptir[16].Grafen indirgenmiş grafen oksit(rGO) ve grafen oksit(GO) olmak üzere 2 forma sahiptir. Grafenoksit, grafiti okside ederek elde edilmektedir. GO ile üretilen biyomalzemelerin, GO katkısı ile mekanik ve bioaktivite özellikleri gelişmektedir [17]. İkinci form olan rGO ise, GO içeriğinde bulunan oksijen içeriklerinin yok edilmesi ile elde edilmektedir[18]. GO’in kimyasal yöntemlerle ya da ısıl yöntemlerle indirgenmesiyle rGO yapısı oluşturulmaktadır. Bu işlem sonucunda elde edilen rGO, GO yapısına benzemesine rağmen yüzeyinde kusurlar ve oksijen içeren gruplar barındırabilir[19]. GO bir kaç farklı yöntem ile (CVD, Hummer, modifiye Hummer vb) üretilmektedir. Ayrıca üretilen GO başka materyallerin yüzeyine kaplanabilmektedir[20]. GO ile hazırlanan kaplamalar yüksek elektriksel ve biyoyumluluk özellikleri nedeniyle biyosensörlerde kullanılabilir.

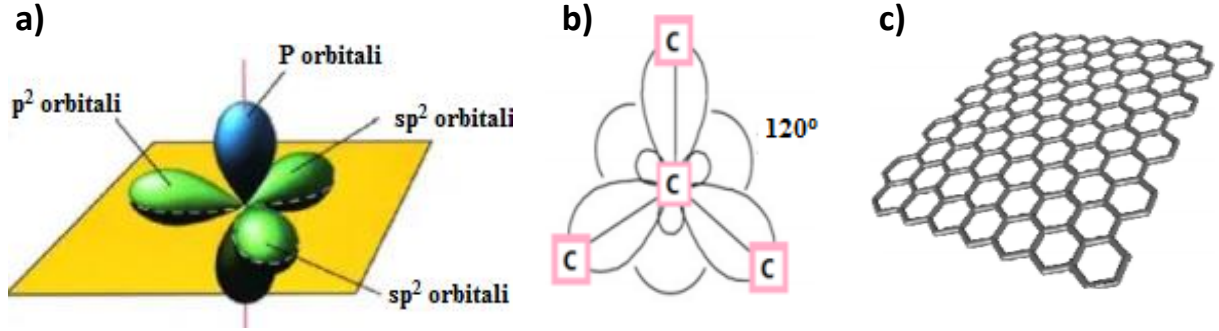
Bu çalışmada GO yapısının oluşumu, üretim yöntemi ele alınmıştır. Literatürde bulunan GO kompozit malzemelerin mekanik ve biyoyumluluk özellikleri incelenmiştir. Son dönemlerde yapılan güncel çalışmalar derlenerek GO biyokompozitleri ve onların kemik iskelesi olarak kullanımına dair çalışmalar paylaşılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Grafen Esaslı Seramik Kompozitler

Grafen(G) karbon atomlarının sp² hibritleşmesiyle halka yapısında oluşan tek atom kalınlığında 2 boyutlu karbon formudur. Grafenler bir ya da çoklu tabakalı olabilmektedir. Katman sayısının artması ile GO fiziksel özellikleri değişmektedir, hatta 10 kat ve üzerinde grafit olarak davranmaktadır[21,22].

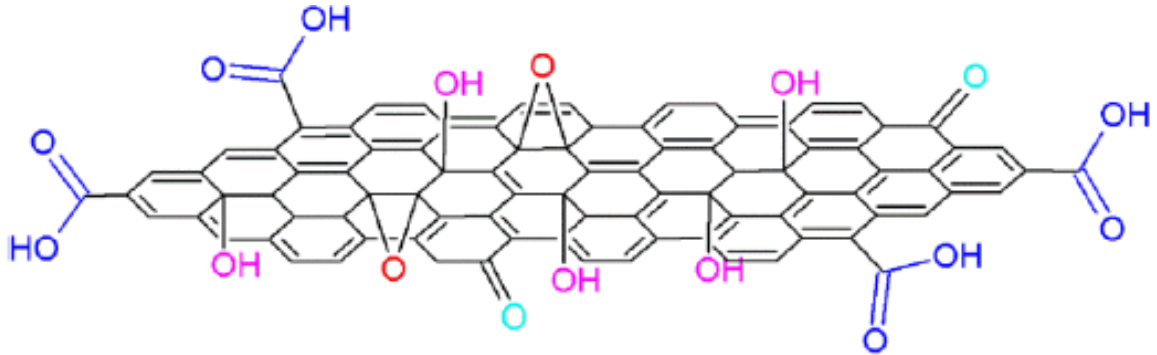
Bu nedenle GO üretilirken tek tabaka üretilmesi, hem özelliklerinin maksimum olması hemde kemik büyümesine daha çok imkan sağlaması nedeniyle önemlidir. Şekil 3’ de karbonun hibritleşmesi ve grafenin moleküler yapısına ait gösterim verilmiştir.



Şekil 3. (a, b) Karbonun sp^2 hibritleşmesi, (c) grafenin moleküler yapısı

Grafen günümüzde keşfedilen malzemeler içerisinde tek atom kalınlığına sahip olması sebebiyle en ince malzeme olarak kabul edilmektedir [23]. 2004 yılında Andre ve arkadaşlarının selo bant vasıtasıyla 3 boyutlu grafitten ayrıştırarak elde ettikleri grafen nano teknolojinin göz bebeği olmuştur. Sp^2 hibritleşmesi ile balpeteği yapısındaki grafen ve türevlerine yüksek biyoyumluluk, yüksek kimyasal dayanım, yüksek elektriksel iletkenlik, esneklik ve yüksek mukavemet gibi olağanüstü özellikler kazandırılmaktadır.

Grafen oksit, karbonil, karboksil (COOH), hidroksil (OH) ve epoksi (>O) gibi farklı oksijen içeren fonksiyonel gruplara sahip olan grafenin yüksek oranda oksitlenmiş bir formudur. Şekil 4’te verilen şematik görselde olduğu gibi tabakaların hem kenar hem bazal düzleminde bulunan fonksiyonel gruplar, D aralığının artmasına yol açar ve oksitlenmiş karbon atomlarının hibridizasyonunu düzlemsel sp^2 ’den tetrahedral sp^3 ’e değiştirir. Yüzeydeki oksijenli kısımlar GO için oldukça hidrofilik avantaj sağlar. Bu sayede vücutta kullanıldığında; vücut sıvısına maruz kalan kemik iskelelerinin bozunmasını önlenmiş olmaktadır. Şekil 4’de grafen oksitin moleküler yapısına ait şematik gösterim paylaşılmıştır.



Şekil 4. GO'ye ait şematik gösterim [24].

GO farklı özellikleri ile geniş kullanım alanına sahiptir. GO esneklik özelliği sayesinde giyilebilir sensör teknolojisinde, elektriksel özellikleri sayesinde enerji depolama cihazlarında, biyoyumluluk özellikleri sayesinde ilaç dağıtımı, sinir ağı rejenerasyonu, doku mühendisliği gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Tablo 2’de grafenoksidin farklı kullanım alanlarında, önemli olan özelliklerine dair bilgi verilmiştir.

Tablo2. Farklı uygulama alanlarında grafenin önemi ve beklenen özellikleri [25].

	Elektrik İletkenliği	Dayanıklılık	Esneklik	Yüzey Alanı	Transparanlık	Termal İletkenlik	Kimyasal Eylemsizlik	Gaz Geçirmezliği
Transistör	+	X	X	X	X	X	+	X
Enerji Depolama	+	X	X	+	X	X	+	X
Polimer Kompozitler	+	+	+	+	⊗	+	+	⊗
Sensörler	+	X	⊗	X	X	X	+	⊗

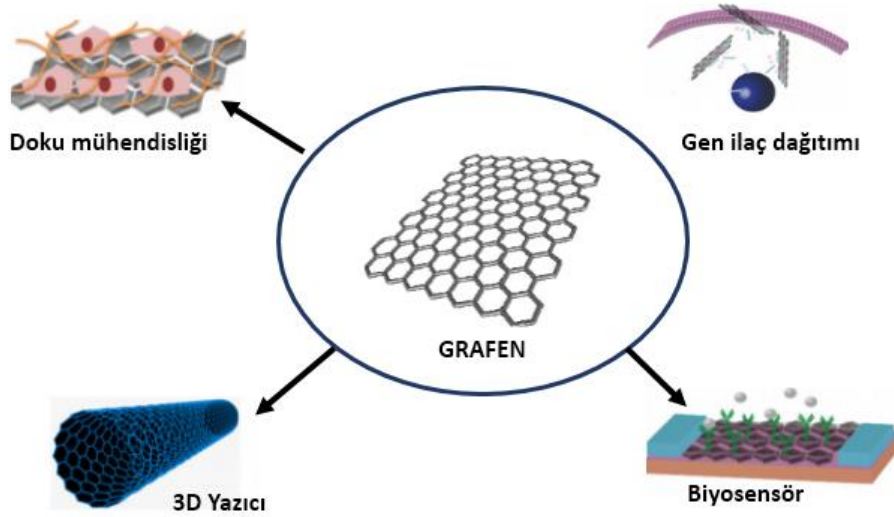
Grafen üretimi aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya olmak üzere 2 temel yaklaşım ile üretilebilmektedir. Yukarıdan aşağıya yönteminde grafit katmanları parçalanarak, yukarıdan aşağıya yöntemindeyse alternatif karbon kaynaklarından üretim yapılmaktadır. Aşağıdan yukarıya yönteminde büyük oranda grafitlenme oluşması gerektiği için yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir [26]. Bu nedenle maliyet olarak yüksek olmaktadır. Yukarıdan aşağıya yöntemi ise; karbon tabakalarının ayrışması esasına dayandığı için çeşitli kimyasallar ile yapılmaktadır. Diğer yaklaşımın aksine daha düşük maliyetle üretim sağlamaktadır. Ancak GO oluşumu esnasında oluşan kusurlar nedeniyle tek tabakalı üretim neredeyse imkansızdır [27].

Grafitin ekfoliasyonu yoluyla indirgenmiş grafenoksite dönüşmesi çok aşamalı bir üretim yöntemidir. Bu yöntemde sırasıyla; grafit oksitlenerek grafit oksite, grafit oksit ekfoliyeye olarak GO, GO indirgenerek grafene dönüşmektedir. Bu yöntemde oksidasyonda oluşan kusurlar ve kalıntı oksijenin indirgenmesi nedeniyle yapı "grafen" yapısından farklıdır. Ekfoliasyon yöntemi sonucunda oluşan kusurlar ve kalıntı oksijen nedeniyle üretilen malzemeye rGO denir [28].

Grafenin üretimine dair farklı yöntemler olmasına rağmen kaliteli ve tekrarlanabilir bir üretim yöntemi olan kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemi oldukça sık kullanılmaktadır. CVD yöntemi aşağıdan yukarı bölümünde alt bir yöntem olup, kusursuz ve düşük katmanlı GO üretimine imkan sağlamaktadır. CVD metodunda grafit tabakaları nikel, paladyum gibi farklı geçiş metalleri üzerine biriktirilmektedir [29]. Yöntem temelinde buhar fazında bulunan karbon atomlarının, altlık malzeme olarak kullanılan geçiş metallerinin yüzeyine biriktirilmesi daha sonra ayırıcı bir ajan (örn; demir klorür vb) ile yüzeyden ayrılması esasına dayanmaktadır [30].

Grafenin silisyum karbür (SiC) üzerine büyütülmesi epitaksiyel büyüme yöntemidir. SiC altlığın 1150-2000 °C aralığında ısıtılmasına bağlı olarak silisyum desorpsiyona uğrar ve yapıda kalan karbon atomları epitaksiyel olarak bir araya gelerek grafen yapısını oluşturmaktadır.

Grafen ve türevlerinin biyoyumluluğunu ve toksisitesini belirlemeye dair yapılan çalışmalarda sağlıklı memeli kök hücreleriyle sağlıklı ergin hücrelerde yer değiştirmeyi (migrasyonu) arttırarak hücresel gelişime yol açtığı gözlemlenmiştir [31,32]. Şekil 5'de grafenin farklı kullanım alanlarına dair görsel verilmiştir.



Şekil 5. Grafenin farklı biyomalzeme alanında kullanıldığı alanlara ait örnekler

Grafen ve türevleri kemik iskeleti üretiminde, mekanik mukavemet, hücreler arası adhezif yüzey, düşük toksisite özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir[33].Grafen oksit yapısında alkol, karboksil asit ve epoksi grubunu yüksek miktarda bulundurması nedeniyle biyomedikal uygulamalarda en çok tercih edilen grafen türevidir[34].Grafenin vücutta yüksek miktarda kullanımı sitoksisiteye neden olduğu için tüm grafen ve türevleri biyomedikal uygulamalarda belli oranlarda kullanılmalıdır.Biyomedikal uygulamalarda kritik oran aşılmamalıdır. Grafenoksit ve diğer grafen türevlerinin biyoyumluluğunu arttırmak için kallojen, kitosan, polietilen, glikol gibi polimer ve çeşitli proteinlerle kaplanarak kullanılmaktadır [34]. Grafenoksit yapısının farklı malzemelerle kompozit haline getirilerek üretilen biyomalzemenin vücutta kullanım ömrünün arttırdığı ve hücrel büyüme pozitif etkilediği raporlanmıştır [35].

Kemik dokularının doğuştan bozukluklarında, sonradan oluşan farklı kemik kusurları ve kırılıklarının onarımları oldukça zor işlemlerdir. Kemığın kendisini yenilenmesinde; kemik kaybı ve enfeksiyon gibi ciddi problemler ortaya çıkmaktadır. Kemik hacmini arttırmanın en yaygın yöntemlerinden birisi aşı(greft) yöntemidir. Aşılamaya alternatif olarak seramik esaslı kemikler iskeleleri klinik uygulamalarda kullanılmaktadır. Biyoseramikler inert ya da biyoaktif olabilmektedir.Daha sonraki süreçlerde fizyolojik özellikleri destekleyen yüksek doku uyumluluğuna sahip kalsine matris oluşturmaktır. Seramik esaslı malzemelerin yüksek biyoyumluluk göstermelerine karşın seramiklerin kırılma tokluklarının düşük olması, yavaş emilim oranları, zor şekillendirilmeleri dezavantajdır[36].Seramik malzemelerin kırılma tokluklarının geliştirilmesi amacıyla yapıya grafen türevleri katılarak oluşturulan kompozit malzemeler biyolojik uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.Özellikle grafen ve türevleri ile kompozit yapılan seramik matrisli biyomalzemelerin in vitro ve in vivo testlerinde mekanik özelliklerin geliştirildiği gözlemlenmektedir [36].

Seramik esaslı grafen kompozitlerin özellikleri; yapıdaki grafenin homojen dağılımına ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak grafen yapısında oluşan bozunmaya bağlıdır. Pek çok bilim adamı seramik matris içerisinde homojen dağılmış grafen katkılı kompozit malzemeler üretmek için çabalamaktadır [37]. Literatür çalışmalarında akermanit-grafen [38], Silisyumdioksit(SiO_2)-GO [39], Alümina(Al_2O_3)-GO [40], Silisyumkarbür (SiC)-GO [41], titanyumkarbür-grafen [42] çalışmaları raporlanmıştır Şekil 6' da grafenin farklı seramik malzemelere olan katkısı ile kırılma tokluğunun değişimine ait görsel verilmiştir.



Şekil 6. Seramik esaslı kompozit malzemelerde grafen katkısının etkileri

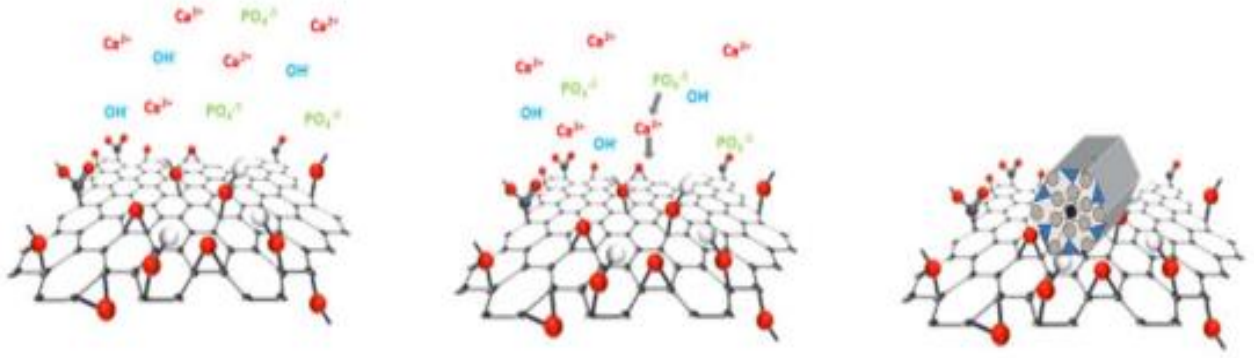
Alüminyum, silisyum, nitrür kullanılan seramik esaslı kompozitler için toz hazırlama işlemleri ortak yöntemler kullanılarak hazırlanmaktadır [38]. Seramik esaslı tozların çoğunluğu ultrasonik ya da mekanik öğütme yöntemleri ile elde edilmektedir. Seramik esaslı tozların eldesinde kullanılan diğer bir yöntem sol jel yöntemidir. Sol jel metodunda solüsyon içerisinde kullanılan hammaddelerin çözünmesi ve homojen dağıtılması en önemli aşamadır. Sol jel prosesinde homojen dağılmış süspansiyon hazırlamak yoğunlaşmaya dayanmaktadır.

Literatür çalışmalarında; iyi çözülmüş bir tetrametil ortasilikat grafen solüsyonu ultrasonik yöntemi ile elde edilmiştir. Daha sonra hidrolizi sağlamak için asidik su gibi bir katalitik eklenmiş ve sonra oda sıcaklığında yoğunlaşma ile kompozit jeller elde edilmiştir [43]. Zıt yükleri olan kolloidal partiküller birbirini çektiği için homojen dağılmış tozlar elde edilmektedir. Yapılan çalışmada bu yöntem ile homojen çözelti elde edilmiştir. Sol jel prosesinde homojen tozun elde edilmesi için anahtar faktör homojen dispersiyon elde edilmesinden geçmektedir [44].

Sinterleme aşamasında yüksek sıcaklık ile çalışılması seramik matrisli kompozit malzemeler için önemli ve zorunlu bir aşamadır. Grafen katkılı seramik kompozitlerin Grafen seramik kompozitlerin %90'ı sıcak izostatik presleme ve mikrodalga yöntemi ile sinterlenmektedir. İki yöntem arasında en etkili ve en çok tercih edilen sıcak izostatik presleme yöntemidir [45,46]. Sıcak izostatik yönteminde hızlı ısıtma nedeniyle sinterleme verimliliği artar ve bu sayede grafen yapısında bozunmalar, tane büyümeleri önlenmektedir. Diğer bir avantajı kullanılan basıncın etkisiyle kompozit malzemelerde yoğunlaşma oranı arttığı için sinterleme sıcaklığı düşürülebilmektedir [47]. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda sinterleme esnasında GO indirgenmeside gerçekleşmektedir [48].

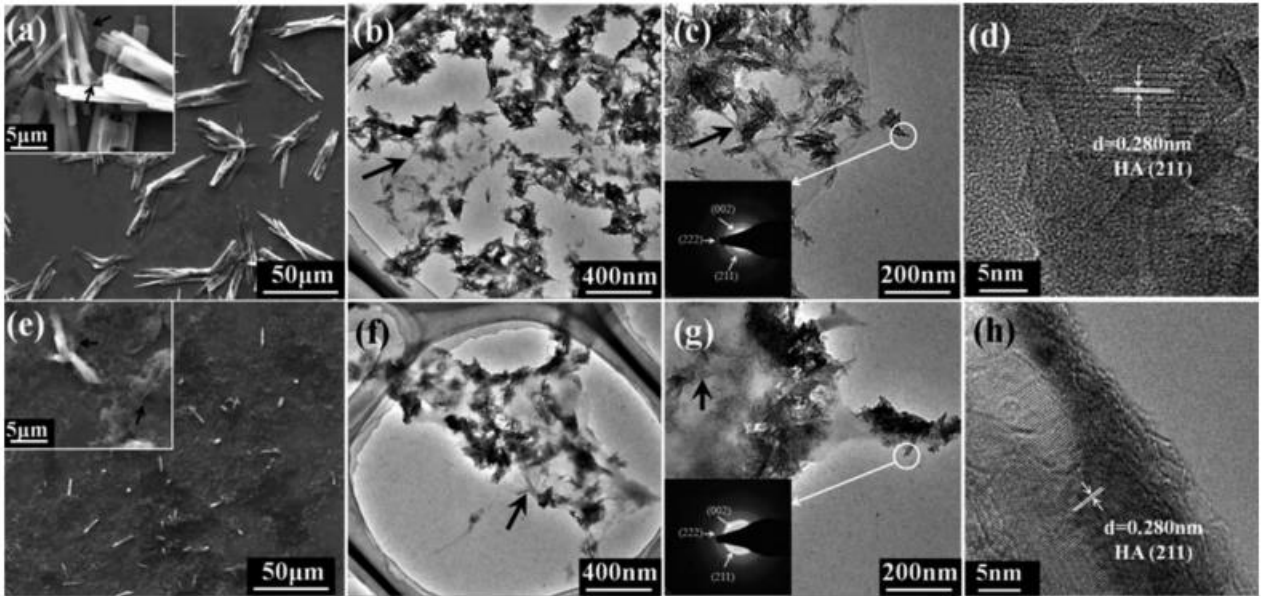
Ancak SPS yöntemi ile grafenle güçlendirilmiş seramik kompozit kemik iskeletlerinin üretilmesi mümkün değildir. Ancak DIW (direct ink) yöntemi ile iç bağlantılı 3D poroz kemik iskeletlerinin üretimi mümkündür. Üretilen kemik iskeletlerinde porozite boyutu, miktarı ve iç bağlantıları kullanılan yöntem sayesinde kontrol edilebilmektedir. Tüm bu avantajlara rağmen kemik iskeletlerinin DIW yöntemi ile üretiminde yüksek hassasiyet gerekmektedir [49].

Cam seramik olan hidroksiapatitin üstün özellikleri doku mühendisliği uygulamaları için yeterli değildir [50]. Bu nedenle vücutta kullanım ömrü uzun, kolay üretilir ve yüksek mekanik özelliklere sahip kompozit yapılar dizayn edilmektedir [51]. Kemik doku yapılarında en çok tercih edilen HA cam seramiğinin düşük mekanik özellikleri, kendisinden çok daha mukavemetli GO ile katkılıandığında elde edilen biyokompozit insan vücudu için kullanılabilir hale gelmektedir. Şekil 7'de GO-HA kompozit malzemelerinin moleküler etkileşim görseli verilmiştir.



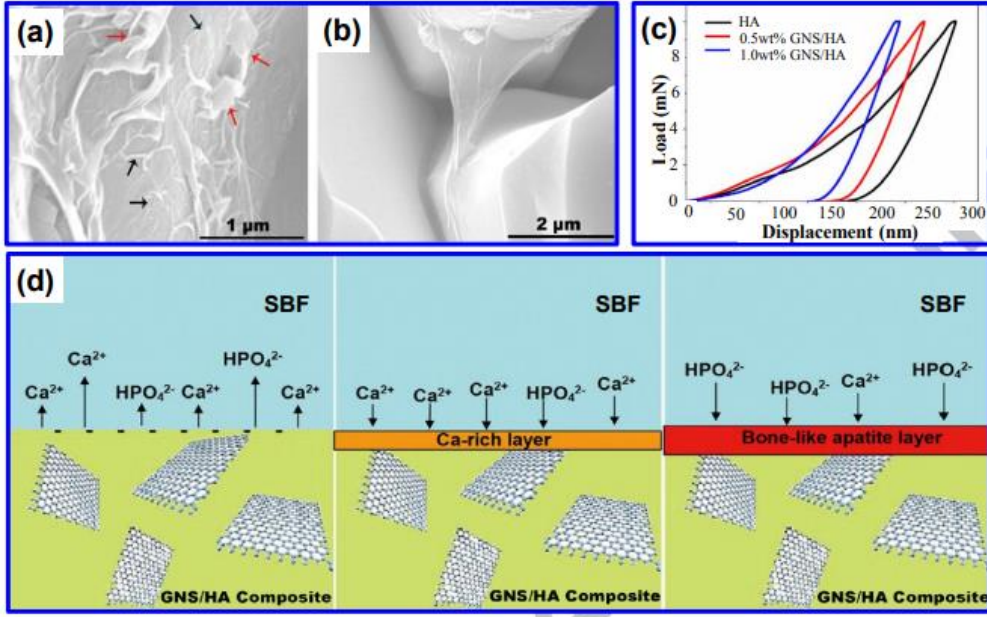
Şekil 7. GO-HA biyoseramik kompozit malzemeye ait şematik görsel[52].

2013 yılında Li ve arkadaşları önceden hazırlamış oldukları hidroksiapatit (HA) nanopartiküllerine 200 ml GO solüsyonu ekleyerek 37°C’de homojen olarak karışım elde edilene kadar karıştırmışlardır. Daha sonra amonyum solüsyonu ile pH sabitleyerek 37°’de 60dakika karıştırmışlardır. Hazırlanan solüsyona damla damla diamonyum fosfat eklenerek karıştırma işlemine devam edilmişlerdir. Nihai solüsyonu filtrelemişlerdir. Filtrelenmiş solüsyonu oda sıcaklığında 6 saat, 60°C’de 24 saat bekletilerek kurutarak biyokompozit malzemeyi üretmişlerdir. Elde ettikleri seramik esaslı kompozit yapıların sertlik ve elastikiyet modülünün arttığını raporlamışlardır [53]. Li ve arkadaşlarının elde ettikleri TEM görüntüleri Şekil 8’de verilmiştir.

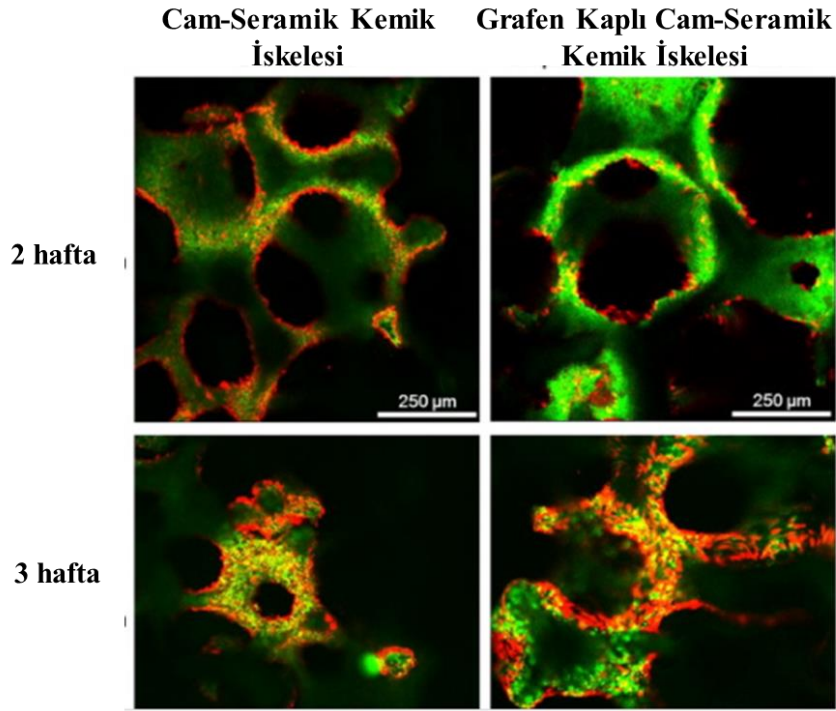


Şekil 8. Li ve arkadaşlarının elde ettikleri sonuçlar (a,c) GO-HA kaplı num materyallerin SEM ve TEM görüntüleri, (e,g)kitosan-GO-HA kompozitleri (c,g) seçili alan taraması (d)GO-HA kompozitinde HA ait kristal latis (h)kompozit[53].

Şekil 9’da Zhang ve arkadaşlarının deneysel sonuçları verilmiştir. L Zhang ve arkadaşları GO-HA nano tozlar sodyum çözeltisi ise disperse etmiş ve elde ettikleri seramik esaslı kompozitlerin yapıda oluşan çatlakları azalttığı, yapıyı güçlendirdiğini raporlamışlardır. Ayrıca GO katkısının biyoyumuluk etkisini geliştirdiğini raporlamışlardır[54,56].



Şekil 9. Zhang ve arkadaşlarının elde ettikleri sonuçlar[55].

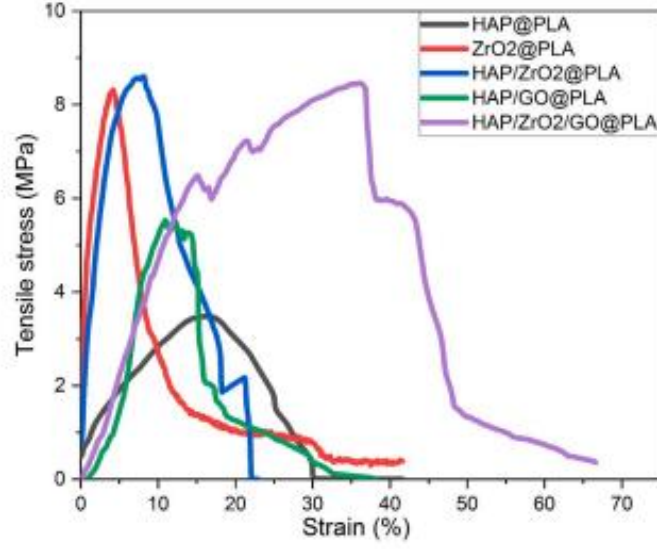


Şekil 10. Grafen kaplı kemik iskelesi uygulaması[56].

Şekil 10'da Fabri ve arkadaşlarının üretmiş oldukları kemik iskelesinin biyolojik testi sonuç görselleri paylaşılmıştır. Fabri ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada grafen kaplanmış cam seramik kemik iskelesi uygulamasında yaptıkları hücre kültürü testi sonucunda hücre kültür aktivitesinin destelendiğini ve biyoyumlu olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca hücre kültürüne elektrik alan uygulandığında grafenin elektriksel özellikleri nedeniyle doku büyümesini desteklediğini raporlamışlardır.

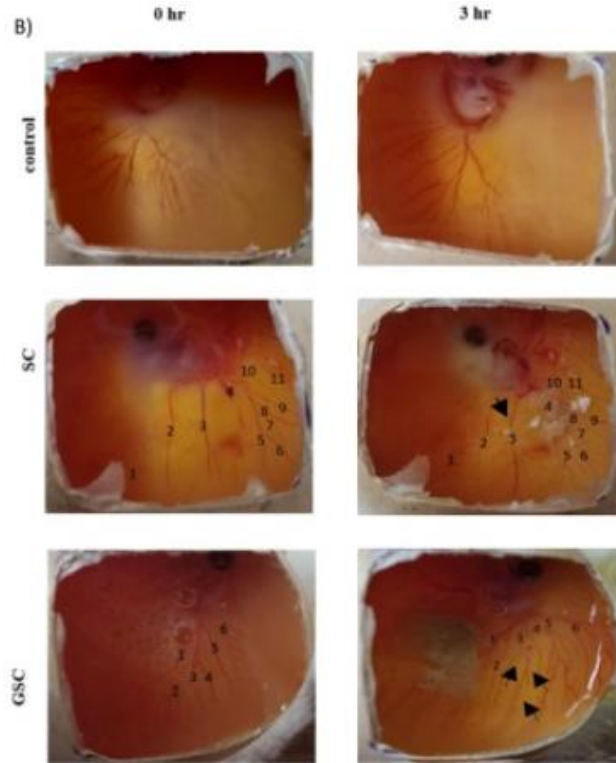
2021 yılında Wafi ve arkadaşları Zirkonyumdioksit(ZrO_2)–Hidroksiapatit(HA)-grafenoksit(GO)-polilaktikasit(PLA) kompozitlerinin yara iyileştirme uygulamaları için kullanımını incelemişlerdir.

HAP/ZrO₂/GO@PLA yapısının antibakteriyel özelliklerinin ve mekanik özelliklerinin (örn; çekme dayanımını) yüksek olduğunu ve kemik doku uygulamaları için uygun olduğunu raporlamışlardır. Şekil 11'de Wafi ve arkadaşlarının elde etmiş oldukları çekme dayanımı diyagramı paylaşılmıştır[57].



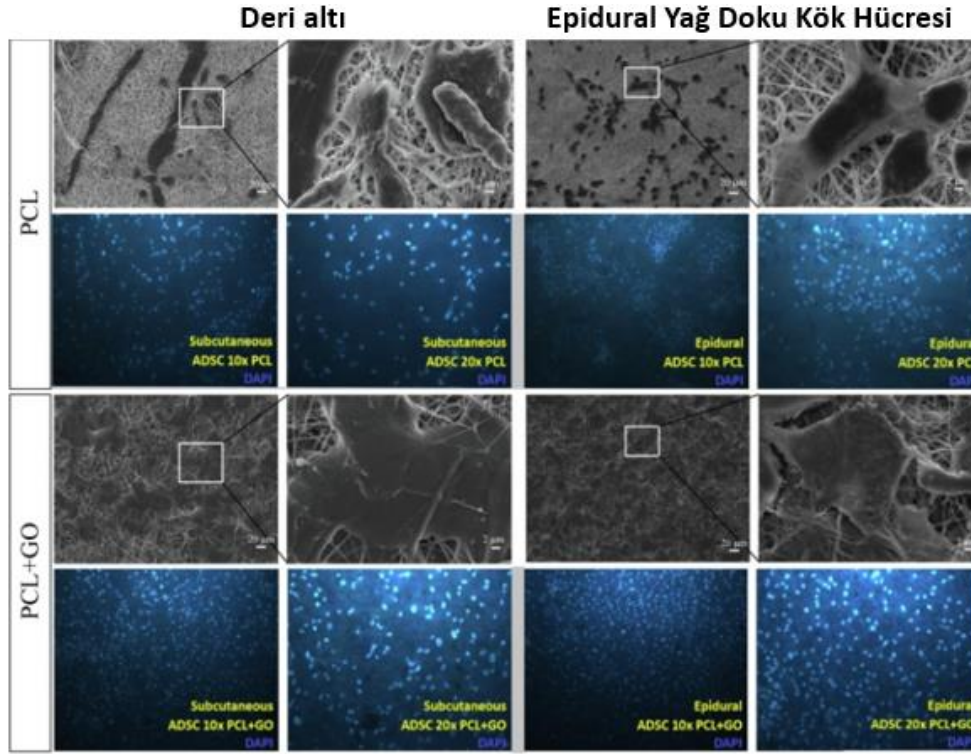
Şekil 11. Wafi ve arkadaşlarının çalışmalarında elde ettikleri çekme dayanımı diyagramı[57].

Jayavardhini ve arkadaşları 2022 yılında grafensoksit-kolojen/serisin kompozit kemik iskeleleri üretmiş ve civciv embriyosunda testleri yapılmıştır. Yapılan test sonucunda civciv embriyolarında yeni kan damar oluşumunun gözlemlendiğini ve anjiyogenez ile ilişkili hastalıkların tedavisini olumlu etkilediğini bildirmişlerdir. Şekil 12'de Jayavardhini ve arkadaşlarının yapmış olduğu anjiyogeneze dair test görüntüleri verilmiştir [58].



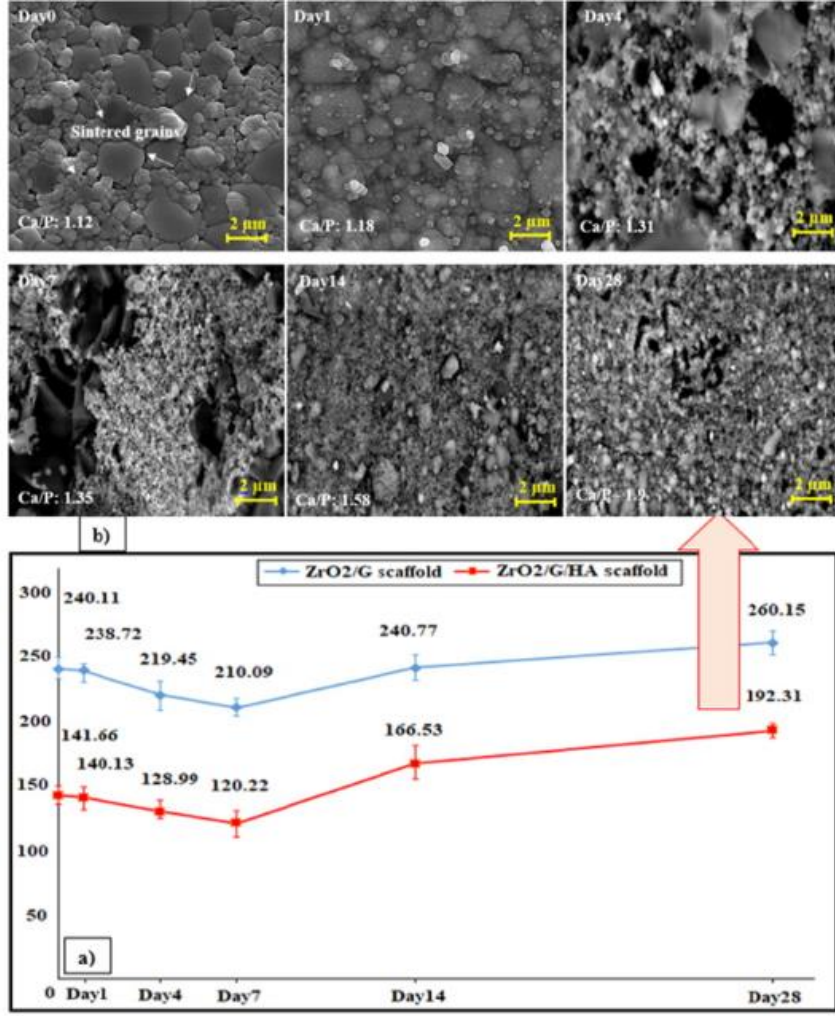
Şekil 12. Jayavardhini ve arkadaşlarının yapmış oldukları anjiyogenez ile ilişkili testlere ait görseller[58].

Pınar ve arkadaşları 2022 yılında Polikaprolakton(PCL)-grafenoksit kemik iskeleleri üretmiştir. Pınar ve arkadaşları PCL içerisine grafenoksit içeriği arttıkça nöronal farklılaşmanın etkilerinin arttığını raporlamışlardır. Pınar çalışmaları kapsamında deri altından ve epidural alandan alınan yağ doku kök hücrelerinin nöronal farklılaşmasını incelemişlerdir. Deri altından alınan örneğe göre epidural bölgeden alınan numunenin nöronal farklılaşma potansiyelinin daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Üretilen PCL-GO kemik iskelelerinin gelecekte omurilik yaralanmaları için uygun bir iskele olduğunu bildirmişlerdir. Şekil 13’de Pınar ve arkadaşlarının yapmış oldukları iskelelere ait SEM görüntüleri verilmiştir[59]. Şekil 13’de Pınar ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalara ait SEM görüntüleri verilmiştir.



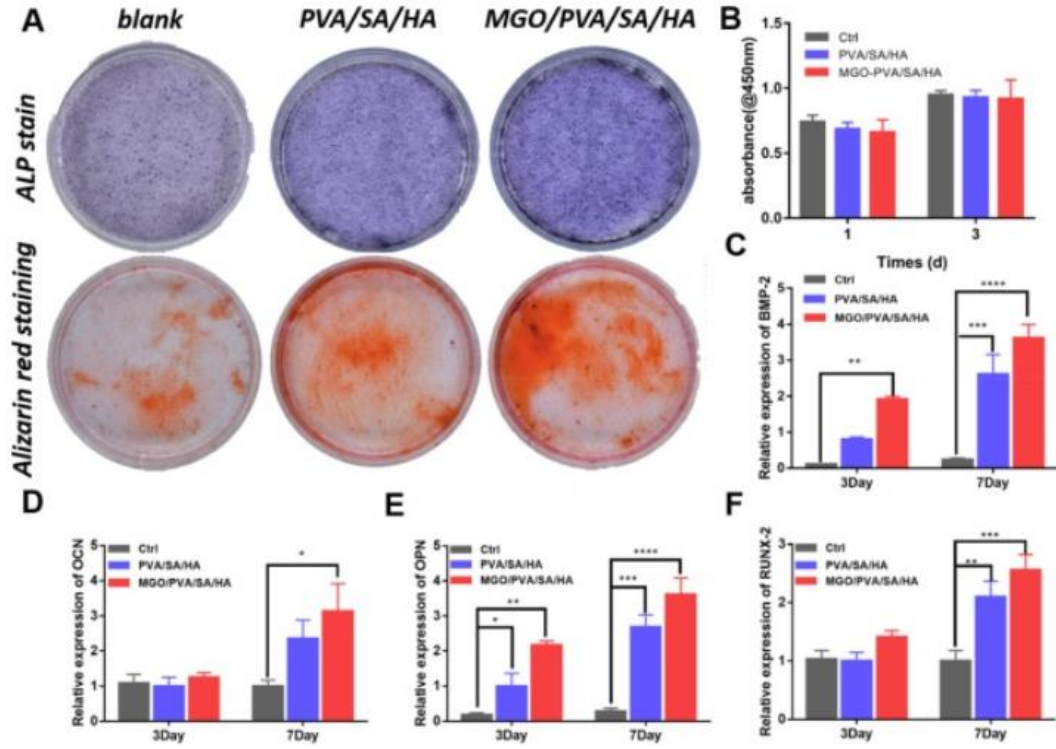
Şekil 13. Pınar ve arkadaşlarının yapmış oldukları kemik iskelelerine ait SEM görüntüleri[59].

Shadinanlou ve arkadaşları 2022 yılında yaptıkları çalışmada ZrO₂/RGO/HA kompozit kemik iskeleleri hidrotermal yöntemle üretmiş ve mekanik dayanımları üzerine çalışma yapmışlardır. Kompozit kemik iskelesi 28 gün SBF testinden sonra 240.11 Mpa elde etmişlerdir. Şekil 14’de Shadinanlou ve arkadaşlarının yaptıkları mekanik testlere ait görsel verilmiştir. Hidrotermal yöntemin düşük maliyetli ve toksik olmadığını raporlamışlardır[60]. Şekil 14’de Shadinanlou ve arkadaşlarının yaptıkları mekanik test sonuçları ve SEM görselleri verilmiştir.



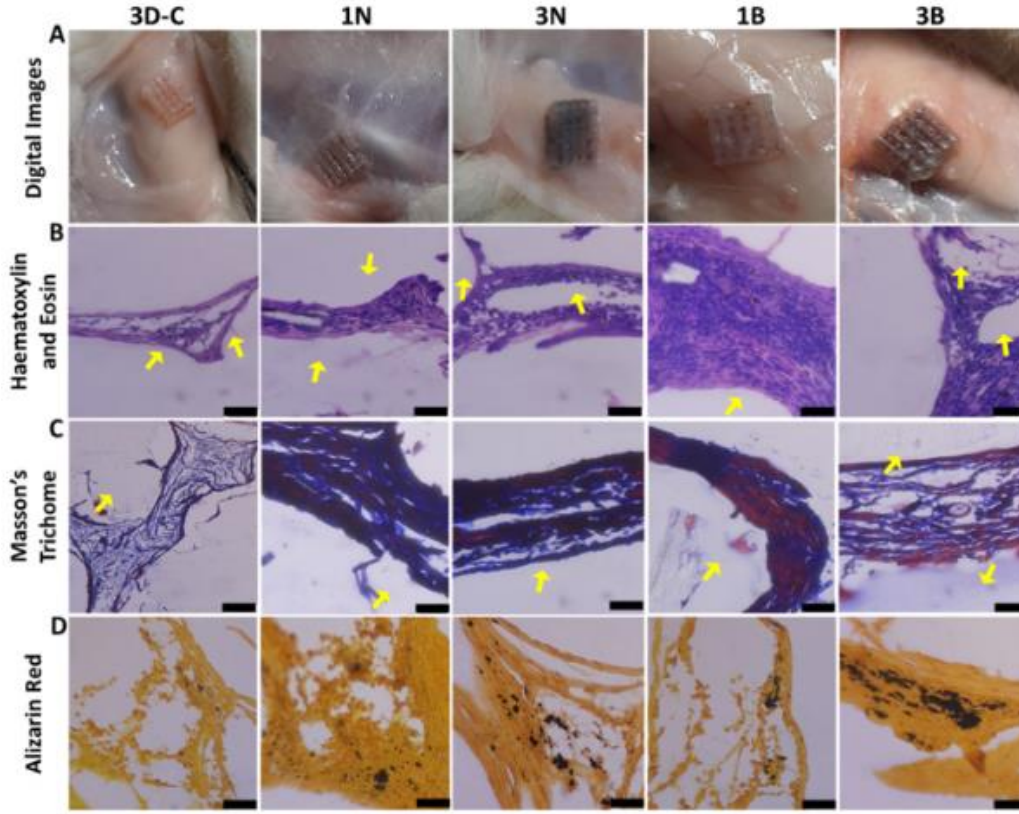
Şekil 14. Shadinanlou ve arkadaşlarının yapmış oldukları kemik iskelelerine ait SEM görüntüleri ve basma dayanımı sonuçları[60].

2022 yılında Li ve arkadaşları 3D hidrojel form içerisine manyetik parça yüklenmiş grafenoksit kemik iskeleleri üretmiş ve tümör tedavisi, kemik rejenerasyonu için uygunluğu üzerine çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada manerik parçacık yüklenmiş GO(MGO) konsantrasyonu arttıkça matris dışı minerilazasyonda artış gözlemlendiğini bildirmişlerdir. Ayrıca MGO katkısı ile alkain fosfat aktivitesinin yüksek olduğunu bildirmişlerdir. In vivo testleri sonucunda anti tümör etkisi yarattığını raporlamışlardır [61]. Li ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalara ait görseller Şekil 15’de verilmiştir.



Şekil 15. Li ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalara ait sonuçlar[61].

2021 yılında Sharma ve arkadaşları go-polydopamin katkılı PLA kemik iskeleleri üretmiş ve ürettikleri iskelelerin biyolojik testlerini yapmıştır. Ürettikleri iskelelerin antioksidant, antibiyofilm, damar oluşumunu destekleyen, kemik doku oluşum olan (osteoinduktör) olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca ürettikleri iskelelerin azalan oksijen nedeniyle enfeksiyona bağlı biyofilm oluşumunun engellediğini ve kemik oluşumunu desteklediğini bildirmişlerdir. Şekil 16’da 21 günlük osteogenik farklılaşmadan 28 gün boyunca deri altından sıçanlara enjekte edilmiştir[62]. Alirazin kırmızı boyamasında osteositlerin in vivo teslerinde kalsiyum fosfat kristallerine bağlı olarak aktivitelerini koruduğunu göstermektedir.



Şekil 16. Sharma ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmalarına ait sonuçlar[62].

IV. SONUÇ

İnsanlık tarihinin en başından itibaren biyokompozit malzemeler kullanmışlardır. Ancak kullanılan materyallerden metal esaslı olan malzemelerin kullanım ömürlerinin kısa olması, korozif dayanımlarının düşük olması gibi sebeplerden dolayı farklı alternatiflere yönelinmiştir. Malzeme grupları arasında bulunan seramiklerin vücutla uyumluluğu oldukça yüksektir. Biyoseramik malzemeler vücudun zarar görmüş organ ya da dokuların işlevlerini yerine getirmek ve onarmak amacıyla kullanılmaktadır. Biyoseramik malzemelerin içeriğinde bulunan apatit fazından dolayı kemik ile neredeyse birebir uyumluluk göstermektedir. Dolayısıyla bu yapılar vücutta kemik iskeleti olarak kullanılmaktadır. Ancak tüm seramiklerde olduğu gibi biyoseramik malzemeler düşük kırılma tokluğuna sahiptirler. Vücudun her organının belli bir işleve (yük taşıma- çiğneme-yütüme vb) sahip olması nedeniyle belli taşıma kapasiteleri vardır. Vücutta kullanımının artırılması için mekanik özellikleri(kırılma tokluğu) ve biyouyumluluklarının geliştirilmesi gerekmektedir. Grafen elektriksel ve biyolojik olarak üstün özelliklere sahip bir materyaldir. Araştırmacılar grafenin yıllardır elektriksel, optik biyolojik vb gibi geniş bir kullanım alanına sahip olduğunu raporlamışlardır. Litartürde; seramik malzemelerin içerisine grafen takviyesi ile matris fazı olan seramiklerin; kırılma tokluğu ve biyouyumluluk özelliklerinin geliştiğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Yapılan çalışmalarda; GO katkılı seramik kompozitlerin sertlik ve kırılma tokluklarının arttığı raporlanmıştır. Kemik ile yapısı en çok benzeyen biyoseramik malzeme HA 'dır. Yapılan literatür çalışmalarında grafen katkılı Ha materyallerin kırılma tokluğu, sertlik ve biyoaktivite özelliklerinin geliştiği gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda hala üretim yöntemi, sinterleme sıcaklığı gibi araştırılabilecek farklı başlıklar mevcuttur.

Kemik doku uygulamaları son zamanlarda ulaşılabilirliği ve etkisi artmış bir metod halini almıştır. Gelecek yıllarda kemik iskelesi uygulamaları araştırmacıların odak noktası haline gelecektir. İnsan hayat standartlarını arttıracak olan bu uygulamalar için hala belli sınırlamalar mevcuttur. Bu nedenle

öncelikle biyolojik uyumluluk, standartlaşma ve ekonomik ulaşılabilirlik kısmı detaylı olarak incelenmelidir. Grafen esaslı kemik iskelelerinin kemik iskelesinin temas ettiği dokuda büyümeyi desteklediği literatür çalışmalarında mevcuttur. Ancak yapılan çalışmalarda çalışmalar HA gibi bilinen biyoseramik malzemeler kullanılmıştır. HA yapısına çok benzeyen ve kemik ile uyumluluğu çok iyi olan AW(apatit-wollostanit) cam seramiği ile benzer çalışmalar yapılarak doku büyümesi geliştirilebilir. Üretilen grafen esaslı kemik iskeleleri kaplama olarak çalışıldığında grafenin elektriksel özellikleri sayesinde doku büyümesini desteklediği bilinmektedir. Bu nedenle yapıya dku büyümesini geliştirebilecek ve tamamen biyoyumlu malzemeler katkılanarak yeni tip kemik iskeleleri üretilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Y. Liu, L. Shi, L. Su, H.C. van der Mei, P.C. Jutte, Y. Ren, H.J. Busscher, “Nanotechnology-based antimicrobials and delivery systems for biofilm-infection control,” *Chem. Soc. Rev.*, vol.48, no.2, pp. 428–446, 2019.
- [2] G. Kaur, S.K. Mehta, S. Kumar, G. Bhanjana, N. Dilbaghi, “Coencapsulation of hydrophobic and hydrophilic antituberculosis drugs in synergistic Brij 96 microemulsions: a biophysical characterization,” *J. Pharm. Sci.*, vol.104, no.7, pp.2203–2212, 2015.
- [3] PA. Gunatillake, R. Adhikari, “Biodegradable synthetic polymers for tissue engineering,” *Eur Cell Mater*, vol. 20, no.5, pp. 1–16, 2003.
- [4] V. Rosa, B. Della, BN. Cavalcanti, JE. Nör, “Tissue engineering: from research to dental clinics,” *Dent Mater*, vol. 28, no.4, pp. 341–8, 2012.
- [5] KB. Armstrong, LG. Bevan, WF. Cole, “Care and repair of advanced composites,” SAE International; 2005.
- [6] R.Y. Basha, K.Sampath, M. Doble, “Design of biocomposite materials for bone tissue regeneration,” *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, vol. 57, pp.452–63, 2015.
- [7] A. Khademhosseini, R. Langer, “A decade of progress in tissue engineering,” *Nat Protocol*, vol. 11, no. 10, pp. 1775–81, 2016.
- [8] S. V. Vlierberghe, P. Dubruel, E. Schacht, “Biopolymer-based hydrogels as scaffolds for tissue engineering applications: a review,” *Biomacromolecules*, vol.12, no. 5, pp.1387–408, 2011.
- [9] A. H. Pearce, Y. S. Kim, L.D.Gomez, A. G.Mikos, “Tissue engineering scaffolds,” , pp 1317-1334, 2020.
- [10] N. Krishnamoorthy, YT. Tseng, P. Gajendrarao, P. Sarathchandra, A. McCormack , I. Carubelli, “A novel strategy to enhance secretion of ECM components by stem cells: relevance to tissue engineering,” *Tissue Eng*, vol. 24, no. 1-2, pp. 145–56, 2017.
- [11] ME. Gome, MT. Rodrigues, RMA. Domingues, RL. Reis. “Tissue engineering and regenerative medicine: new trends and directions-a year in review,” *Tissue Eng Part B Rev* vol. 23, no. 3, pp. 211–24, 2017.
- [12] B. Sitharaman, X. Shi, XF. Walboomers, H. Liao, V. Cuijpers, LJ. Wilson, A. G. Mikos, J.A. Jansen “In vivo biocompatibility of ultra-short single-walled carbon nanotube/ biodegradable polymer nanocomposites for bone tissue engineering,” *Bone*, vol. 43, no.2, pp. 362–70, 2008.

- [13] T. Umeyama, H. Imahor, "Photofunctional hybrid nanocarbon materials," *J Phys Chem C*, vol. 117, no.7, pp.3195–209, 2012.
- [14] X. Yu, X. Tang, SV. Gohil, CT. Laurencin, "Biomaterials for bone regenerative engineering", *Adv Health Mater*, vol.4, no.9, pp.1268–85, 2015.
- [15] S. W. Hong, J. H. Lee, S. H. Kang, E. Y. Hwang, Y. S. Hwang, M. H. Lee, J. C. Park, "Enhanced neural cell adhesion and neurite outgrowth on graphene-based biomimetic substrates," *Biomed Res Int*, vol. 212149, no. 16, 2014.
- [16] C. Lee, X. Wei, JW. Kysar, J. Hone, "Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene," *Science*, vol. 321, no.5887, pp.385–8, 2008.
- [17] V. Rosa, H. Xie, N. Dubey, TT. Madanagopal, SS. Rajan, JL. Morin, "Graphene oxide-based substrate: physical and surface characterization, cytocompatibility and differentiation potential of dental pulp stem cells," *Dent Mater*, vol.32, no.8, pp.1019–1025, 2016.
- [18] S. Pei, H-M. Cheng, "The reduction of graphene oxide," *Carbon*, vol.50, no.9, pp. 3210–3228, 2012.
- [19] DR. Dreyer, S. Park, CW. Bielawski, RS. Ruoff, "The chemistry of graphene oxide," *Chem Soc Rev*, vol. 39, no.1, pp. 228–40, 2010.
- [20] J. Morin, N. Dubey, F. Decroix, E. Luong-Van, AH. Castro Neto, V. Rosa, "Graphene transfer to 3-dimensional surfaces: a vacuum-assisted dry transfer method," *2D Mater*, vol.4, no.2, pp.025060, 2017.
- [21] A.K. Geim, K.S. Novoselov, "The rise of graphene", *Nat. Mater.* vol.6, pp.183–191, 2007.
- [22] L. Brown, R. Hovden, P. Huang, M. Wojcik, D.A. Muller, J. Park, "Twinning and twisting of tri- and bilayer graphene," *Nano Lett.*, vol. 12, no.3, pp.1609–1615, 2012.
- [23] C. Gardin, A. Piattelli, B. Zavan, "Graphene in regenerative medicine: focus on stem cells and neuronal differentiation," *Trends in biotechnology*, vol.34, no.6, pp.435-437, 2016.
- [24] D.Galpaya, "Synthesis, Characterization and Application of Graphene Oxide-Polymer Nanocomposites," *Master of Polymer Engineering*, Queensland University of Technology, 2015.
- [25] E. R. Susan, "Synthesis of graphene platelets," Durham Thesis, Department of Chemistry, Durham University, 2015.
- [26] S. Bae, H. Kim, Y. Lee, X. Xu, J.-S. Park, Y. Zheng, S. Iijima, "Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes," *Nature Nanotechnology*, vol.5, no.8, pp.574–578, 2010.
- [27] R. O. Brennan, "The Interlayer Binding in Graphite," *The Journal of Chemical Physics*, vol. 20, no.1, pp. 40–48, 1952.
- [28] A. Dimiev, D.V. Kosynkin, L.B. Alemany, P. Chaguine, J.M. Tour, "Pristine Graphite Oxide," *Journal of the American Chemical Society*, vol.134, no.5, pp. 2815–2822, 2012.
- [29] C. Mattevi, H. Kim, M. Chhowalla, "A review of chemical vapour deposition of graphene on copper," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 21, no. 10, pp. 3324-3334, 2011.
- [30] A.N. Obraztsov, "Chemical vapour deposition making graphene on a large scale," *Nature Nanotechnology*, vol. 4, no. 4, pp. 212-213, 2009.

- [31] E. Bressan, L. Ferroni, C. Gardin, L. Sbricoli, L. Gobatto, F.S. Ludovichetti, B. Zavan, "Graphene based scaffolds effects on stem cells commitment," *Journal of translational medicine*, vol. 12, pp.296, 2014.
- [32] F. Mena, A. Abdelghani, ve B. Mena, "Graphene nanomaterials as biocompatible and conductive scaffolds for stem cells: impact for tissue engineering and regenerative medicine," *J Tissue Eng Regen Med*, vol. 9, no. 12, pp. 1321-1338, 2014.
- [33] L. Cao, F. Zhang, Q. Wang, X. Wu, "Fabrication of chitosan/graphene oxide polymer nanofiber and its biocompatibility for cartilage tissue engineering," *Materials Science and Engineering: C*, vol. 79, pp. 697-701, 2017.
- [34] K. Hu, D.D. Kulkarni, I. Choi, V.V. Tsukruk, "Graphene-polymer nanocomposites for structural and functional applications," *Progress in Polymer Science*, vol. 39, no. 11, pp.1934-1972, 2014.
- [35] E. Murray, S. Sayyar, B.C. Thompson, R. Gorkin, D.L. Officer, ve G.G. Wallace, "A bio-friendly, green route to processable, biocompatible graphene/polymer composites," *RSC Advances*, vol. 5, no. 56, pp. 45284-45290, 2015.
- [36] A. Tonetto, P.W. Lago, M. Borba, V. Rosa, "Effects of chondro-osseous regenerative compound associated with local treatments in the regeneration of bone defects around implants: an in vivo study," *Clin Oral Investig*, vol. 20, no.1-8, 2016.
- [37] H. Porwal, R. Sagar, "Ceramic matrix nanocomposites. In: Beaumont PWR, Zweben CH, editors," *Compr Compos Mater II. Oxford: Elsevier*, pp.138-61, 2018.
- [38] C. Shuai, P. Feng, P. Wu, Y. Liu, X. Liu, D. Lai, "A combined nanostructure constructed by graphene and boron nitride nanotubes reinforces ceramic scaffolds," *Chem Eng J*, v.313, pp.487-497, 2017.
- [39] Y. Fan, L.Wang, J. Li, S. Sun, F. Chen, "Preparation and electrical properties of graphene nanosheet/Al₂O₃ composites," *Carbon*, vol.48, no.6, pp.1743-1749, 2010.
- [40] H. Porwal, P. Tatarko, S. Grasso, C. Hu, AR. Boccaccini, I. Dlouhý, "Toughened and machinable glass matrix composites reinforced with graphene and grapheneoxide nano platelets," *Sci Technol Adv Mater*, vol.14, no. 5, pp. 055007, 2013.
- [41] A. Rahman, S. Singh, S. Karumuri, S.P. Harimkar, K.A. Kalkan, R.P. Singh, "Graphene reinforced silicon carbide nanocomposites: processing and properties," *Spr Inte Publing*, vol.4, pp. 165-176,2015.
- [42] X. Wang, M. Lu, L. Qiu, H. Huang, D.Li, H. Wang, "Graphene/titanium carbide composites prepared by sol-gel infiltration and spark plasma sintering," *Ceramic International*, vol. 42, no.1, pp.122-31, 2016.
- [43] H. Porwal, S. Grasso, M.J. Reece, "Review of graphene-ceramic matrix composites," *Adv Appl Ceram*, vol. 112, no.8, pp.443-54, 2014.
- [44] Z. Zeng, Y. Liu, W. Chen, X.Li, Q. Zheng, K.Li, "Fabrication and properties of in situ reduced graphene oxide-toughened zirconia composite ceramics," *American Ceramic Society*, vol. 101, no. 8, pp.3498-3507, 2018.
- [45] F. Inam, T. Vo, BR. Bhar, "Structural stability studies of graphene in sintered ceramic nanocomposites," *Ceramic International*, vol. 40, no.10, pp.16227-16233, 2014.

- [46] H. Yan, M.J. Reece, T. Peijs, “Structural and chemical stability of multiwall carbon nanotubes in sintered ceramic nanocomposite,” *Advances in Applied Ceramics*, vol. 109, no. 4, pp. 240–247, 2010.
- [47] M.A. Mazo, C. Palencia, A. Nistal, F. Rubio, J. Rubio, J.L. Oteo, “Dense bulk silicon oxycarbide glasses obtained by spark plasma sintering,” *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 32, no. 12, pp. 3369–3378, 2012.
- [48] H. Porwal, S. Grasso, M.K. Mani, M.J. Reece, “In situ reduction of graphene oxide nanoplatelet during spark plasma sintering of a silica matrix composite,” *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 34, no. 14, pp.3357–3364, 2014.
- [49] C. Shuai, C. Gao, P. Feng, S.Peng, “Graphene-reinforced mechanical properties of calcium silicate scaffolds by laser sintering,” *RSC Advances*, vol.4, no. 25, pp. 12782–12788, 2014.
- [50] D.A. Wahl, J.T. Czernuszka, “Collagen-Hydroxyapatite composite for hard tissue repair,” *Eur. Cells Mater.*, vol.28, no.11, pp.44-55, 2006.
- [51] Y.P. Lu, M.S. Li, S.T. Li, Z.G. Wang and R.F. Zhu, “Plasma sprayed hydroxyapatite - titania composite bond coat for hydroxyapatite coating on titanium substrate,” *Biomaterial*, vol. 25, no.18, pp. 4393-4403, 2004.
- [52] M. N. Özder, “Graphene Oxide/Hydroxyapatite Nanocomposite,” Thesis, İstanbul, 2018.
- [53] M. Li, Y. Wang, Q. Liu, Y. Cheng, Y. Zheng, S. Wei, “In situ synthesis and biocompatibility of nano hydroxyapatite on pristine and chitosan functionalized graphene oxide,” *Materials Chemistry B*, vol.1, no.4, pp. 478-484, 2013.
- [54] L. Zhang, W. Liu, C. Yue, T. Zhang, P. Li, Z. Xing, Y. Chen, “A tough graphene nanosheet/hydroxyapatite composite with improved in vitro biocompatibility,” *Carbon*, vol. 61, no. 11, pp. 105-115, 2013.
- [55] K. Yang, S. Zhang, G. Zhang, X. Sun, S.T. Lee, Z. Liu, Graphene in mice: ultrahigh in vivo tumor uptake and efficient photothermal therapy,” *Nano Letters* , vol.10, no. 9, pp. 3318-3323,2010.
- [56] P. Fabbri, L. Valentini, J. Hum, R. Detsch, AR. Boccaccini, “45S5 Bioglass®-derived scaffolds coated with organic–inorganic hybrids containing graphene,” *Mater Sci Eng C*, vol. 33, no.7, pp.3592–3600, 2013.
- [57] R. Wafi, S.F. Mansour, M.S. AlHammad, M.K. Ahmed, “Biological response, antibacterial properties of ZrO₂/hydroxyapatite/ graphene oxide encapsulated into nanofibrous scaffolds of polylactic acid for wound healing applications,” *International Journal of Pharmaceutics*, vol.601, pp.. 120517, 2021.
- [58] B.Jayavardhinia, Y. R. Pravin, C.Kumar, R.Murugesana, S. WeslenVedakumari, “Graphene oxide impregnated sericin/collagen scaffolds – Fabrication and characterization,” *Materials Letters*, vol.307, pp.131060, 2022.
- [59] E. Pinar, A. Sahin, S. Unal, O. Gunduz, F. Harman, E. Kaptanoglu, “The effect of polycaprolactone/graphene oxide electrospun scaffolds on the neurogenic behavior of adipose stem cells,” *European Polymer Journal*, vol.165, pp.111000, 2022.
- [60] F. Shadianlou, A. Foorginejad, Y. Yaghoubinezhad, “Hydrothermal synthesis of zirconia-based nanocomposite powder reinforced by graphene and its application for bone scaffold with 3D printing,” *Advanced Powder Technology*, vol. 33,no. 2, pp.103406, 2022.

- [61] Y. Lia, L. Huangb, G. Tai, F. Yan, L. Caid, C. Xin, S.Al Islam, “Graphene Oxide-loaded magnetic nanoparticles within 3D hydrogel form High-performance scaffolds for bone regeneration and tumour treatment,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol.152, pp.106672, 2022.
- [62] A. Sharma, S. Gupta, T.S.Sampathkumar, R. S.Verma, “Modified graphene oxide nanoplates reinforced 3D printed multifunctional scaffold for bone tissue engineering,” *Materials Science and Engineering: C*, vol.134, pp. 112587, 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bir İşletmeye Ait Yardımcı Tesislerin Enerji Tüketimi ve Verimliliğinin İncelenmesi

Özge CURA^{a,*}, Elif ÖĞÜT^b

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozgecura649@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.878810

Öz

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasında mevcut olan yardımcı işletmeler kısmının enerji tüketimleri incelenmiştir. Yardımcı işletmeler kısmı; kazan dairesi, kompresör dairesi, soğutma havuzu, idari bina, merkezi kontrol binası ve atölyeleri kapsamaktadır. Basınçlı hava tesisatının verimliliği hesaplanmış ve yorumlanmıştır, hesaplamalar sonucunda basınçlı hava tankı kapasitesi için 7125 Litre hacmin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer bölümlerin yıllık enerji tüketimlerinden ve yapılabilecek iyileştirme çalışmalarından bahsedilmiştir. Yıllık enerji tüketimleri bölümlere göre grafiklerle açıklanmış ve yorumlanmıştır. Kazan dairesi için yıllık enerji tüketimi 665686,6 kWh, kompresör dairesi için yıllık enerji tüketimi 1213552 kWh, soğutma havuzu için yıllık enerji tüketimi 77062 kWh, merkezi kontrol binası (CCR) için yıllık enerji tüketimi 177052 kWh, atölyeler için yıllık enerji tüketimi 41267 kWh olarak bulunmuştur. Ayrıca yapılan diğer çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiş ve fırın manto yüzeyindeki kayıplardan ve iyileştirme çalışmalarından bahsedilmiştir. Atık ısı geri kazanım sistemlerinin enerji verimliliği açısından faydalarına değinilmiştir. Sonuç olarak, gerek basınçlı hava tesisatında meydana gelen gerekse sistemsel olarak meydana gelen kayıpları en aza indirmek için , çevre boyutu da düşünülerek yapılması gereken ek tedbirlerden bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Enerji verimliliği, Yardımcı işletmeler

Investigation of Energy Consumption and Efficiency an Enterprise's Auxiliary Facilities

ABSTRACT

In this study, the energy consumption of the auxiliary enterprises part of a cement factory was investigated. Auxiliary businesses; It includes boiler room, compressor room, cooling pool, administrative building, central control building and workshops. The efficiency of the compressed air installation has been calculated and interpreted, as a result of the calculations, it has been concluded that the volume of 7125 liters is sufficient for the compressed air tank capacity. Annual energy consumption of other departments and possible improvement works are mentioned. Annual energy consumptions are explained and interpreted with graphics according to the departments. The annual energy consumption for the boiler room is 665686.6 kWh, the annual energy consumption for the compressor room is 1213552 kWh, the annual energy consumption for the cooling pool is 77062 kWh, the annual energy consumption for the central control building (CCR) is 177052 kWh, the annual energy consumption for the workshops is 41267 kWh found. In addition, other studies were examined in detail and the losses and improvement works on the furnace mantle surface were mentioned. The benefits of waste heat recovery systems in terms of energy efficiency are mentioned. As a result, additional measures that need to be taken considering the environmental dimension are mentioned in order to minimize the losses that occur both in the compressed air installation and in the system.

Keywords: Cement, Energy efficiency, Utility businesses

I. GİRİŞ

Enerji verimliliği veya enerji tasarrufu, mevcut enerjiyi en aza indirerek kaliteyi düşürmeden ekonomik kalkınmayı ve refahı sağlamanın başka bir boyutudur. Enerji verimliliği genel hatları ile düşünüldüğü takdirde, gaz, buhar, atık ısı, elektrik enerjisi, otomasyon sistemleri gibi birbirleriyle bağlantılı olan sistemlerde kaliteyi düşürmeden tasarruf sağlamak olarak da ifade edilebilir.

Enerji verimliliği çoğu gelişmiş ülkeler için bir politika olarak benimsenmektedir. Bu durumun başlıca sebebi olarak ise; enerjinin yoktan var edilememesi ve her enerji kaynağının bir gün ömrünü tamamlayacağı düşünülebilir, şartlar böyle olduğu için de gelişmiş ülkeler enerjiyi verimli kullanma konusunda daha duyarlı davranışlar sergilemektedir. Aynı zamanda yapılan enerji verimliliği çalışmaları sayesinde CO2 emisyon oranlarının da azaltılması çevre boyutu açısından önemli iyileştirme çalışmaları arasındadır [1].

Teknoloji tüm dünyada büyük ölçüde büyümüş ve bu büyüme ile büyük ölçüde otomasyon sistemlerini kullanılmaya başlanılmış, bu sebeple de elektrik tüketimi dolayısıyla enerji tüketimi de artmıştır. Endüstriyel alanlarda teknoloji ile üretilen makineler, üretim tesisleri için geliştirilen sistemler ve yaşam alanlarına konfor getirmek için üretilen elektronik cihazlar, doğal gaz sistemi, elektrik ve su tesisat sistemleri daha fazla enerji tüketimine neden olmaktadır. Enerji üretiminden daha fazla tüketilmesi söz konusu olduğu durumlarda enerjinin verimli kullanılmasını ve aynı zamanda maddi kayıpların minimuma indirilmesi daha sürdürülebilir bir çevre ortamına olanak tanıyacaktır, aynı zamanda ekonomik boyut düşünüldüğü takdirde mevcutta var olan enerjiyi doğru zamanda ve doğru şekilde kullanmak maddi kayıpları en aza indirecektir.

Literatürde enerji verimliliği, enerjinin kullanım alanları ve sanayi kuruluşlarındaki mevcut sistemlerin verimlilik çalışmalarından bahsedilmiştir.

Kojenerasyon sistemleri, sanayide kullanılan en önemli ve yüksek verimlilik sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler ısı ve elektriğin birlikte üretildiği sistemler olduğu için bileşik üretim anlamına gelen kojenerasyon adını almıştır. Aynı yakıt kaynağından daha fazla enerji üretebildiği için tek amaçlı üretim sistemlerinden daha avantajlıdır. Bir diğer avantajı ise çevreye daha duyarlı olmasıdır. Çünkü sistemde atık ısı kullanılmakta ve böylece doğaya daha az CO₂ salınımı yapılmaktadır. Günümüzde termik santrallerde elektrik ortalama %36 verimle, ısı ise ortalama %80 verimle üretilmektedir. Elektrik ve ısının ayrı ayrı üretilmesi sonucu ortalama %58'lik bir verim ortaya çıkmaktadır. Elektrik ve ısının birlikte üretildiği kojenerasyon uygulamalarında ise verim %85 dolaylarındadır ki bu değer çok büyük bir enerji verimliliği anlamına gelmektedir [1].

Birçok sanayi kuruluşunda basınçlı hava kullanılmaktadır ve basınçlı havayı sağlayan kompresörlerin ihtiyaca göre uygun seçilmeleri ile çalışma şartları verimlilik açısından oldukça önemlidir. Kompresör seçiminde işletmede kullanılacak gerekli hava miktarı ile basınç göz önünde bulundurulmalıdır. Kompresöre verilen enerjinin sürtünmeler haricinde kalan kısmının ısı enerjisi olarak havaya ve dış ortama verilmesi söz konusudur. Dışarıya atılan enerji termik olarak %94 civarındadır. Bu enerjinin tamamen geri kazanılması mümkün olmamakla beraber bir kısmı geri kazanılarak yapıların sıcak hava ile ısıtılması veya sıcak su elde edilmesi sağlanabilir [2].

Fırımlar, özellikle yüksek sıcaklıklarda çalışan tavlama fırınları, endüstriyel işletmelerde gerek yakıt tüketimi açısından gerekse çevreye verdiği atık gazların oluşturduğu kirlilik açısından mümkün olduğunca verimli çalıştırılması gereken sistemlerdir. Tav fırınlarının genelde ısı verimleri %35-45 arasındadır. Kayıplar en çok baca gazından olmaktadır ve bunun nedeni tav fırınlarının işlevleri gereği çok yüksek sıcaklıklarda ısıtma yapması, bunun için brülörlerde gerçekleşen yanma sonucunda sistemden dışarıya atılan gazın yüksek sıcaklıkta olmasıdır. 650°C civarında olan baca gazı enerjisi baca gazı debisi çok düşük olmamak kaydıyla muhtelif ekonomizer ve eşanjör uygulamaları ile ortam ısıtmasında, sistem girdilerinin ön ısıtmasında, kızgın su ve buharı ihtiyacının karşılanmasında ya da sıcak su üretiminde

kullanılabilir. Yüzey kayıplarının azaltılması için fırın iç yüzeyinin yalıtımı artırılarak bu sayede fırın yüzeyinden gerçekleşen radyasyon ve konveksiyon kayıplarının önüne geçilebilir [3]. Enerji yönetimi veya enerjinin işletmelerde daha verimli ve ekonomik kullanımı ile ilgili çalışmalar çeşitli aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar;

- Ön enerji etüt çalışmalarının yapılması
- Yönetim onayı ve diğer personellerin desteği
- Enerji tasarrufu sağlamaya yönelik tasarımlar ve düzenlemeler
- Son olarak ise eski sistem ile yeni sistemin karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasının yardımcı işletmeler kısmının yıllık enerji tüketimleri incelenmiştir. Enerji kullanımlarını daha verimli hale getirmek için çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca döner fırınının termodinamik analizi yapılarak verimlilik değeri bulunmuştur. Bu çalışmanın, çimento fabrikasından alınan veriler sayesinde ve yapılan alt yapı araştırmalarından sonra (yatırım ,bütçe-maliyet, geri ödeme süresi vb.) proje olarak değerlendirilmesiyle literatüre katkı sunması beklenmektedir.

II. ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE ENERJİ

TS EN 197-1 standardında çimentonun tanımı, “Çimento su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle çeşitli tepkimelere giren ve bunun sonucunda sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını ve kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş, hidrolik bağlayıcıdır” olarak yer almaktadır [4].

Çimento Üretim Aşamaları

- Hammadde çıkarma
- Öğütme
- Klinker üretimi
- Çimento öğütme
- Paketleme

Çimento sektörü ülkemizin en eski ve enerji tüketiminin yoğun olduğu sanayi türlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır [5].

Çimento sektöründe ısı ve elektrik enerjisi yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Çimentonun üretim maliyetinin yaklaşık %60-70'i enerjidir [6].

Çimento üretim süreçlerinin verimi hem prosesin çok büyük olmasından dolayı hem de sistemin belli bölgelerinde yüksek miktarda ısı kaybı olmasından dolayı düşüktür. Çimento üretim aşamalarından biri olan klinker üretim aşamasında yoğun olarak kullanılan ısı enerjisi nedeniyle ortaya çıkan atık gazların geri kazanımıyla enerji üretilmesi kavramı, 2008 yılından itibaren sektörel açıdan değerlendirilmeye başlanmıştır ve ilk tesislerin işletmeye alınması 2011 yılının ikinci yarısına tekabül etmektedir [7].

A. ATIK ISI GERİ KAZANIMI

AIGK (Atık Isı Geri Kazanım) sistemi ile, atmosfere atılan sıcak gazların belirli işlemlerden geçmesi sonucunda elektrik enerjisi üretimi mümkündür. Basit bir yaklaşımla, çimento sektöründe ortalama 3000 ton/gün (4 kademeli ön ısıtıcı ve pre-kalsinatörlü) klinker üretimine sahip bir klinker üretim hattından, kullanılan teknolojiye ve hammaddenin rutubetine bağlı olarak 3,0 ila 6,0 MW arasında bir elektrik enerjisi elde edilebilmek mümkün olabilmektedir. Fabrikaların enerji verimliliği şartlarına bağlı olarak, bu sistem ile elektrik üretimi 30 kw/ton.klinker ile 45 kw/ton klinker arasındadır [8]. Böylece, hem doğaya atılan atık ısı tekrardan kullanılarak elektrik üretilip ekonomik fayda temin edilmekte hem de

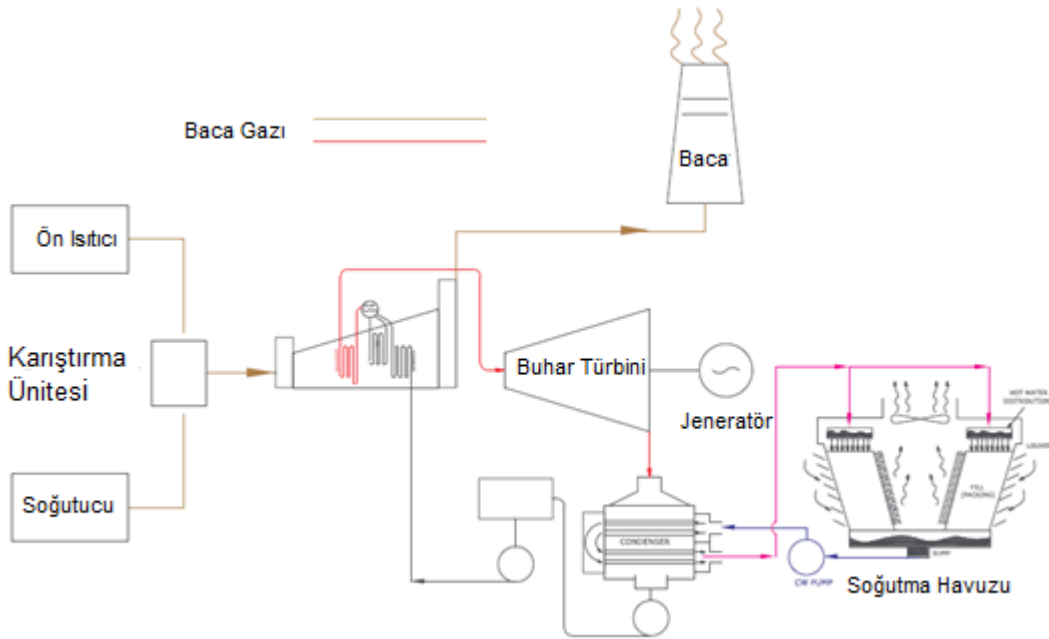
çevre boyutu düşünüldeği takdirde atık gazların atılma oranı azaltılarak sürdürülebilir çevre açısından önemli katkı sağlanmaktadır.

AIGK sisteminde, klasik buhar teknolojisi ile ısı değeri yüksek olan atık gazın enerjisinden faydalanmak mümkün olmakta ve buhar kazanlarında, buhar üretimi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra bu buhar, türbine gönderilerek ve jeneratör yardımı ile elektrik enerjisi elde edilmektedir. Türbin çıkışından elde edilen su soğutularak yeniden kullanılmak üzere kimyasal arıtma ünitesine gönderilmektedir. Çimento fabrikalarının kapasitelerini %90 kullandıkları düşünüldeğinde, atık ısıdan elektrik üretiminin ortalama 35 kw/ton klinker olacağı kabul edilirse; 54.000.000 ton/yıl klinker üretimden 1.900.000 MWh/yıl elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Bu da neredeyse 270 MW değerinde bir elektrik üretim santraline eşdeğerdir. Atık ısıdan elektrik üretiminin yanı sıra; bacaların toz yüklerinde önemli miktarlarda düşüş sağlamak ve elektrik üretiminde fosil kaynaklar kullanılmadığından karbondioksit kredisi kazanmak mümkündür. Zira 1 kWh elektrik üretimi sayesinde yaklaşık 0,65 kg CO₂ kredisi sağlanabilir. Klinker üretim sürecindeki yüksek ısıl prosesten kaynaklı gaz çıkış sıcaklığı, teknolojik yapılarına göre farklılaşmakla beraber ön ısıtıcı sonrasında 280 °C – 350 °C arasında, klinker soğutma çıkışında da 250 °C – 300 °C arasında değişen ve klinker üretim kapasitesine bağlı olarak artan debilerdeki atık sıcak gazlar, yüksek ısıl işlemdeki üretim sürecinde tekrar kullanılmadığından direkt olarak atmosfere atılmaktadır. Klinker üretim prosesinde atıl olan bu sıcaklıktaki gazlar, klasik buhar teknolojisine dayalı elektrik enerjisi üretimi için önemli bir ısı kaynağı oluşturmaktadır [8].

AIGK sistemlerinin kullanılmasıyla meydana gelen başlıca faydalar şu şekilde sıralanabilir;

- Fosil yakıt kullanımının minimum düzeye indirilmesi
- Sektörel bazda enerji yoğunluğunun azaltılmasına katkı
- Enerji maliyetlerinde azalma ve artan kar marjı
- Enerji fiyatlarındaki artış riskinin minimum düzeye indirilmesi
- Elektrik enerjisi tüketimi güvenilirliğinin artırılması çevre imajının güçlendirilmesi
- CO₂ emisyonlarının azaltılması ve CO₂ ticareti için fırsat yaratılması

Naeimi ve diğ.[9] yaptığı çalışmada enerji israfının çoğunun ön ısıtıcı bölümünde olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 1. Atık ısı geri kazanımı

Şekil 1’de de görüldüğü gibi bu çalışmada ön ısıtıcıdan çıkan egzoz gazları karıştırma odasından çıkan sıcak hava ile karşılaşır. Sıcak gazlar ile su arasındaki ısı transferi nedeniyle su buhara dönüşür. Ardından buhar türbinine gönderilir ve burada güç üretmek amacıyla kullanılır. Isı geri kazanım sistemi kurulduğu takdirde elektrik enerjisinin %30 civarında geri kazanıldığı hesaplanmıştır. Isı geri kazanım sayesinde ısınma israfının %32,32’ye kadar azaltıldığından bahsedilmiştir [9].

B. DÖNER FIRIN YÜZEYİNDEN ISI GERİ KAZANIMI

Çimento üretim sürecinde klinker, ön ısıtıcı, fırın ve soğutucu ünitelerinde işleme tabi tutulur. Ham hazırlanmış karışım döner fırına girmeden önce kısmen kalsinasyon işlemi gerçekleşir ve döner fırında da tam kalsinasyon işlemleri yapılır. Döner fırında klinkerde faz hazırlığı için gerekli sıcaklık yaklaşık 1450 ° C’dir. Yüksek sıcaklığa ulaşmak için yanmada yanıcı yakıt kaynağı olarak kömür kullanılır. Fırın çıkışından boşaltılan sıcak klinker soğutma amacıyla ızgaralı soğutucuya gönderilir. Bu süreçte, klinker sıcaklığı zorlanmış hava akımı kullanarak 1350–1450 ° C’den 100–120 ° C’ye düşürülür.

B.1 Döner Fırın Termodinamik Analizi

Engin ve Ari [10] çalışmalarında egzoz gazlarından kaynaklanan ısı kayıplarının yanı sıra, %15 enerji kaybı potansiyeline sahip sıcak kilodaki belirgin ısı kayıplarının varlığından bahsetmişlerdir. Fırın kabuğundan ısı kaybı, ışımla ısı transferi ve konvektif ısı transferi şeklindedir [11]. Mittal ve Rakshit [12] döner fırında mantosundan enerji eldesi için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadaki egzoz gazları yoluyla boşa harcanan ısının geri kazanımı, çimento endüstrisinin enerji tüketiminde daha sürdürülebilir hale gelmesine değinmişlerdir.

Mittal ve Rakshit [12] bu sistem için aşağıdaki varsayımları kabul etmişlerdir.

- Fırın kabuğu yüzey sıcaklıkları (ortalama) ve ortam sıcaklığı sabittir.
- Fırın sistemi içerisindeki gazlar ideal gaz niteliği sergiler.
- Sistem sürekli akış prosesi ile kararlı durumdadır.

Kütlenin korunumu prensibine göre; bir kontrol hacmine giren ve çıkan toplam kütle miktarları eşit olmak zorundadır ve aşağıdaki eşitlikle verilir [12].

$$\sum \dot{m}_{giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \quad (1)$$

Burada

$\dot{m}_{giriş}$ = Fırın giriş kütle miktarı

$\dot{m}_{çıkış}$ = Fırın çıkış kütle miktarı

Benzer şekilde enerji dengesi denklemleri şu şekilde ifade edilebilir: [12].

$$\dot{Q}_{net,giriş} - \dot{W}_{net,giriş} = \sum \dot{m}_{çıkış} \sum h_{çıkış} - \sum \dot{m}_{giriş} \sum h_{giriş} \quad (2)$$

Burada

Q = ısı transfer miktarı

W = Yapılan iş

h = entalpi, (J / kg)

Birinci yasaya göre enerji verimlilik (η) terimi şu şekilde yazılabilir: [12].

$$\eta = \sum E_{çıkış} / \sum E_{giriş} \quad (3)$$

Tablo 1. Giren kütleli debi

Fırın Besleme (Kuru Farin)	$\dot{m}_{\text{kurufarin}}$	222.450	kg/h
Farin İçindeki Nem	\dot{m}_{nem}	2.200	kg/h
Kömür	$\dot{m}_{\text{kömür}}$	16.680	kg/h
Kömür Nemi	\dot{m}_{knem}	180	kg/h
Sürme Havası	$\dot{m}_{\text{sürme}}$	23.594	kg/h
Yakma Havası	\dot{m}_{yakma}	339.765	kg/h
Kaçak Hava	\dot{m}_{khava}	18.103	kg/h
TOPLAM		802.792	kg/h

Tablo 2. Çıkan kütleli debi

Kaçak Farin (kuru)	$\dot{m}_{\text{kaçakfarin}}$	9.418	kg/h
Buharlaşan Su (Kömür+Farin)	\dot{m}_{buhar}	2.317	kg/h
Üretilen Klinker	\dot{m}_{klinker}	146.853	kg/h
Elektrofiltreye ve Kömüre Giden Hava	$\dot{m}_{\text{çıkış}}$	184.115	kg/h
Kömür Külü	$\dot{m}_{\text{kül}}$	2.105	kg/h
Yanma Gazları	\dot{m}_{yanma}	457.984	kg/h
TOPLAM		802.792	kg/h
GİREN KÜTLE - ÇIKAN KÜTLE =		0	kg/h

İç enerji (u) ve entalpi (h) 'deki değişim şu şekilde ifade edilmiştir:

$$U = \int_1^2 C(T) dT = C_{\text{ort}}(T_c - T_g) \quad (4)$$

$$h = u + P \quad (5)$$

$h_{\text{giriş}} = C_{\text{ort}}(T_1 - T_0); h_{\text{çıkış}} = C_{\text{ort}}(T_c - T_0)$

Burada c_{ort} = Özgül ısı (ortalama), J /kg K

P = basınç değişimi, atm

T_g = Giriş sıcaklığı, K

T_c = Çıkış sıcaklığı, K

T_0 = Ortam sıcaklığı, K

Tablo 3. Döner fırına giren enerjiler

Sıra No	Madde Adı	Kütlesel Debi (kg/h)	Özgül ısı (kJ/kgK)	Sıcaklık İlk (K)	Sıcaklık Son (K)	(kJ/h)
1	Fırın Besleme (Fırın Giriş) Kuru Farinin Duyulur Isısı	322450	0,2320	283	333	3740420
2	Fırın Besleme Neminin Duyulur Isısı	6220	0,2120	283	333	65932
3	Beslenen Yakıtın Duyulur Isısı	46680	0,2815	283	333	657021
4	Sürme Havaasının Duyulur Isısı	33594	0,2375	283	293	79785
Sisteme Yakıt İle Enerji Geçışı		Kütlesel Debi (kg/h)		Yakıt Kalorifik Değeri(kcal/kg)		(kJ/h)
5	Yakıtın Kalorifik Enerjisi	46680		6456		1.259.710,214
Sisteme İş İle Enerji Girişi		Motorun Gücü (kW)		kW x 3600 = kJ/h		(kJ/h)
6	Elektrik Enerjisi	190		3600		684000
TOPLAM						1.264.937,372

Cura [13] Tablo 3 ve Tablo 4'teki verilerden yola çıkarak konveksiyon ve radyasyonla olan kayıpları da göz önünde bulundurarak döner fırın yüzeyindeki ısı kayıplarını ve verimliliğini hesaplamıştır.

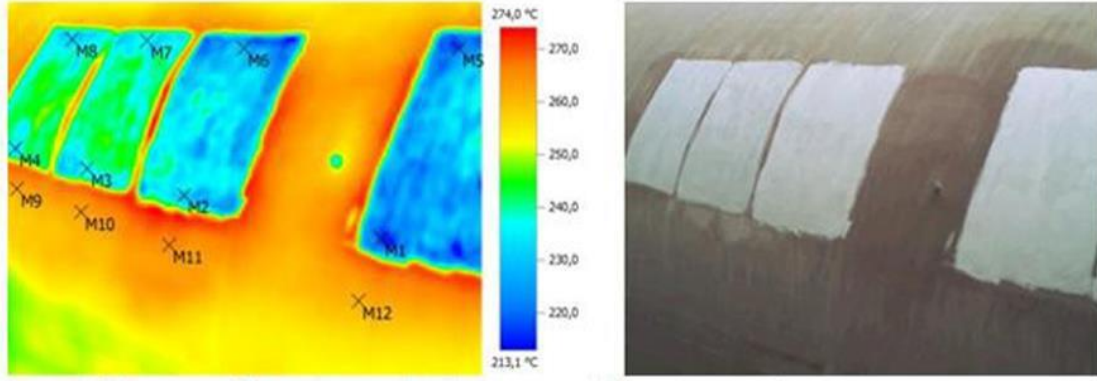
Tablo 4. Döner fırından çıkan enerjiler

Sıra No	Madde Adı	Madde Bileşeni	Kütleli Debi (kg/h)	Özgül ısı (kJ/kgK)	Sıcaklık İlk (K)	Sıcaklık Son (K)	(kJ/h)
1	Baca Gazlarının Hissedilir Isısı	CO ₂	120464	0,2310	283	613	9.182.970
		H ₂ O	7100	0,4590	283	613	1.075.437
		SO ₂	180	0,1660	283	613	9860
		NO ₂	691	0,2410	283	613	54955
		N ₂	182598	0,2510	283	613	15.124.592
		O ₂	4644	0,2290	283	613	350.947
		TOPLAM					
2	Soğutma Çıkış Havaısı Hissedilir Isısı	N ₂	135095	0,2510	283	604	10.884.739
		O ₂	40951	0,2290	283	604	3.010.267
		TOPLAM					1.389.506
3	Klinkerin Hissedilir Isısı		141658	0,1900	283	400	3.149.057
4	Su Buharı Hissedilir Isısı		2.630	0,4590	283	613	387.501
5	Kaçak Farinin Hissedilir Isısı		9.313	0,2360	283	613	705.515
	Klinker Oluşum Isısı	Kütleli Debi (kg/h)		(kJ/kg)			(kJ/h)
6	Klinker Oluşum Isısı	141658		1749,4			247.761.591
	Suyun Buharlaşma Isısı	Kütleli Debi (kg/h)		Suyun Buharlaşma Isısı (kcal/kg)			(kJ/h)
7	Suyun Buharlaşma Isısı	2630		540			5.967.226
	Sistemden Isı İle Enerji Çıkışı						(kJ/h)
8	Isı Kaybı						184.125.231
	TOPLAM						465.042,315

Konveksiyon ve radyasyon ile oluşan ısı kayıpları ihmal edildiği durumda verim değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\eta = \frac{\sum E_{\text{çıkış}}}{\sum E_{\text{giriş}}}$$

$$\eta = 0.36$$



Şekil 2. Döner fırın yüzeyine refrakter boyası izolasyonu görüntüsü

Cura [13], fırın manto yüzeyinin izolasyonsuz halde iken 270 °C sıcaklıkta olduğunu ve bu sıcaklığın izolasyonlu halde 214 °C'ye düştüğünü deneme çalışması sonucunda gözlemlemiştir. Elde edilen sonuçlara göre döner fırın yüzeyinin refrakter boya ile boyanması durumunda enerji kayıplarının %21 oranında azalacağını belirtmiştir.

III. SOMA ÇİMENTO FABRİKASI YARDIMCI İŞLETMELER **ENERJİ ANALİZİ**

Çimento Fabrikası içerisindeki ana yardımcı üniteler;

- Kazan dairesi
- Kompresör odası
- Su deposu ve Soğutma Havuzu
- İdari Bina, CCR (Merkezi Kontrol Odası)
- Atölyeler

Kazan dairesi; Isıtma, soğutma ve kullanım suyu temininde kullanılır. İki kazan, iki soğutucu, iki kazan tankı, bir 28 ton su tankı ve yumuşatma cihazı (iki kum filtresi, bir aktif karbon, bir reçine, bir tuz tankı, bir UV bakteri tutucu) bulunmaktadır.

Kompresör odası; Sistem için gerekli olan basınçlı havayı ve tüm sistemin verimli çalışmasını sağlayan önemli faktörlerden biridir. 5 kompresör ve 5 kurutucu içermektedir.

Soğutma havuzu; sistem yatakları için gerekli soğutma suyunu sağlar ve tüm sistemin can damarıdır. 1 kimyasal dozajlama ünitesi ile sürekli iyileştirme çalışmaları yürütülmektedir.

Bu birimlerin enerji tüketimini ayrı ayrı incelersek;

A. KAZAN DAİRESİ

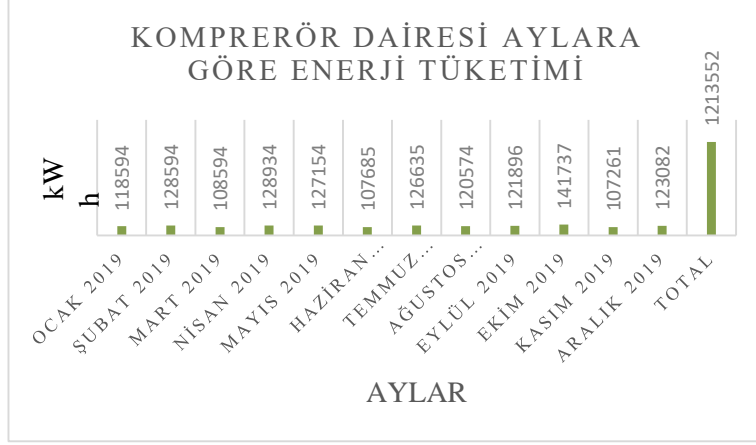


Şekil 3. Kazan dairesi toplam enerji tüketim tablosu

Şekil 3'te görüldüğü üzere kazan dairesi enerji tüketim tablosu incelendiği zaman; yaz aylarında daha çok enerji tüketimi söz konusudur. Aksine bu durumun kış ayları için olması beklenirdi. Durumu şu şekilde izah etmek gerekirse; kazan dairesinde bulunan ve soğutma amaçlı kullanılan 2 adet Chiller cihazı bulunmaktadır. Bu cihazların içinde soğutucu akışkan R134a dolaşarak tüm sistemlerin yani binaların soğutulması ve paket cihazların dahi soğutulması dahildir. Durum bu olunca enerji tüketimi fazlalaşmaktadır. Aynı zamanda yaz aylarında kapalı kulelerin soğutulması daha da zorlaşmakta olduğu için sisteme sürekli taze su alımı yapılmakta ve pompalar daima çalışmaktadır. Kapalı kulelerin kimyasal analiz sonuçlarına göre istenilen düzeyde tutulması için (iletkenlik, ph ,Fe vs) sürekli taze su alımı ile sürekli blöf yapılması gerekli olduğu için hem su kaybı hem de enerji kaybı yaşanmaktadır. Bu durumu azaltmak ve iletkenlik değerlerini istenilen düzeyde tutmak için kimyasal şoklama işlemleri yapılmaktadır.

Kışın ise ısıtma amaçlı kullanılan kazana yıllık ortalama 38.876 kg civarında LNG (likit natural gaz) beslenmektedir. Isıtılan mahaller idari bina, CCR, atölyeler, lojmanlar, yemekhane olup aynı zamanda sıcak su eldesini de kazandan temin edilmektedir. Daha detaylı bir şekilde düşünülürse İdari binada bulunan 17 çalışma odası, 2 dinlenme odası, 2 mutfak ve 2 de toplantı odasının bulunması, CCR binasında 1 adet kimya laboratuvarı, 1 adet fizik laboratuvarı, 1 adet beton harç laboratuvarı, 1 adet yakıt laboratuvarı ,1 adet X ray laboratuvarı,2 adet numune hazırlama, 1 adet ana kumanda odası ve 13 adet çalışma odası ,1 adet mutfak bulunması ve aynı zamanda sıcak su tüketiminin de göz önüne alınması durumunda ısıtma amaçlı kullanımın normal olduğu düşünülebilir.

B. KOMPRESÖR DAİRESİ



Şekil 4. Kompresör odası toplam enerji tüketimi

Şekil 4 incelendiğinde; aylara göre çok büyük enerji tüketimi değişikliği söz konusu olmadığı görülmektedir. Bu durumun ana sebebi yeterli sayıda kompresörün çalıştırılması ve gerek görülmedikçe diğer kompresörlerin devreye alınmamasıdır.

Şekil 5 incelendiğinde ise kompresör dairesinde 5 adet kompresör olmakla birlikte 5 adet de kurutucu ünite gözlemlenmektedir. Gerekli durumlarda 5 kompresör de aynı anda çalıştırılmakta olup yeterli durumlarda çalışan kompresör sayısı azaltılabilmektedir. Düzenli olarak eşanjör temizliği yapılarak gelen ve giden hattın temiz tutulması sağlanmaktadır.



Şekil 5. Kompresör odası genel yerleşimi

Tablo 5. Kompresörlerin çalışma özellikleri

	Birim	Kompresör 1	Kompresör 2	Kompresör 3	Kompresör 4	Kompresör 5
Maksimum Çalışma Basıncı	Bar	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Kapasite	m^3/dk	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
Güç	kW	160	160	160	160	160
Periyot	rpm	1485	1485	1485	1485	1485

Tablo 5’te fabrika bünyesinde kullanılmakta olan kompresör markalarının katalog bilgilerinden yola çıkılarak çalışma özellikleri yer almaktadır.

Tablo 6. Gözlemlenen ve ölçülen değerler

	Birim	Kompresör 1	Kompresör 2	Kompresör 3	Kompresör 4	Kompresör 5
Fiili Çalışma Basıncı	<i>Bar</i>	6,1	6	6	6	6,1
Boşa Geçme Basıncı	<i>Bar</i>	6,6	6,6	6,8	6,5	6,4
Yüke Geçme Basıncı	<i>Bar</i>	6,4	6	6	5,6	5,6
Yükte Çalışma Saati	<i>Saat</i>	64686	72577	69411	24407	56656
Boşta Çalışma Saati	<i>Saat</i>	4504	2000	3650	5	1743
Çıkış Boru Çapı	<i>DN</i>	65	65	65	100	100

Tablo 6 ‘dan yola çıkılarak kompresörlerin toplam çalışma saatleri bulunmuştur ve ardından tablo 7’de kompresörlerin kullanım yüzdeleri bulunmuştur.

Tablo 7. Kompresörlerin kullanım yüzdesi değerleri

	Kompresör 1	Kompresör 2	Kompresör 3	Kompresör 4	Kompresör 5
Toplam Çalışma Süresi (saat)	69190	74577	73061	24412	58399
Yükte Çalışma Süresi (saat)	64686	72577	69411	24407	56656
Boşta Çalışma Süresi (saat)	4504	2000	3650	5	1743
Boşta Çalışma Yüzdesi (%)	6.5	2.7	5	0.02	3
Kullanım Yüzdesi (%)	93.5	97.3	95	99.98	97

B.1. Basınçlı Hava Tankı İncelemesi ve Hacim Doğrulaması

Kompresör dairesinde basınçlı hava tankları bulunmaktadır. Basınçlı hava tanklarının ana görevi basınçlı havayı depolamaktır. Bununla birlikte, basıncın stabil kalmasını, ani hava ihtiyaçlarının sağlanmasını ve

soğutma yüzeyi sağlayıp yoğuşma tankı görevini gerçekleştirir. Bu nedenle basınçlı hava tanklarının uygun kapasitede seçilmesi önemlidir [14],[15]. Bu nedenle basınçlı hava tankı için hacim hesabı yapılarak doğruluğu kontrol edilmiştir. Tüm kompresörler için basınçlı hava tankları kullanılmakta olup, tankın hacmi 10.000 litredir. Tank hacminin yeterli olup olmadığını inceleyelim;

$$V_t = A * Q * \frac{P_{atm}}{P_{ç}} \quad (6)$$

V_t = Tank Hacmi

A = Hava Kullanım Faktörü (Sabit Hava Kullanımı $A= 1.5$)

Q = Kompresör Emiş Debisi (m^3/dak)

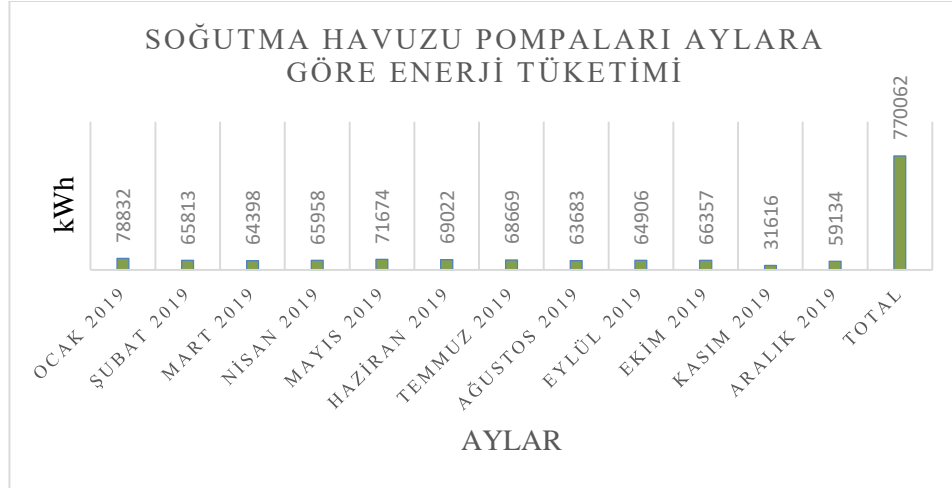
P_{atm} = Atmosfer Basıncı (bar)

$P_{ç}$ = Çalışma Basıncı (bar)

$V_t = 7.125$ Litre

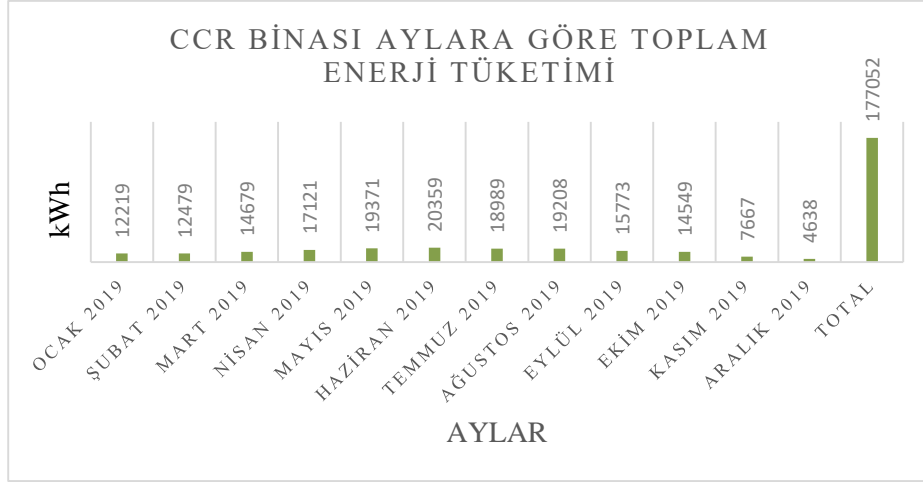
Bu durumda tank hacminin yeterli olduğu görülmektedir [15],[16],[17].

C.SOĞUTMA HAVUZU, CCR BİNASI VE ATÖLYELER



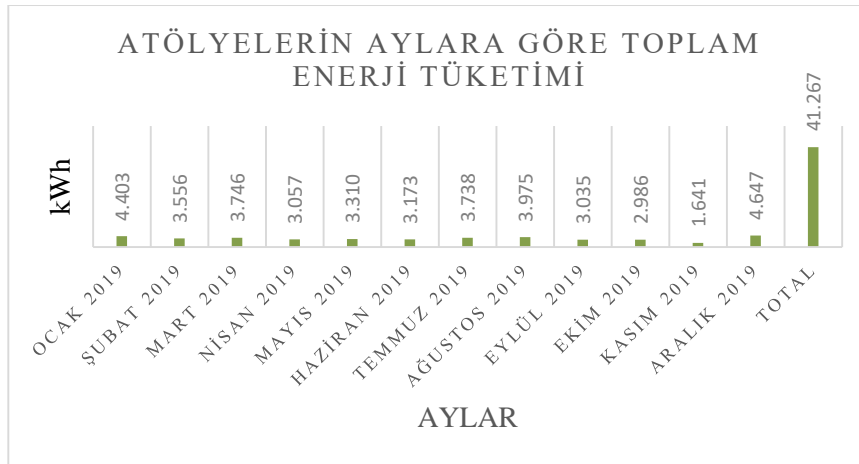
Şekil 6. Soğutma havuzu toplam enerji tüketimi

Şekil 6'da görüldüğü gibi soğutma havuzu pompalarının enerji tüketimi mayıs ayından itibaren artış göstermekte olup Kasım ayında ise minimum düzeydedir. Bunun sebebi ise yaz aylarında soğutmanın kış aylarına göre daha zor gerçekleştirilmesidir.



Şekil 7. CCR binası toplam enerji tüketimi

Şekil 7’de görüldüğü gibi mayıs ayından Kasım ayına kadar enerji tüketimi artışı söz konusudur. Bunun sebebi CCR binasında gerek oda sayısının fazla olması gerek laboratuvarın ve deney odalarının bu binada bulunması ve gerekse ana kumanda sisteminin bu binada bulunmasından kaynaklıdır.



Şekil 8. Atölyelerin toplam enerji tüketimi

Şekil 8 incelendiğinde mekanik ve elektrik olmak üzere 2 adet atölye bulunmasından dolayı ve sadece küçük el aletlerinin olması sebebiyle toplam enerji tüketimi en az olan kısımdır.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, bir çimento fabrikasında mevcut olan yardımcı işletmeler kısmının enerji tüketimleri incelenmiştir.

Yardımcı birimler olarak her bölüm için ayrı ayrı iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen bu sonuçlara göre;

Kazan Dairesinde;

- Yıllık toplam enerji tüketimi 665686,6 kWh’tir.
- Yıllık ortalama 38.876 kg likit doğal gaz harcanmaktadır.
- Likit doğal gaz yakmak yerine alternatif yakıtlarla maliyetler azaltılabilir.

- Döner fırın mantosundaki ısı reküparatör ile kazan dairesinde sıcak su eldesinde kullanılabilir.
- Kapalı kuleler ve kapalı devreler, kimyasallarla koşullandırılabilir. Böylece, suyun sertlik ve iletkenlik değerleri istenen seviyelerde tutularak sistemin kirlenmesi ve kireç oluşumu önlenir.
- Kapalı kulelerin hava emme kısımları tamamen değiştirilebilir ve kaset tipi geçmeli hava tutucular yerleştirilebilir, böylece su temiz kalır ve sistemin verimliliği sağlanır.
- Döner fırın soğutma atık sıcak gazı kullanılarak reküparatör sistemi kurulabilir. Bu sayede elde edilen buhar, ısınma ve sıcak su için kullanılabilir ve böylece kazana beslenen likit doğal gaz miktarında ciddi düzeyde azalma meydana gelir.

Kompresör odasında;

- Yıllık toplam enerji tüketimi 1213552 kWh'tir.
- Kompresör hattının ısı eşanjörleri düzenli olarak temizlenmelidir, böylece aşırı ısınma nedeniyle devreden çıkma sorunu ortadan kalkabilir.
- Basıncı hava tankları için otomatik boşaltma sistemi kullanılabilir, böylece hava tankında su birikmesi nedeniyle sistem çalışmasının olumsuz etkilenmesini önler. Basınç hatlarında olası bir korozyon durumu minimum düzeye indirilmiş olur.

Teknolojik Havuzda;

- Yıllık toplam enerji tüketimi 76062 kWh'tir.
- Suyu soğutmak için en önemli yer olan bu kısımda yüksek buharlaşma vardır. Çaydanlık mantığı ile aynı sistemdir. Su buharlaştıktan sonra, sistemde kalan kireç zamanla birikir ve tortu oluşumuna neden olur. Uzun vadede düşünülürse, sistemler kireç ve tortu birikimi sonucu tıkanmaya başlar, yataklarda aşırı ısınma meydana gelir. Bu durumu önlemek için kimyasal uygulama yeterli değildir. Aynı zamanda, hava emiş ağızları tozdan korunmalıdır. Bunun için toz toplama filtreleri kullanılabilir.
- Bu bölümde günlük ortalama 150 ton su harcanmaktadır. Yatakların aşırı ısınması nedeniyle havuz boşaltılır ve taze su alınır. Bu durum ekstra su kaybı, enerji kaybı (pompa çalışması vb.) gibi etkiler yaratır.

Tüm bunlara ek olarak daha önce bahsedilen atık ısı geri kazanımı sistemi kurulumu ile hem elektrik üretimi hem CO₂ emisyon tasarrufu sağlanabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Yıldız, S. Akgül ve S. Güvercin, "Sanayide enerji verimliliği uygulamaları," *İleri Teknoloji Bilimler Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 16–22, 2018.
- [2] M. Kaya, "Sanayide enerji verimliliği potansiyeli ve basınçlı hava sistemlerinde verimlilik," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [3] O. Ünlü, "Sanayide enerji tasarrufu çalışmalarının önemi ve buhar sistemleri ile ilgili uygulama örnekleri," *Mühendis ve Makine Dergisi*, c.5, s.16, ss. 7-20, 2009.
- [4] Batı Anadolu Çimento. (2021, Nisan 15). *Çimento hakkında bilgiler* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.baticim.com.tr/>
- [5] Cementurk Dergisi. (2021, Nisan 15). *Çimento sektörü ve alternatif enerji kaynakları* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.cementurk.com.tr/>
- [6] İ. Tavman, "Türkiye'nin elektrik üretimi ve tüketimi, çimento sanayinde enerji geri kazanımı," *Enerji Stratejileri İzmir Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2016, ss. 1-41.

- [7] Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği (2021, Nisan 16). *Çimento üretiminin tarihçesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.turkcimento.org.tr/>
- [8] Türkiye Sınai Kalkınma Bankası (2021, Nisan 16). *Çimento sektöründe atık ısı geri kazanımı sistemleri kullanımı* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tskb.com.tr/>
- [9] A. Naeimi, M. Bidi, M. Hossein Ahmadi, R. Kumar, M. Sadeghzadeh and M. Alhuyi Nazari, "Design and exergy analysis of waste heat recovery system and gas engine for CO₂," *Thermal Science Engineer*, vol. 9, no. 3, pp. 299–307, 2019.
- [10] T. Engin and V. Ari, "Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems case study," *Energy Conversion and Management*, vol. 46, no. 4, pp. 551–562, 2005.
- [11] N. Akram, M. Usman Moazzam, M. Hafız, A. Ajaz, A. Saleem, M. Kılıç and A. Mobeen, "Improved waste heat recovery through surface of kiln using phase change material," *Thermal Science*, vol. 22, no. 2, pp. 1089–1098, 2018.
- [12] A. Mittal and D. Rakshit, "Utilization of cement rotary kiln waste heat for calcination of phosphogypsum," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 20, no. 12, pp. 100729, 2020.
- [13] Ö. Cura, "Bir çimento işletmesinin enerji tüketimi ve verimliliğinin incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, 2021.
- [14] Makine Mühendisleri Odası. (2017, Haziran 6). *Basınçlı hava tesisatı* [Çevrimiçi]. Erişim: https://mmo.org.tr/sites/default/files/9a5b5995110b36a_ek.pdf
- [15] Tesisat Bilgi ve Haber Portalı. (2016, Şubat 28). *Basınçlı hava tankı hesabı* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tesisat.org/kategori/mekanik-tesisat/basincli-hava-tesisati-hesabi>
- [16] Kompresörler Hakkında. (2013, Mayıs 9). *Kompresör hava tankı* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.kompresorhakkinda.com/?p=524>
- [17] Günsel Otomotiv Teknik Doküman. (2017, Ocak 19). *Basınçlı hava sistemlerinde enerji verimliliği* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.researchgate.net/publication/312662891>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

TBDY-2018 ve RYTEİE-2019 Kapsamında Tarihi Bir Yığma Binanın Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi

 Akın TÜRKOĞLU ^{a,*},  Hilal MEYDANLI ATALAY ^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: akinturkoglu9@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.992809

Öz

Mevcut yapı stokunda önemli bir yer tutan yığma binaların, günümüz yaşam standartları göz önünde alındığında kullanımına devam edilmesi için deprem güvenliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle tarihi niteliği de olabilen bu yapıların gelecek nesillere güvenle aktarılabilmesi, risk tespitinin doğru ve hızlı bir şekilde yapılabilmesi, gerektiğinde onarım ve güçlendirme uygulamaları ile mümkündür. Yeni inşa edilecek yığma binaların depreme karşı dayanıklı tasarımı ve mevcut yapı stokunun güvenliğinin tespiti yürürlükteki Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) hükümlerine göre yapılabilmektedir. Ancak bu risk tespitleri uzun süren ve yüksek maliyetli bir süreç olduğundan bu durumu ortadan kaldırmak amacıyla yayımlanan Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE-2019) ile kısa zamanda ve düşük maliyet ile mevcut yapıların riskli olup olmadıkları tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada yürürlükte olan bu iki yönetmeliğin yığma binalar ile sismik performans kriterleri karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında örnek olarak Kdz. Ereğli'de bulunan Piyalepaşa Konağının sismik performansı değerlendirilmiştir. Yerinde yapılan ölçümler ve gözlemlere göre yapının üç boyutlu analitik modeli oluşturulmuştur. Yapının konumuna özel olarak seçilen deprem parametreleri dikkate alınarak yönetmeliklerde tanımlanan hesap yöntemleri uygulanmıştır. Yapılan analizlerden, yapının kendi ağırlığı ve deprem kuvvetleri etkisinde oluşan yer değiştirmeler ve iç kuvvetler belirlenmiş ve binanın her iki yönetmeliğe göre belirlenen deprem güvenliği karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yığma binalar, TBDY-2018, RYTEİE-2019, Deprem güvenliği

Assessment of Seismic Performance of a Historical Masonry Building within The Scope of TBEC-2018 and PDRS-2019

ABSTRACT

The seismic performance of masonry buildings, which have a significant place in the existing building stock, should be determined to continue their use, considering today's living standards. Especially it is possible to safely transfer these structures, which can be in cultural heritage, to future generations, by determining the seismic risk accurately and quickly and by repairing and strengthening it when necessary. The earthquake resistant design of new masonry buildings and the determination of the seismic safety of the existing building stock can be made according to the provisions of the current Turkish Building Earthquake Code (TBEC-2018). However, these risk assessments are a long and costly process. However, since these risk assessments are a long and costly process, it is possible to determine the seismic safety of existing buildings in a short time and at a low cost, with the Principles for the Determination of Risky Structures (PDRS-2019). In this study, the seismic performance criteria differences of these two codes related to masonry buildings have been compared. Within this context, the seismic performance of Piyalepaşa Konağı in Kdz.Ereğli has been evaluated as an example. A

three-dimensional analytical model of the building has created according to on-site measurements and observations. It has been analyzed with the calculation methods defined in the regulations, considering the seismic parameters selected specifically for the location of the building. From the completed analysis, displacements and internal forces caused by the building's own weight and earthquake forces were determined, and the seismic performance of the building, determined according to both codes was compared.

Keywords: Masonry buildings, TBEC-2018, PDRS-2019, Seismic performance

I. GİRİŞ

Yığma binalar taş, tuğla, kerpiç, briket, ahşap gibi yapı malzemelerinin üst üste yerleştirilip kendi ağırlıkları ve harç ile birleştirilmesiyle oluşturulan taşıyıcı sistemlere sahiptir ve eskiden beri konut veya hizmet amaçlı olarak kullanılmak amacıyla tercih edilen bir yapı türüdür. Şekil 1’de tipik yığma yapı örnekleri görülmektedir [1, 2]. Malzeme temini kolaylığı, ısı yalıtımı gibi ekonomik kolaylıkları bulunan taş ve tuğla yığma bina türlerinde, belli bir stabiliteyi sağlamak maksadıyla duvarları kalın olarak inşa edilmektedir. Gevrek malzeme olarak adlandırdığımız bu yapı kısımları, deprem kuvvetleri altında da çok erken deformasyon göstermektedir. Böylelikle kesme kuvvetinin tesiri altında çatlama gösteren duvar elemanlarında, bir süre sonra düşey yükleri de taşınmayacak şekilde hasar oluşmaktadır. Kullanılan malzemenin dayanımı, yapıştırma harcının dayanımı, iyi kalite işçilik, depreme dayanıklı yığma yapının ön koşulu olarak tanımlanır [3,4].



Şekil 1. Tipik yığma yapı örnekleri [1, 2]

Yığma binalar, önemli bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde yaygın kullanım göstermekte ve kullanım ömürleri boyunca düşey yüklerle birlikte deprem kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremler, yığma binalarda farklı yapısal hasarlar meydana getirmiştir [5, 6, 7]. Mevcut binaların kullanımına devam edilmesi ve tarihi niteliği de olabilen bu yapıların gelecek nesillere güvenle aktarılabilmesi için deprem sırasında oluşan kuvvetlerin belirlenmesi ve bu kuvvetler altında binaların davranışının incelenmesi gerekmektedir [1]. Deprem mühendisliğindeki gelişmeler ve meydana gelen depremler sonrasında yapılan saha çalışmalarında elde edilen bilgiler değerlendirilerek yürürlükte olan deprem yönetmeliği güncellenmiş ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) 2018 yılında yayınlanarak yürürlüğe girmiştir [8]. Yönetmeliğe göre mevcut bir yığma binanın deprem güvenliğinin belirlenebilmesi için öncelikle binanın taşıyıcı sistem özellikleri, boyutları, malzeme ve detaylarla ilgili bilgiler toplanmalıdır. Daha sonra bu bilgiler kullanılarak binanın yapısal modeli oluşturulur ve deprem yükleri etkisinde meydana gelecek iç kuvvetler ve şekil değiştirmeleri hesaplamak amacıyla yapısal analiz yapılır. Analiz sonuçları değerlendirilerek binanın deprem güvenliği tespit edilir. Mevcut bir yığma binanın TBDY-2018’nde tanımlanan kriterlere göre performans seviyesinin belirlenmesi uzun süren ve yüksek maliyetli bir süreç olmaktadır.

Bu sebeple mevcut yapı stokunun olası deprem risklerine karşı yeterli dayanımda olup olmadığının daha hızlı bir biçimde tespit edilebilmesi ve özellikle büyük şehirlerde oluşmuş çarpık kentleşme probleminin çözülebilmesi amacıyla, 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” yürürlüğe girmiştir. Bu kanun kapsamında hazırlanan Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE-2019) ile riskli binaların tespit edilmesinde kullanılacak kurallar ve yöntemler yayınlanmıştır [9].

II. MATERYAL ve METOD

A. YIĞMA YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI

Yığma binalarda, deprem etkisi, dış yükler ve temellerde meydana gelen oturmalardan dolayı farklı seviyelerde hasar oluşabilmektedir. Bu hasarlar depremden dolayı, taşıyıcı duvarlarda düzlem dışı ve düzlem içi hareket ile oluşan çatlaklar ve kısmen yıkılma şeklinde değerlendirilebilir. Bununla birlikte yığma binalarda bütün duvarlar taşıyıcı olduğu için duvarlardaki her türlü hasar doğrudan taşıyıcı sistemi etkilemekte ve bu açıdan betonarme binalardaki gibi taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan bölüm hasarı gibi bir ayırım yapılamamaktadır. Pencere boşlukları arasında ve pencere altlarındaki duvarlarda deprem yükleri sebebi ile oluşan diyagonal kesme çatlakları kapasitede önemli kayıplara sebep olmaktadır (Şekil 2) Yığma binalarda kullanılan malzemeler gevrek bir yapıya sahip olduklarından küçük şiddetli depremlerde bile yapılarda önemli çatlak ve hasarlar oluşabilir. Çatlakların yönü, biçimi ve genişliği yığma yapının dış duvarındaki pencere ve kapı boşluklarının yerine ve alanına, duvarlardaki düşey gerilme ve etkiyen yatay deprem kuvvetine, düğüm noktalarının teşkil edilmiş şekillerine bağlıdır [10]. Depreme dayanıklı yapı yapma ilkelerine uyulmaması durumunda yapılarda deprem etkisi ile çatlak meydana gelmesi kaçınılmazdır. Genellikle simetrik planlı olmayan yığma binalarda rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin birbirlerine yakın olmaması durumlarında da çatlamların olma ihtimali yüksektir [11]. Geçmişte meydana gelen depremlerde özellikle yapısal detaylandırmanın yetersiz olması, taşıyıcı duvarların hatıllar kullanılmadan inşa edilmesi ve çatıların doğrudan duvarlara oturtulması, düzlem dışı davranışa yol açmakta olduğu, düzlem dışı göçmelerin, düzlem içi göçmelere oranla daha düşük şiddetlerde meydana gelebildiği raporlanmıştır [6, 12].



(a) Van Depremi



(b) Sivrice Depremi

Şekil 2. Yığma oluşan farklı deprem hasarları

B. YIĞMA YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde mevcut yığma binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ve Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE-2019) kriterleri karşılaştırılacaktır. Yığma binaların deprem performansının belirlenmesi,

deprem etkisi altında mevcut bina sistemlerinin modellenmesi ve değerlendirilmesi için tanımlanmış özel kurallar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

B. 1. Binalardan Bilgi Toplanması

Binalardan bilgi toplanması her iki yönetmelikte de varsa mimari projeler üzerinden, mimari proje mevcut değilse yerinde yapılacak incelemeler sonucu rölöve projesi çıkartılarak elde edilecektir. Elde edilen bilgilerden bina geometrisi, düşey ve yatay hatıllar, yığma duvarların malzeme türü, her kattaki yeri, uzunlukları, kalınlıkları, boşlukları ve kat yükseklikleri belirlenmektedir. Çatı ve döşeme türü, duvarlarla bağlantı şekilleri, hatıl ve lentoların durumu görsel olarak tespit edilmektedir. Bu inceleme sonucunda her katta rijit diyafram özelliğinin sağlanıp sağlanmadığı belirlenmektedir. İncelenen binalardan edinilen bilgi düzeylerine göre eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Bilgi düzeyi katsayıları

TBDY-2018	RYTEİE-2019
Sınırlı Bilgi Düzeyi için 0.75 Kapsamlı Bilgi Düzeyi için 1.00	Asgari Bilgi Düzeyi için 0.90, Kapsamlı Bilgi Düzeyi için 1.00

B.2. Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi

TBDY-2018 ve RYTEİE-2019 kapsamında malzeme türü belirlenmesi için tanımlanan kriterler Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Malzeme özelliklerinin tespit edilmesi

TBDY-2018	RYTEİE-2019
Duvar malzemelerinin türü, duvar yüzeyinin bir bölümünün sıvası kaldırılarak gözle tespit edilecektir. Duvar malzemesi özelliklerinin belirlenmesi için binadan en az iki adet duvar parçası örneği alınacak basınç dayanımı deneyleri uygulanarak dayanımı tespit edilecektir. Dolu tuğla yığma duvarların en düşük karakteristik basınç dayanımı $f_k=1.4\text{MPa}$, Elastisite Modülü $E_{duv}=750f_k$ değerine eşit tanımlanmıştır.	Duvar malzemelerinin türü, en az bir iç ve bir dış duvarda olmak üzere duvar yüzeyinin bir bölümünün sıvası kaldırılarak tespit edilecektir. Çimento takviyeli harç ve kâgir birimler ile inşa edilmiş duvarların basınç, kayma, diyagonal çekme dayanımları ve özgül ağırlık değerleri için görünür kalite Normal olarak verilen değerler kullanılacaktır. Dolu Tuğla veya Harman Tuğlası yığma duvarlar için dayanım değeri $f_m=1.4\text{MPa}$, Elastisite Modülü $E_m=600f_m$ değerine eşit tanımlanmıştır. Harç süreksizliği veya yapısal çatlakların fotoğraflar ile belgelendiği duvarlar için görünür kalite Köttü olarak alınacaktır. Dolu tuğla yığma duvarların en düşük karakteristik basınç dayanımı $f_k=1.4\text{MPa}$, Elastisite Modülü $E_{duv}=750f_k$ değerine eşit tanımlanmıştır.

B.3. Hesap Modelinin Oluşturulması

Binanın deprem performansını belirlemek için 3-Boyutlu modelin oluşturulması gerekmektedir. Geometrik boyutları ve malzeme özellikleri belirlendikten sonra matematiksel hesap modeli oluşturulan yığma binada düşey ve yatay yüklerin birleşik etkileri altında yapısal çözümleme yapılacaktır. Duvar serbest yüksekliği, döşeme üst kotundan döşeme (varsa hatıl) alt kotuna kadar olan uzunluk olarak alınır. Duvar uzunluğu ise boşluklar arasında kalan duvar parçası uzunluğu olarak alınır. Her iki yönetmelikteki kriterler Tablo 3’de özetlenmiştir.

Tablo 3. Hesap modelinin oluşturulması

TBDY-2018	RYTEİE-2019
Yapısal çözümleme, sonlu elemanlar veya eşdeğer çubuk yöntemlerinden biri kullanılarak yapılabilir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacak çözümlemede, taşıyıcı duvar; ayrıntılı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme veya makro modelleme teknikleri kullanılarak modellenebilir. Eşdeğer çubuk yöntemi kullanılarak yapılacak çözümlemede, yığma duvarın rijitliği, kayma ve eğilme deformasyonları dikkate alınarak hesaplanacaktır.	Yapısal çözümleme için 3-Boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulması zorunludur. Yığma duvarlar kesit ağırlık merkezlerinde çubuk veya kabuk sonlu elemanlar kullanılarak, döşemeler ise kabuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenecektir. Yığma binalarda duvar parçalarını temsil eden çubuk elemanların rijitlik hesabında kayma ve eğilme deformasyonları dikkate alınarak hesap yapılacaktır.

B.4. Deprem Etkilerinin Belirlenmesi

Hesap modeli tamamlandıktan sonra binanın bulunduğu bölgenin zemin parametreleri ve deprem parametrelerine göre bina üzerine etkileyen deprem kuvvetleri tespit edilecektir. Her iki yönetmelikte deprem etkileri yatay elastik ivme spektrumu ile bina türüne ve deprem yer hareketi düzeyine göre tanımlanmaktadır. TBDY-2018 de tanımlanan dayanım fazlalığı katsayısı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı RYTEİE-2019'a göre tasarımda değerlendirilmemektedir.

B.5. Hesap Yönteminin Seçilmesi ve Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deprem hesabının amacı, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemektir. Hesap yöntemi yapının özelliklerine göre seçilmektedir. Her iki yönetmelikte önerilen hesap yöntemleri Tablo 4'te kıyaslanmıştır.

Tablo 4. Hesap yönteminin seçimi

TBDY-2018	RYTEİE-2019
Deprem hesabında doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Deprem etkisinin tanımında belirlenen deprem yer hareketi düzeyleri için verilen yatay elastik tasarım spektrumu kullanılacaktır. Deprem hesabında Bina Önem Katsayısı ($I = 1.0$) olarak alınacaktır. Binaların deprem performansı, binaya etkileyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilecektir. Deprem hesabında kütleler hareketli yük ve sabit yüklerle göre tanımlanacaktır.	Binanın risk durumunun belirlenmesi için Doğrusal Elastik Hesap ile Mod Birleştirme Yöntemi kullanılacaktır. Binanın risk durumu binaya etkileyen düşey yükler ve deprem etkileri altında ($G+nQ±E$) planda her iki doğrultu ve bu doğrultuların her iki yönü dikkate alınarak belirlenecektir. Tüm düşey elemanların kat kütleleri bağlandıkları katlara yarı yarıya dağıtılarak modelde dikkate alınacaktır. Düşey yükler (G ve Q) TS 498 ile uyumlu olarak dikkate alınacaktır.

B.6. Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Yığma binaların performans düzeyine, binadan bilgi toplaması ve yapılan hesap sonucunda karar verilecektir. Uygulanan deprem etkisi altında yapıda oluşması beklenen hasarın durumu esas alınarak binalarda performans düzeyleri; Hemen Kullanım Performans Düzeyi, Göçme Öncesi Performans Düzeyi ve Göçme durumu Performans Düzeyi olarak tanımlanmıştır. TBDY-2018 ile RYTEİE-2019'un performans kriterleri Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 5. Performans seviyeleri karşılaştırılması

TBDY-2018	RYTEİE-2019
Yığma binanın her iki doğrultudaki tüm duvarlarının kesme kuvveti dayanımı uygulanan deprem etkisinde oluşan kesme kuvvetlerini karşılamaya yeterli ise, bina Sınırlı Hasar Performans Düzeyini	Risk değerlendirmesi tüm katlar için yapılacaktır. Herhangi bir katta Risk Sınırı aşılacak duvarlarda hesaplanan kesme kuvveti toplamı, o kattaki toplam kat kesme kuvvetine oranı %35'ten fazla ise bina,

sağlamaktadır.

Riskli Bina olarak kabul edilecektir.

Herhangi bir katta uygulanan deprem doğrultusunda bu koşulu sağlamayan duvarların kat kesme kuvvetine katkısı %40'ın altında ise bina Kontrollü Hasar Performans Düzeyini sağlamaktadır. Bu oranın %40'ı aşması durumunda bina Göçme Durumundadır.

C. İNCELENEN YIĞMA BİNANIN ÖZELLİKLERİ

Çalışma kapsamında incelenecek örnek bina olarak Zonguldak ilinin Kdz Ereğli ilçesinde mevcut Piyalepaşa Konağı seçilmiştir. 1863 yılında inşa edilen yapı uzun yıllar özel konut olarak kullanılmış, daha sonra hazine adına satın alınarak lojman olarak kullanıma devam edilmiştir. Karadeniz Bölge Komutanlığı tarafından 1998 yılında restore edildikten sonra Misafirhane olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca bu bina Kültür ve Turizm Bakanlığı Taşınmaz Kültür ve Tabiat Varlıkları Yüksek Kurulunun 02 Temmuz 1987 gün ve 3441 nolu kararı ile tarihi eser olarak tescil edilmiş bir yapıdır. Yerinde yapılan tespitlerde binanın iç ve dış duvarlarında kullanımını engelleyecek hasar gözlenmemiştir.



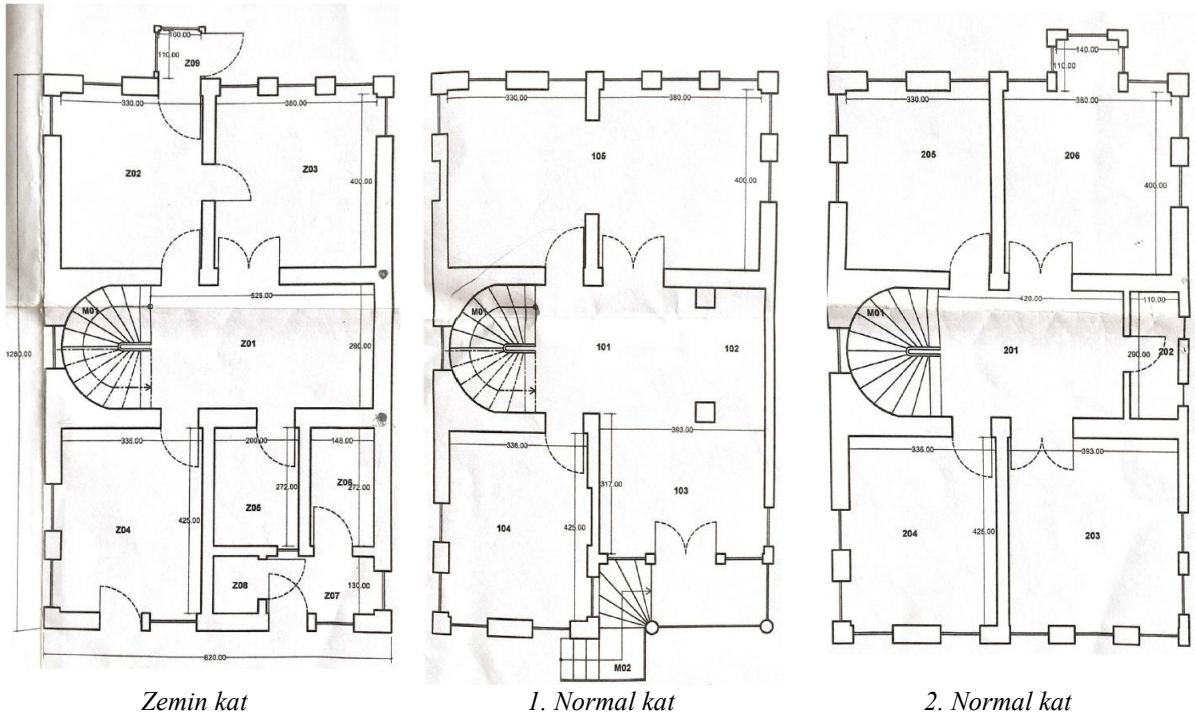
Şekil 3. Piyale Paşa Konağı

Binanın projelerinin yetersiz olması sebebiyle, öncelikle rölöve çalışması yapılmıştır. Binanın görünümü Şekil 3'de, kat planları Şekil 4'de gösterilmektedir. Üç katlı olarak inşa edilmiş yığma binada, bina geometrisi, yığma duvarların malzeme türü, her kattaki duvar yerleri, uzunlukları, kalınlıkları, boşlukları ve kat yükseklikleri belirlenmiştir. Binanın güney giriş cephesi 8.30 m, batı cephesi 12.70 m'dir. Yapı her cepheden bakıldığında dikdörtgen geometriye sahiptir. Binada kat yükseklikleri sırasıyla 2.80, 3.54 ve 3.80 metredir. Yapı toplam yüksekliği 10.14 metredir. Yapı taşıyıcı duvar malzemesi, dolu tuğladır ve zemin katta duvar kalınlığı 45 cm olarak, normal katlarda ise dış duvarlar 40 cm, iç duvarlarda ortalama 30 cm olarak ölçülmüştür.

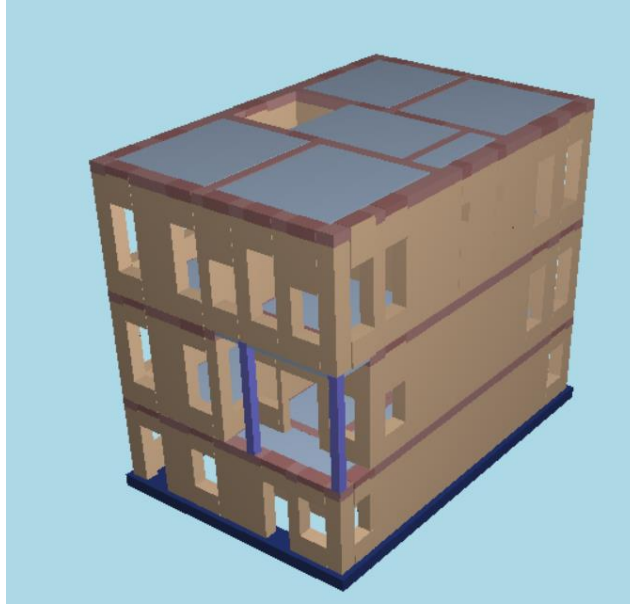
Yapıda kullanılan malzemelerin özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi mümkün olmadığından kullanılan malzemelerin özellikleri geçmiş çalışmalardan, TBDY-2018 ve RYTEİE-2019'da belirtilen malzemelerin dayanım ve fiziksel özelliklerinden faydalanılarak belirlenmiştir. Buna göre duvarların elastisite modülü 840 MPa, karakteristik basınç dayanımı 1.4 MPa, başlangıç kayma

dayanımı 0.15 MPa olarak dikkate alınmıştır. Yapıda harç süreksizliği ya da yapısal çatlak görülmediği için duvarların basınç, kayma, diyagonal çekme dayanımları ve özgül ağırlık değerleri için görünür kalite normal olarak kullanılacaktır.

Bu çalışmada, yığma binanın mevcut ölçülerine uygun şekilde matematiksel modeli oluşturulurken StatiCAD-Yığma yapısal analiz programı kullanılmıştır. Yeni inşa edilecek yığma binaların statik analiz ve tasarımının yapılabildiği bu program ile mevcut yapıların TBDY-2018 esasları ve RYTEİE-2019'a uygun olarak performans analizleri de yapılabilmektedir. Her iki yönetmelikte ortak tanımlanan hesap modeli esasları dikkate alınarak binanın 3-boyutlu sonlu eleman modeli oluşturulmuştur (Şekil 5). Yığma duvarlar kesit ağırlık merkezlerinde çubuk veya kabuk sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Her bir duvar bina projesine uygun olarak modellenmiş, pencere ve kapı boşlukları yerinde mevcut konum ve ölçüler ile modele dahil edilmiştir. Bina rölövesi çıkarılırken yapı temelinin sürekli temel olduğu belirlenmiştir, temel modellenirken her bir taşıyıcı duvarın altına projeye uygun temel tanımlanmıştır.



Şekil 4. Kat planları

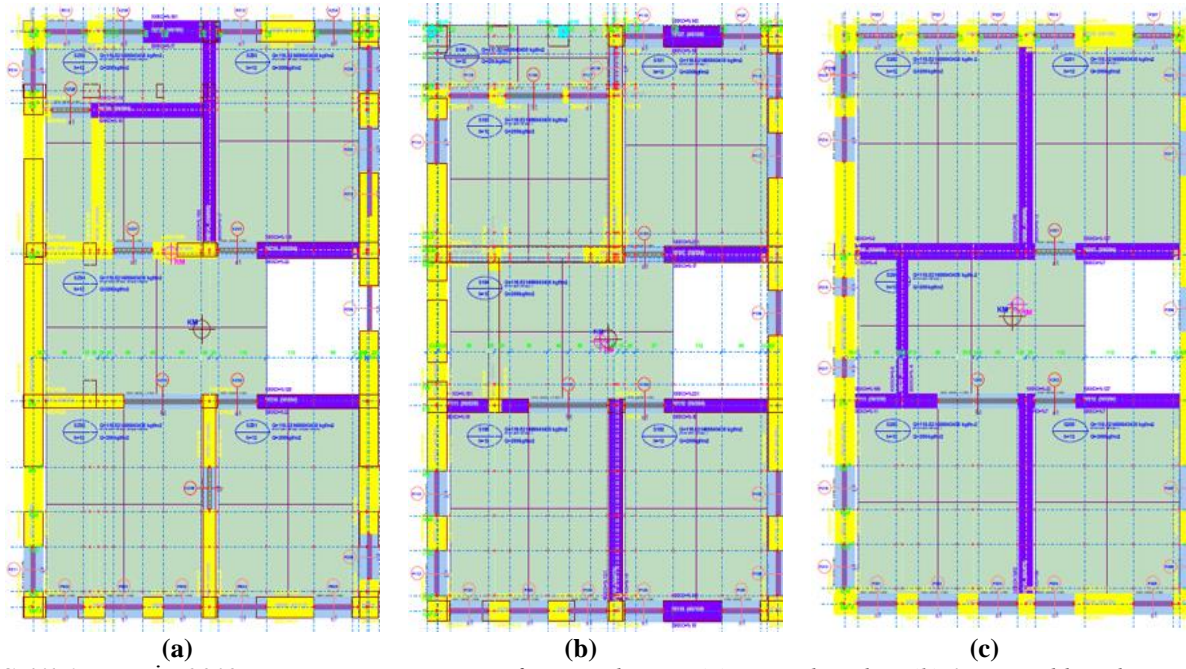


Şekil 5.Piyalepaşa Konağı yapısal modeli

Piyalepaşa Konağına ait zemin değerleri, etrafında inşa edilmiş son dönem yapılarının zemin etüt raporları incelenerek belirlenmiştir. Binanın konumuna ait deprem parametreleri yine Türkiye Deprem Tehlike Haritasından alınmıştır. Tanımlanan konuma göre Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 için hesaplarda kullanılacak S_S , kısa periyot harita spektral ivme katsayısı 0.599, S_1 , 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı 0.173, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı 0.791, S_{D1} 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı 0.399, PGA, en büyük yer ivmesi 0.252g olarak belirlenmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

İncelenen yığma binanın mevcut durumu RYTEİE-2019 kapsamında değerlendirildiğinde bina için seçilen düzey, asgari bilgi düzeyi olup bilgi düzeyi katsayısı 0.90 olarak dikkate alınmıştır. Binanın geometrik özellikleri, malzeme ve yük kabulleri ve deprem parametrelerinin tanımlanması ile öncelikle üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Bina analizi, RYTEİE-2019' da tanımlandığı gibi doğrusal hesap yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılmıştır. Analiz sonucunda gerekli koşulları sağlamayan elemanlar Şekil 6'da gösterilmiştir. Kat Planlarında mor renkle işaretlenen duvarlar kayma gerilmesi koşulunu sağlamayan düşey taşıyıcı elemanlardır. Tüm katlarda taşıyıcı duvarların kayma gerilmesi yönünden kapasitesinin yetersiz kaldığı, 2. Normal katta diğer katlara oranla daha az duvarda kayma gerilmesi kapasitesinin yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Tüm yığma duvar elemanlarının hesaplanan etki/kapasite oranına göre duvarın üzerine etkileyen eksenel yükü güvenle taşıdığı belirlenmiştir.



Şekil 6. RYTEİE-2019'e göre taşıyıcı sistem performans durumu (a) Zemin kat planı (b) 1. Normal kat planı, (c) 2. Normal kat planı

RYTEİE-2019'a göre analiz sonucu katlara etkileyen deprem kuvvetleri Tablo 6 da gösterilmektedir. Tabloda X ve Y doğrultularında ayrı ayrı hesaplanan V_i , katlara depremden dolayı etkileyen kuvvet, Q_i ise katlara depremden dolayı etkileyen kesme kuvveti değeridir. X doğrultusunda etkileyen toplam taban kesme kuvveti 279.56 ton iken Y-doğrultusunda etkileyen taban kesme kuvveti 245.25 ton olarak belirlenmiştir. Binanın performans analizi sonuçları ise Tablo 7 gösterilmektedir. Tabloda kat burulma momentleri (M_{bi}), duvar kesme kuvveti taşıma kapasitesi (V_r), kattaki ilgili yönde duvar alanı bileşeni (W_a), kattaki ilgili yöndeki duvar sayısı (W_n), kesme kapasitesi yetersiz duvar sayısı (yetersiz ΣW_n), kapasitesi yetersiz duvarların toplam kesme kapasitesi (Yetersiz ΣV_r), kapasitesi yetersiz duvarlara gelen toplam kesme kuvveti (Yetersiz ΣV_e) ve dayanımı yetersiz duvarların kat kesme kuvvetine katkı oranı (V_e/Q_i) değerleri yer almaktadır. Performans değerlerine göre zemin katta X doğrultusunda 430.49 tm, Y doğrultusunda ise 196.92 tm burulma momentleri meydana gelmiştir. 1. Normal katta X ve Y doğrultusunda sırasıyla 14.22 ve 40.36 tm burulma momentleri oluşmuştur. Ayrıca 2. Normal katta X ve Y doğrultusunda sırasıyla 30.09 ve 13.80 tm burulma momentleri oluşmuştur. Zemin katta kesme kapasitesi yetersiz duvarlara gelen toplam kesme kuvveti X doğrultusunda 179.20 ton, Y doğrultusunda 63.45 ton olarak belirlenmiştir. 1.Normal kat duvarları için bu değerler sırasıyla 209.56 ve 66.25 ton olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte 2. Normal katta ise yine X ve Y doğrultularında sırasıyla 93.34 ve 73.61 ton olarak belirlenmiştir. Binaya gelen deprem kuvvetleri, taşıyıcı duvarlarında oluşan kesme kuvvetleri, duvarların kesme kapasitesi değerleri ile karşılaştırıldığında binanın RYTEİE-2019'e göre riskli olduğu tespit edilmiştir.

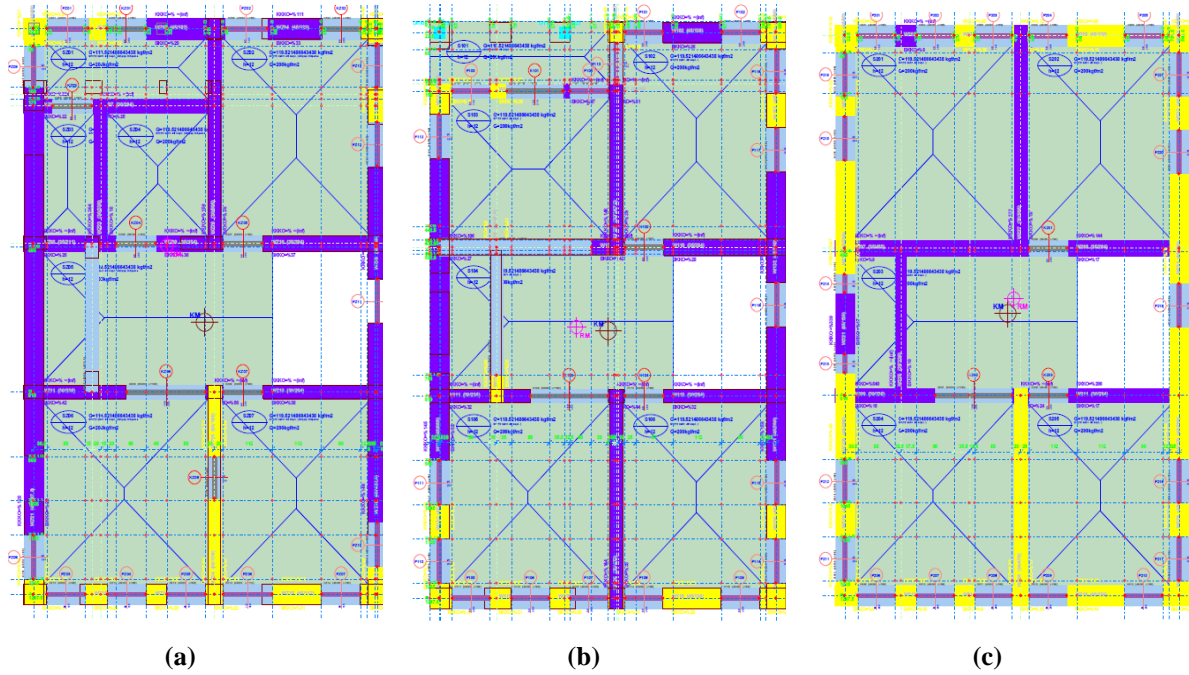
Tablo 6. RYTEİE-2019'e göre oluşan deprem kuvvetleri

Kat Adı	W_i (t)	H_i (cm)	V_{ix} (t)	V_{iy} (t)	Q_{ix} (t)	Q_{iy} (t)
Zemin Kat	131.64	280	25.69	21.74	279.56	245.25
1.Normal Kat	148.53	634	87.59	82.37	253.87	223.51
2.Normal Kat	88.86	1014	166.28	141.14	166.28	141.14
Toplam	369.03		279.56	245.25	--	--

Tablo 7. RYTEİE-2019'e göre bina performans değerleri

Kat Adı	Deprem Yönü	M_{bi} (tm)	ΣV_r (Duvar) (t)	ΣW_a	$\frac{\Sigma Yetersiz W_n}{\Sigma W_n}$	$\Sigma Yetersiz V_r$ (t)	$\Sigma Yetersiz V_e$ (t)	Yetersiz $\frac{\Sigma V_e}{\Sigma Q_i}$ (%)
Zemin Kat	X	-430.49	199.01	8.78	4/19	73.96	179.2	67.4
	Y	-196,92	317.49	12.92	1/14	31.62	63.45	23.2
1.Normal Kat	X	14.22	143.68	6.34	5/19	81.72	209.56	89.7
	Y	-40.36	243.34	10.6	1/17	27.27	66.25	28.2
2.Normal Kat	X	-30.09	141.14	7.88	5/17	76.11	93.34	79.2
	Y	13.8	192.99	10.99	3/16	69.54	73.61	62.9

İncelenen bina TBDY-2018 kapsamında değerlendirildiğinde binanın sınırlı bilgi düzeyi koşulunu sağladığı kabulü ile bilgi düzeyi katsayısı 0.75 olarak belirlenmiştir. Binanın geometrik özellikleri, malzeme karakteristiği, yük kabulleri ve deprem parametreleri ile oluşturulan model yapının TBDY-2018'e göre dorusal hesap yöntemlerinden Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile deprem hesabı yapılmış ve analiz sonucunda katlara etkileyen deprem kuvvetleri Tablo 8'de gösterilmektedir. Performans analizi sonucu gerekli koşulları sağlamayan elemanlar ise Şekil 7'da gösterilmiştir. Kat planlarında mor renkle işaretlenen duvarlar kayma gerilmesi koşulunu sağlamayan düşey taşıyıcı elemanlardır. Tüm katlarda taşıyıcı duvarların kayma gerilmesi yönünden kapasitesinin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın tüm yığma duvar elemanlarının hesaplanan etki/kapasite oranına göre duvarın üzerine etkileyen basınç kuvvetini güvenle taşıdığı belirlenmiştir.



Şekil 7. TBDY-2018'e göre taşıyıcı sistem performans durumu (a) Zemin kat planı (b) 1. Normal kat planı,

(c) 2. Normal kat planı

Tablo 8. TBDY-2018'e göre oluşan deprem kuvvetleri

Kat Adı	W_i (t)	H_i (cm)	V_{ix} (t)	V_{iy} (t)	Q_{ix} (t)	Q_{iy} (t)
Zemin Kat	131.64	280	47.59	47.59	292.03	292.03
1.Normal Kat	148.53	634	121.58	121.58	244.44	244.44
2.Normal Kat	88.86	1014	116.29	116.29	122.86	122.86
Toplam	369.03		292.03	292.03	--	--

Tablo 9. TBDY-2018'e göre bina performans değerleri

Kat Adı	Deprem Yönü	M_{bi} (tm)	$\Sigma V_r(\text{Duvar})$ (t)	ΣW_a	$\frac{\Sigma \text{Yetersiz} W_n}{\Sigma W_n}$	$\Sigma \text{Yetersiz} V_r$ (t)	$\Sigma \text{Yetersiz} V_e$ (t)	$\frac{\Sigma V_e}{\Sigma Q_i}$ (%)
Zemin Kat	X	-477.57	165.27	8.78	9	122.19	283.72	97.2
	Y	-248.64	268.3	12.92	5	179.28	281.07	96.2
1.Normal Kat	X	-50.14	119.85	6.34	10	91.46	237.14	97.0
	Y	-183.84	207.7	10.6	7	157.36	243.05	99.4
2.Normal Kat	X	-40.19	115.36	7.88	6	77.87	121.34	98.8
	Y	17.26	163.74	10.99	8	130.92	121.60	99.0

TBDY-2018'e göre analiz sonucu katlara etkiyen deprem kuvvetleri X ve Y doğrultusunda 292.03 ton olarak belirlenmiştir. Tablo 9'da ise binanın performans analizi sonuçları gösterilmektedir. TBDY-2018 malzeme ve yük kriterlerine göre zemin katta X doğrultusunda 477.57 tm. Y doğrultusunda ise 248.64 tm burulma momenti meydana gelmiştir. 1. Normal katta X ve Y doğrultusunda sırasıyla 50.14 ve 183.84 tm burulma momentleri oluşmuştur. Ayrıca 2. Normal katta X ve Y doğrultusunda sırasıyla 40.19 ve 17.26 tm burulma momenti oluşmuştur. Zemin katta kesme kapasitesi yetersiz duvarlara gelen toplam kesme kuvveti X doğrultusunda 283.72 ton, Y doğrultusunda 281.07 ton olarak belirlenmiştir. 1.Normal kat duvarları için bu değerler sırasıyla 237.14 ve 243.05 ton olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte 2. Normal katta ise yine X ve Y doğrultularında oluşan kesme kuvveti sırasıyla 121.34 ve 121.60 ton olarak belirlenmiştir. Binaya gelen deprem kuvvetleri, taşıyıcı duvarlarında oluşan kesme kuvvetleri, duvarların kesme kapasitesi değerleri ile karşılaştırıldığında binanın performans düzeyinin göçme durumunda olduğu tespit edilmiştir.

IV. SONUÇ

Çalışmada, Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar (RYTEİE-2019) ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) kapsamında yığma binaların sismik performansının belirlenmesi

ile ilgili hükümler karşılaştırılmış, yığma bir binanın deprem güvenliği her iki yönetmeliğe göre değerlendirilmiştir.

Malzeme özellikleri açısından kıyaslandığında; TBDY-2018’de yığma taşıyıcı duvarın karakteristik basınç dayanımı (f_k) duvar numuneleri üzerinde yapılacak deneyler yolu ile veya kargir birim ve harç üzerinde yapılacak ayrı deneylerden elde edilen basınç dayanımları kullanılarak belirlenmektedir. Bina taşıyıcı sistem modeli oluşturulurken Elastisite Modülü $750f_k$ değerine eşit kabul edilmektedir. RYTEİE-2019’da ise Elastisite Modülü $600f_m$ olarak tanımlanmıştır. RYTEİE-2019 malzeme kabulleri açısından daha güvenli tarafta kalmaktadır.

Hesap yöntemleri açısından kıyaslandığında; TBDY-2018 de bina deprem hesabında doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. RYTEİE-2019’e göre binanın risk durumunun belirlenmesi için doğrusal elastik hesap ile Mod Birleştirme Yönteminin kullanılması gerektiği tanımlanmıştır.

TBDY-2018’e göre performans değerlendirmesinde herhangi bir katta uygulanan deprem doğrultusunda bu koşulu sağlamayan duvarların kat kesme kuvvetine katkısı %40’ın altında ise bina Kontrollü Hasar Performans Düzeyini sağlamakta, bu oranın %40’ı aşması durumunda ise bina Göçme Durumundadır. RYTEİE-2019’a göre yapılan değerlendirmede herhangi bir katta Risk Sınırı aşılacak duvarlarda hesaplanan kesme kuvveti toplamı, o kattaki toplam kat kesme kuvvetine oranı %35’ten fazla ise bina, Riskli Bina olarak kabul edilmektedir. Bu hususta RYTEİE-2019 daha güvenli tarafta kalmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen Piyalepaşa Konağı taşıyıcı sisteminin statik ve dinamik yükler etkisinde yapısal analiz sonucu her iki yönetmeliğe göre belirlenen deprem kuvvetleri, yığma taşıyıcı duvarlarda oluşan kesme kuvvetleri ve duvarların kesme kapasitesi değerleri ile karşılaştırılarak binanın deprem performansı belirlenmiştir. TBDY-2018’e göre yapılan değerlendirmede binanın zemin katında dayanımı yetersiz duvarların taşıdığı kesme kuvvetinin kat kesme kuvvetine oranı x-doğrultusundaki %97.2, y doğrultusunda ise %96.2 olarak belirlenmiştir. Bu oranlara göre zemin katta x-yönünde 19 duvardan 9’u yetersizdir. Y-yönünde ise 14 duvardan 5’i yetersizdir. RYTEİE-2019’e göre yapılan analizde ise zemin kattaki dayanımı yetersiz duvarların taşıdığı kesme kuvvetinin kat kesme kuvvetine oranı x-doğrultusundaki %67.4, y-doğrultusunda ise %23.2 olarak belirlenmiştir. Zemin katta x-doğrultusunda 19 duvardan 4’ü yetersiz iken y-doğrultusunda 19 duvardan 1’i yetersiz kalmaktadır. Yığma binanın taşıyıcı sistemini oluşturan duvarlarda oluşan basınç gerilmelerinin her iki yönetmeliğe göre güvenli tarafta kaldığı, kayma gerilmelerinin ise kapasitesinin üzerinde olduğu dolayısıyla yapının göçme durumunda olduğu söylenebilmektedir. Her iki yönetmeliğe göre elde edilen analiz sonuçları kıyaslandığında yığma binanın sadece RYTEİE-2019’e göre analiz sonuçlarının yapının riskli olmadığını söylemek için yeterli olmayacağı değerlendirilmiştir. Özellikle tarihi niteliği de olabilen yığma binaların onarım ve güçlendirme uygulamaları ile yapısal davranışının iyileştirilerek gelecek nesillere güvenle aktarılabilmesi için deprem güvenliğinin geciktirilmeden belirlenmesi gerekmektedir.

TEŞEKKÜR: Piyalepaşa Konağı binasının bu çalışma kapsamında incelenmesine izin veren Millî Savunma Bakanlığı, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Karadeniz Bölge Komutanlığı’na yazarlar teşekkür ederler.

V. KAYNAKLAR

[1] A. Kumbasaroğlu ve A. Çelik, “Eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak tarihi bir yığma yapının sismik performans düzeyinin belirlenmesi,” *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 12, s. 3, ss. 1590-1600, 2019.

- [2] M. C. Genes, L. Abrahamczyk, S. Kacin ve A. M. Erberik, “Yıgma yapıların deprem etkisi altında gözleme ve hesaba bağılı değerlendirilmesi için yöntem,” *4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Eskişehir, Türkiye, 2017.
- [3] N. Bayülke, “Yıgma yapıların deprem davranışı ve güvenliği,” *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, Türkiye, 2011.
- [4] M. Düzgün, “Yıgma kargir yapılar,” *Türkiye Mühendislik Haberleri*, s. 316, ss. 3-10, 1985.
- [5] İ. Çırak, “Yıgma yapılarda oluşan hasarlar, nedenleri ve öneriler,” *SDU Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*,” c. 3, s. 2, ss. 55-60, 2011.
- [6] R. Oyuğ, “2011 Van depremlerinden sonra yıgma yapılarda gözlemlenen hasarlar,” *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 296-315, 2017.
- [7] M. Akgül ve O. Doğan, “4 Nisan 2019 Elazığ-Sivrice depreminin yıgma yapılara etkisinin değerlendirilmesi,” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 265-277, 2020.
- [8] TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 30364, 18 Mart 2018.
- [9] RYTEİE-2019, Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanunun Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. T. C. Resmi Gazete, Sayı: 30808, 21 Haziran 2019.
- [10] M. Önal. A. Koçak, “Yıgma yapı hasarları ve onarımı ve güçlendirme yöntemlerinin ayrıntıları,” *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi Bildiriler Kitabı*, Antalya, Türkiye, ss. 93-108, 2005.
- [11] A. Atımtay, “Açıklamalar ve örneklerle afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik,” (*Betonarme Yapılar*) *Cilt 1*, Ankara, Türkiye, 2000.
- [12] A. Amani, S. Sagiroglu ve A. Doğangün, “Örnek bir yıgma bina üzerinde 1998. 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerinin karşılaştırmalı olarak irdelenmesi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 25, s. 1, ss. 13-26, 2020.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Dijital Teknolojiler Aracılığıyla Kültürel Mirasa Erişim: Akdamar Kilisesi'nin Etkileşimli 3B Modeli

 Ahmet USLU^{a,*}

^a Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Tavşanlı Meslek Yüksekokulu, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahmet.uslu1@dpu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.960219

Öz

Kültürel mirasın korunması, yaşatılması, gelecek nesillere aktarılması ve hasar görmüş kültür varlıklarının dijital olarak belgelenmesi ulusal ve uluslararası toplumların öncelikli konularından biri haline gelmiştir. Son yıllarda 3 boyutlu (3B) modelleme, artırılmış gerçeklik (AG) ve web teknolojilerindeki gelişmeler kültürel mirasın dijital olarak korunmasına, görselleştirilmesine ve erişimine önemli katkılar sunmaktadır. Çalışmada Akdamar Kilisesi için sanal, etkileşimli ve sürdürülebilir bir deneyim oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaçla 3B dijital modellere dayalı mobil AG ve web tabanlı sunum uygulamaları için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, 3B modelleme, AG ve web tabanlı görselleştirme teknolojilerinin kültürel mirasın dijital erişimine ve dolayısıyla sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağladığını göstermiştir. Ayrıca 3B dijital görselleştirme teknolojilerinin kültürel miras ortamlarında keyifli, eğlenceli ve zenginleştirilmiş turizm deneyimleri oluşturmak için daha çok fırsat sunduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kültürel miras, 3B modelleme, Artırılmış gerçeklik, Web tabanlı görselleştirme

Access to Cultural Heritage Through Digital Technologies: Interactive 3D Model of Akdamar Church

ABSTRACT

Conservation, sustainability of cultural heritage, and transferring it to next generation and digital documentation of damaged cultural assets have become one of the priority issues of national and international societies. In recent years, developments in 3D modeling, augmented reality (AR) and web Technologies have made significant contributions to the digital preservation, visualization and access of cultural heritage. In the study, it is aimed to create a virtual, interactive and sustainable experience for Akdamar Church. For this purpose, an approach has been developed for mobile AR and web-based presentation applications based on 3D digital models. The results of the study showed that 3D modeling, AR and web-based visualization technologies make significant contributions to the digital access and therefore sustainability of cultural heritage. In addition, 3D digital visualization technologies have been observed to offer more opportunities to create enjoyable, fun and enriched tourism experiences in cultural heritage environments.

Keywords: Cultural heritage, 3D modeling, Augmented reality, Web based visualization

I. GİRİŞ

Kültürel miras, geçmişten günümüze toplumların gelişimini yansıtan, toplumları bir arada tutan, bir toplumun kültürü ve tarihi ile ilgili ortak geçmişini anlatan, evrensel değerlere sahip ve bireylere aidiyet hissi kazandıran bir unsur olmuştur [1]. İnsanlık için son derece önemli olmasına rağmen somut kültürel miras afetler, terör olayları, bozuk kentleşme, hatalı turizm yönetimi vb. gibi hem doğal hem de insan kaynaklı tehditlerle karşı karşıyadır [2]. Bu tehditler nedeniyle son yıllarda ulusal ve uluslararası platformlarda kültürel eserlerin korunması ve dijital dokümantasyonunun yapılması daha fazla öncelik kazanmıştır [3]. 3B modelleme teknolojilerinde yaşanan güncel gelişmeler, kültürel mirasın dijital olarak korunmasına ve tüm dünyada yaygınlaştırılmasına önemli katkılar sağlamıştır [4]. Bugün 3B dijital teknolojiler kültürel mirasın uzun vadede arşivlenmesi, görselleştirilmesi, sunumu ve mekânsal-zamansal analizi için birincil araç olarak kullanılmaktadır [5]. Aynı zamanda kültürel mirasın 3B olarak sanal ortamlarda sunumu, kullanıcılara kültür varlıklarına erişim, kültürel miras alanlarında gezinme ve etkileşim kurma gibi önemli faydalar sağlamaktadır [6].

Kültürel mirasın dijitalleştirilmesine ve etkileşimli teknolojilerle sanal keşiflerine yönelik yapılan araştırmalar detaylı biçimde incelenerek, öne çıkan araştırmaların ana temaları aşağıda özetlenmiştir. Aziz ve ark. [7] UNESCO Dünya Mirası Listesinde yer alan Melaka'da kültürel mirasın korunması için bütünsel bir uygulama olarak sanal gerçeklik (SG) ve AG kombinasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bostancı ve ark. [8] AG teknolojisi ile yıkılan antik yapıların üzerini 3B modellerle harmanlayarak sanal turizm deneyimini daha eğlenceli hale getirmişlerdir. Canciani ve ark. [9] Roma'da yer alan CastraPraetoria'daki Aurelian Duvarı'nın 3B modelini AG uygulaması üzerinde görselleştirmişlerdir. Younes vd. [10] Byblos'taki Roma Tiyatrosu için AG ve SG uygulaması sunmuşlardır. Polat ve ark. [11] Safranbolu'da tescilli kültür varlıkları için turist rehberi sistemlerinde kullanılabilir coğrafi bilgi sistemleri tabanlı mobil AG uygulaması geliştirmişlerdir. Obradović ve ark. [12] fotogrametrik modellere dayalı SG uygulamaları için bir yöntem geliştirerek, Sırbistan'da yer alan Sırp Ortodoks Katedrali Saint Nicholas Kilisesi'ne yönelik bir SG deneyimi oluşturmuşlardır. Uslu ve Uysal [13] kültürel mirasın ayrıntılı keşfi için Hareket ile Nesne Oluşturma-Structure From Motion (SFM) tekniği ile yenilikçi mobil AG ve internet ortamında görselleştirme teknolojileri arasında bir birleşim oluşturmuşlardır. Soto-Martin ve ark. [14] İspanya'nın Tenerife kentinde yer alan yıkık durumdaki St. Augustine Kilisesi'ni 3B modelleme teknikleri aracılığıyla sanal ortamda yeniden inşa etmek, görselleştirmek ve etkileşim kurmak için SG teknolojisini kullanmışlardır. Yıldız ve ark. [15] ülkemizde yer alan çeşitli kültür varlıklarının tanıtılması, toplum genelinde yaygınlaştırılması, sevdirmesi ve bu konuda bilinçli toplumun oluşturulması amacıyla ilköğretim çağındaki çocuklara yönelik bu eserlerin 3B modellerini incelenebileceği AG destekli eğitsel bir uygulama geliştirmişlerdir. Uslu ve Uysal [16] araştırmalarında konum tabanlı sosyal medya platformu Flickr'da paylaşılan fotoğrafları kullanarak Afrodiasis Antik Kenti'ndeki Tetrasyon yapısını fotogrametri tekniği ile 3B modellemişler ve 3B modeli dijital erişim için sanal küre üzerinde web tabanlı görselleştirmişlerdir.

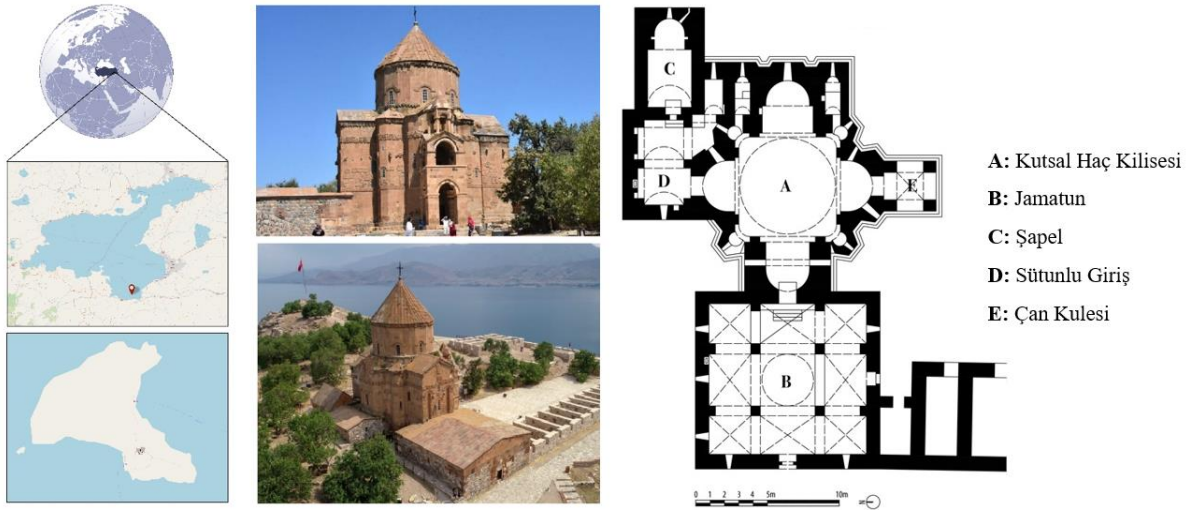
Literatür araştırması neticesinde kültürel mirasın kullanıcı merkezli etkileşimli deneyimi için bütünsel bir uygulama olarak mobil AG ve sanal dünya üzerinde görselleştirme kombinasyonunu içeren ülkemizde yapılmış herhangi bir bilimsel araştırmaya rastlanılmamıştır. Çalışmada, literatürden farklı olarak kültürel mirasın düşük maliyetle yüksek görsel kaliteye ve geometrik detaylara sahip kapsamlı 3B modelinin oluşturulması ve 3B dijital görselleştirme teknolojileri aracılığıyla kültürel mirasa erişim sağlamak için bir yaklaşım sunulmuştur. Bu yönüyle çalışma özgün bir nitelik taşımaktadır. Çalışmada, kültürel mirasın tanıtılması ve yaygınlaştırılması için interaktif ve sürükleyici sanal ortamların oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Van'da yer alan Akdamar Kilisesi'nin 3B modeli optimize edilerek, kilisenin ayrıntılı keşfi ve dijital erişimi için mobil AG ve web tabanlı görselleştirme teknolojilerine entegrasyonu sağlanmıştır.

Çalışma dört bölüm halinde düzenlenmiştir. Giriş bölümünün (Bölüm 1) ardından, Bölüm 2'de Akdamar Kilisesi'nin genel özellikleri, çalışmada kullanılan veri kaynakları ve çalışmanın yöntemi sunulmuştur. Bölüm 3 bulgular ve tartışmadan oluşmaktadır. Son olarak Bölüm 4'te ise çalışmanın sonuçları, öneriler ve gelecekteki çalışmalar belirtilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. ÇALIŞMA ALANI VE ÇALIŞMA MATERYALLERİ

Çalışma alanı olarak Van Gölü'ndeki Akdamar Adası'nda yer alan Akdamar Kilisesi seçilmiştir. Akdamar Kilisesi Vaspurakan Kralı I. Gagik tarafından 915-921 yılları arasında Adanın güneydoğusuna inşa edilmiştir. Daha sonra 1296-1336 tarihlerinde Kilisenin kuzeydoğusundaki şapel, 1763 tarihinde batısındaki jamaton ve 18. yüzyıl sonlarında güneyindeki çan kulesi ilave edilmiştir [17]. Restorasyon çalışmaları sonucunda 2007 yılında Anıt Müze olarak açılmıştır. Kilise, muazzam bir mimarisi ve zengin dış cephe kabartmalarıyla öne çıkmaktadır. Kilise plan olarak merkezi kubbeli ve dört yapraklı yonca şeklinde haç plana sahiptir. Orta mekân yüksek kasnaklı, içten kubbe, dıştan piramidal külahla örtülü olarak inşa edilmiştir. Kilisenin dış cephe yüzeyinde kullanılan kabartma figürler İncil ve Tevrat'tan alınmış çeşitli sahneleri anlatmaktadır. Son yıllarda Akdamar Kilisesi, yerli ve yabancı turistlerin uğrak mekanlarından biri haline gelmiştir [17]. Şekil 1'de Akdamar Kilisesi coğrafi konumu ve kilisenin yapı bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Akdamar Kilisesi'nin coğrafi konumu ve yapı bölümleri [17]

Çalışmada veri kaynağı olarak Akdamar Kilisesinin farklı açılardan ve tüm cephelerden çekilmiş fotoğrafları, Yakup Hazan Mimarlık Limited Şirketi tarafından hazırlanan ve 2004 yılında Diyarbakır Kültür ve Tabiat Varlıklarının Koruma Bölge Müdürlüğü'nce onaylanan rölöve, restitüsyon ve restorasyon projesi çizimleri kullanılmıştır. Fotoğraflar 16.2 MP çözünürlüğe sahip Samsung ST150 dijital fotoğraf makinesi ile çekilmiştir. 3B modelleme için SketchUp yazılımı, mobil AG uygulaması için Augment (bulut tabanlı yazılım) ve web tarayıcısında görselleştirme için sanal küre tabanlı Cesium platformu kullanılmıştır.

B. YÖNTEM

Çalışmanın yöntemi için ayrıntılı literatür araştırması sonucu elde edilen kaynaklardan yararlanılmıştır. Şekil 2'de kültürel mirasın 3B modellenmesi ve 3B modeli etkileşimli sanal ortamda görselleştirmek için uygulanan iş akışı gösterilmiştir.



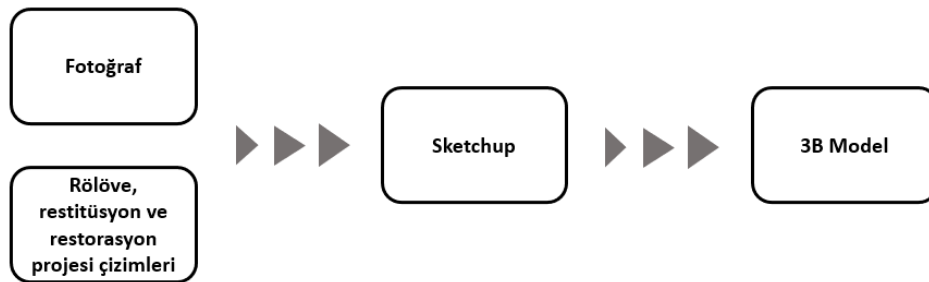
Şekil 2. Çalışmanın yöntemi

B. 1. Veri Toplama

Akdamar Kilisesi'nin 3B modeline gerçekçi bir görünüm kazandırmak için doku kaplama işlemi aşamasında kullanılmak üzere yapının tüm açılardan çekilmiş fotoğraflarına ihtiyaç vardır. Fotoğrafların çekimi gerçekleştirilirken Akdamar Kilisesi'nin tüm cephelerden, görünen bütün yüzeylerinin fotoğraflanmasına ve hava koşulları göz önünde bulundurularak fotoğraflarda ışık yoğunluğunun aynı olmasına dikkat edilmiştir. Akdamar Kilisesi'nin 3B modelinin oluşturulmasında Yakup Hazan Mimarlık Limited Şirketi tarafından hazırlanan ve 2004 yılında Diyarbakır Kültür ve Tabiat Varlıklarının Koruma Bölge Müdürlüğü'nce onaylanan rölöve, restitüsyon ve restorasyon projesi çizimlerinden faydalanılmıştır.

B. 2. 3B Modelleme

Kültürel mirasın kayıt altına alınması, geliştirilmesi, tanıtımı ve etkileşimli teknolojilerle sunumu için öncelikle kültür varlıklarının aslına uygun olarak 3B modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Fotoğraflar, rölöve, restitüsyon ve restorasyon projesi çizimleri kullanılarak SketchUp yazılımında Akdamar Kilisesinin 3B modeli oluşturulmuştur. Şekil 3'te Akdamar Kilisesi'nin 3B modellenmesi için uygulanan iş akışı gösterilmektedir.

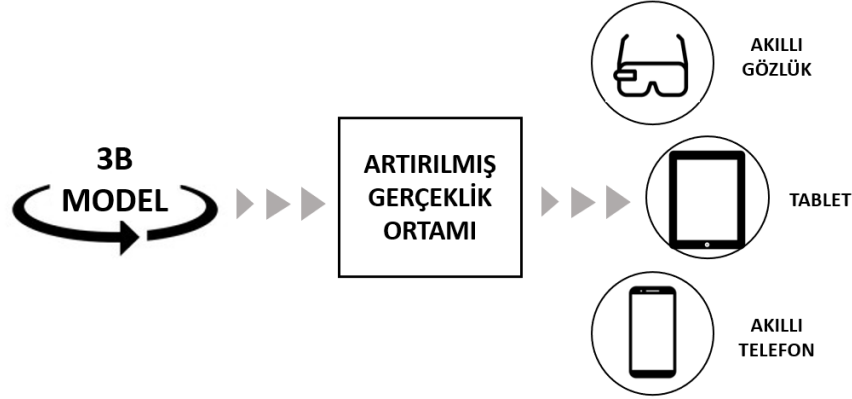


Şekil 3. 3B model oluşturmak için uygulanan iş akışı şeması

B. 3. Artırılmış Gerçeklik

AG, bilgiyi yayma ve kültürel mirası geliştirme sürecini teşvik etmek için etkili bir araçtır. Sanal içeriğin fiziksel bir ortama etkileşimli ve gerçek zamanlı olarak eklendiği bir teknolojidir [7]. Mobil AG uygulaması için Augment (bulut tabanlı yazılım) tercih edilmiştir. Bulut tabanlı Augment yazılımı, kullanıcıların ürünlerini gerçek ortamda ve gerçek zamanlı olarak mobil cihazlar aracılığıyla 3B olarak görselleştirmelerine imkân sağlayan AG platformudur. Yazılım Perakende, E-Ticaret, mimari, eğitim ve diğer amaçlar için kullanılmaktadır [18]. Akıllı gözlükler, akıllı telefonlar, tablet bilgisayarlar AG

hizmetleri için kullanılabilen cihazlardır. Şekil 4'te 3B dijital modelin AG ortamında görselleştirilmesi için uygulanan iş akışı gösterilmektedir.



Şekil 4. Artırılmış gerçeklik ortamında 3B görselleştirme için uygulanan iş akışı şeması

B. 4. Web Tabanlı Görselleştirme

Web tabanlı görselleştirme teknolojilerindeki güncel gelişmeler, kültürel mirasın dijital olarak korunmasına ve tüm dünyada yaygınlaştırılmasına önemli katkılar sunmuştur [4]. Sanal dünya tabanlı görselleştirme, kullanıcıların 3B sanal ortamda coğrafi varlıklarla etkileşimde bulunmasına olanak sağlayan, ideal bir görselleştirme platformu olarak ifade edilmiştir [4]. Akdamar Kilisesi'nin ve çevresinde yer alan manzaraların 3B gösterimi ve keşfi için sanal dünya platformu Cesium Ion yazılımı tercih edilmiştir. Cesium Ion, etkileşimli haritalar tasarlamak ve çeşitli 3B analizler gerçekleştirmek amacıyla geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir yazılımdır [18]. Cesium Ion, pek çok 3B dijital model dosyası (glTF, obj, dae, fbx, kmz ve kml) türlerini desteklemektedir. Şekil 5'te 3B dijital modelin web tabanlı görselleştirilmesi için uygulanan iş akışı gösterilmektedir.

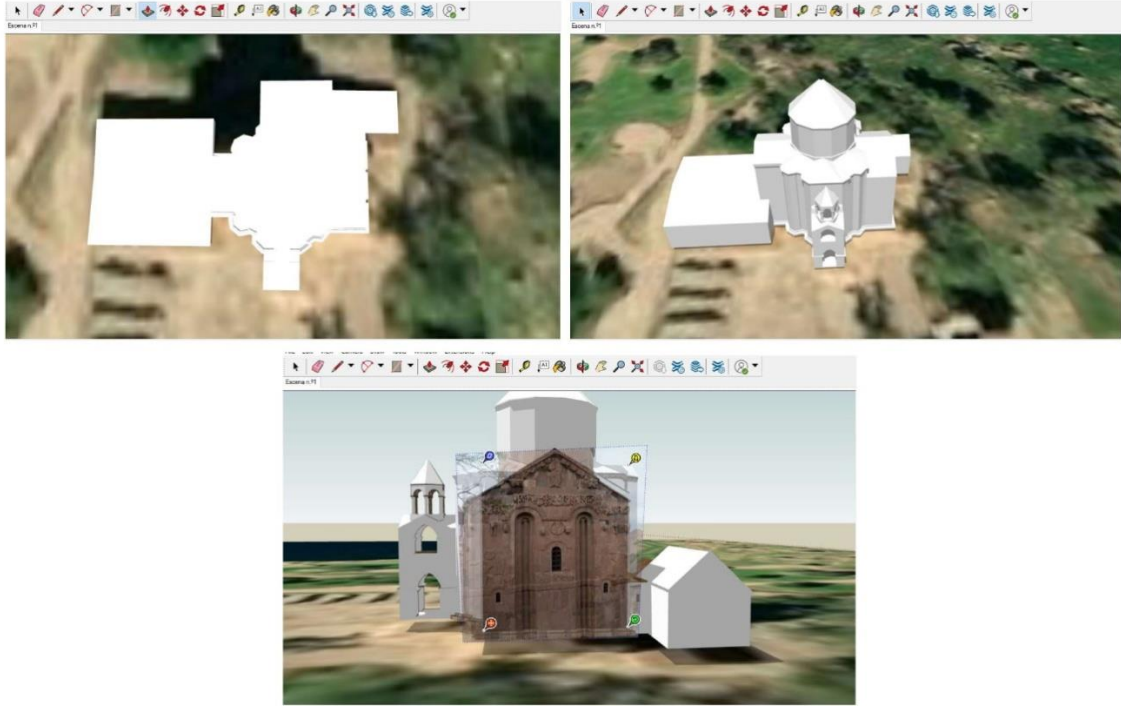


Şekil 5. 3B Modelin web tabanlı görselleştirilmesi için uygulanan iş akışı şeması [19]

III. BULGULAR

A. 3B MODEL OLUŞTURMA

Akdamar Kilisesi'nin 3B modeli rölöve, restitüsyon ve restorasyon projesi çizimlerinden faydalanılarak SketchUp yazılımında oluşturulmuştur. Daha sonra 3B modele gerçekçi görünüm kazandırmak ve görselliği arttırmak amacıyla arazide çekilen fotoğraflar kullanılarak cephe giydirme, renklendirme ve doku kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Şekil 7'de Akdamar Kilisesi'nin 3B katı modeli (sol) ve yüzey dokuları uygulanmış 3B modeli (sağ) gösterilmektedir.



Şekil 6. SketchUp yazılımında 3B modelleme süreci

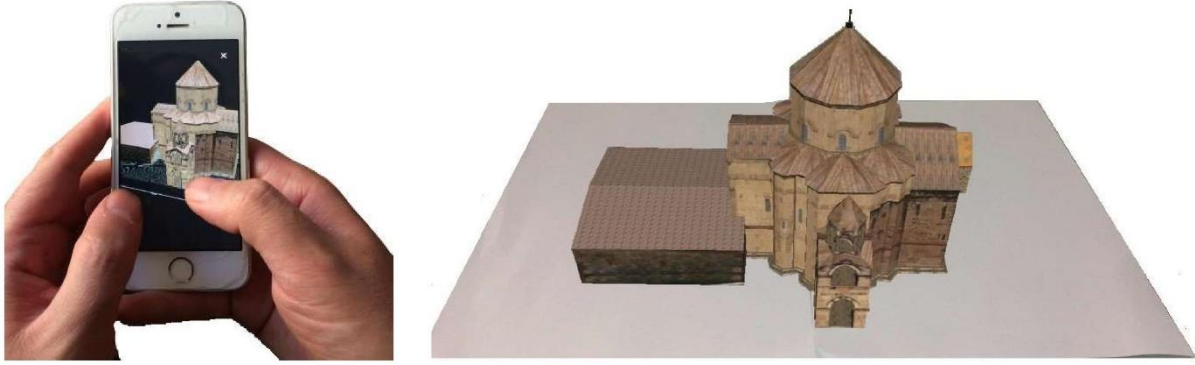


Şekil 7. Akdamar Kilisesi'nin 3B katı modeli (sol) ve yüzey dokuları uygulanmış 3B modeli (sağ)

Son olarak, Akdamar Kilisesi'nin 3B dijital modeli mobil AG ve web tabanlı görselleştirme uygulamalarında kullanılmak “.obj” uzantılı model dosyası olarak kaydedilmiştir.

B. MOBİL ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMASI

3B modelleme aşamasında oluşturulan Akdamar Kilisesi'nin “.obj” uzantılı dijital model dosyası, doku kaplama ve materyal dosyaları ile birlikte Augment uygulamasına yüklenmiştir. 3B dijital modele ait dosyalar sisteme aktarıldıktan sonra Augment uygulaması, Akdamar Kilisesi'ni tanıtan bilgilere ve kilisenin 3B modeline erişim imkânı sağlayan bir QR kod oluşturmuştur. Akıllı cep telefonu üzerinde kurulu olan bir AG uygulaması aracılığıyla QR kod taratılarak, Akdamar Kilisesi'nin 3B modeli görüntülenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Akdamar Kilisesi'nin mobil AG tabanlı görselleştirilmesi

Sürükleyici AG teknolojisi Akdamar Kilisesi'nin kullanıcı merkezli ve kişiselleştirilmiş sunumunu sağlamış ve Akdamar Kilisesi'ni dijital olarak erişilebilir hale getirmiştir. Ana panelde bulunan kontrolörler, işareteye göre 3B modeli taşımak, ölçeklemek ve döndürmek için kullanılabilir.

AG teknolojisinin nihai amacı, kültürel miras alanlarında gelişmiş deneyimler sağlayarak bir destinasyonu korumaktır. Mobil AG uygulaması kültürel miras bilinciyle ilgili heyecan verici sürükleyici deneyimleri geliştirebilir, ziyaretçi katılımını artırabilir ve kültür varlıklarının korunmasında uygulanabilir. Mevcut çalışma önemli teorik ve pratik çıkarımlar sağlasa da sınırlılığı bulunmaktadır. Telefonun çalması durumunda kullanıcıların AG kamera görüntüsüne dönmesi ve izlemeyi yeniden başlatması gerekmektedir.

C. WEB TABANLI GÖRSELLEŞTİRME UYGULAMASI

Akdamar Kilisesi'nin sanal dünya üzerinde web tabanlı görselleştirilmesi için 3B dijital modele ait dosyalar kullanıcı hesabı oluşturularak Cesium Ion platformuna yüklenmiştir. 3B dijital model coğrafi referansa sahip olduğu için yerküre üzerindeki konumuna yerleştirilmiştir. Şekil 9'da Akdamar Kilisesi'ne ait 3B modelin Cesium Ion ortamında web tabanlı sunumu gösterilmektedir.



Şekil 9. 3B modelin sanal dünya üzerinde web tabanlı görselleştirilmesi

Cesium Ion bilgisayarda yada mobil cihazlarda kullanıcıların sanal dünya üzerinde yakınlaştırma, kaydırma, döndürme ve gezinme gibi çoklu işlevleri gerçekleştirmelerini ve 3B görselleştirmeyi herhangi bir web sayfasına entegre etmelerini de mümkün kılmaktadır. Cesium Ion platformunda 3B

modeller sanal küre üzerine yerleştirilirken modellerin konum doğruluğu sorunu ile karşılaşılabilir. Bunun nedeni, SketchUp'taki bina ayak izine ve Geolocation işlevine dayalı olarak 3B modelin oluşturulmasıdır. Bu sorun, 3B modelin Cesium'daki konumunu el ile düzeltmek suretiyle çözülebilir. Bununla birlikte, nokta bulutu verileri gibi daha doğru veriler kullanılarak bu sorundan kaçınılabilir.

Akdamar Kilisesi uzak konumu ve hareket kısıtlamaları gibi nedenlerden dolayı özel gereksinimli bireyler için kolay erişilebilir durumda değildir. Bu durum, özel gereksinimli bireylerin ziyaret deneyiminin tadını çıkarmalarını imkânsız kılmaktadır. Çalışmada uygulanan AG ve web tabanlı görselleştirme teknolojileri, özel gereksinimli bireylerin yanı sıra tüm bireyler için Akdamar Kilisesi'ne erişimini ve etkileşimini iyileştirmenin yolunu sunmaktadır. 3B dijital görselleştirme teknolojileri, kültürel mirasa erişim açısından özel gereksinimli bireylere tarihi değeri yüksek bir yeri ziyaret etme imkânı sağlayarak bu kişilerin toplumsal entegrasyona ulaşmalarına katkı sunmaktadır.

IV. TARTIŞMA, SONUC VE ÖNERİLER

Bilgi teknolojilerindeki güncel gelişmeler, insanların kültürel mirasa erişimini sağlamak amacıyla çeşitli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle 3B dijital modelleme, web ortamında sunum ve AG teknolojileri, kültür varlıkları ile ilgili kullanıcı etkileşimini geliştirme durumu açısından önemli avantajlara sahiptir. Bu çalışmada, Akdamar Kilisesi'nin etkileşimli keşfi amacıyla 3B modelleme ile yenilikçi mobil AG ve web tabanlı görselleştirme teknolojilerini birleştiren bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmanın sonuçları, 3B modelleme, AG ve web tabanlı sunum sinerjisinin kültürel mirasın etkileşimli olarak görselleştirilmesi ve ayrıntılı keşfi için büyük bir fırsat sunduğunu doğrulamıştır. Çalışma kültürel mirasın korunması, gelecek nesillere aktarılması ve sanal erişilebilirliği için insan-teknoloji etkileşimine önemli katkılar sağlamaktadır.

Kültürel mirasın belgelenmesinde 3B modelleme teknolojileri giderek yaygınlaşan bir yöntem haline gelmiştir. Kültürel mirasın dijitalleştirilmesinde bilimsel titizliğini koruyan, kültürel ve etik hassasiyetlere saygı gösteren uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır [20]. Kültürel mirasın dijital olarak yeniden yapılandırılmasının etik ilkeleri henüz UNESCO veya ICOMOS tarafından belirlenmemiştir [21]. Bununla birlikte dijital teknolojiler, aynı zamanda, güvencesiz etik zorluklar ortaya koymakta, mevcut tanımlara ve profesyonel değerlere meydan okumakta ve kültürel mirasın daha fazla metalaştırılması riskini taşımaktadır [22]. Bu bağlamda bir öneri olarak kültürel mirasa ilişkin mevcut etik yönergeler, kültürel mirasın dijital olarak yeniden yapılandırılması için etik standartları içerecek şekilde değiştirilmelidir.

3B dijital teknolojiler turizm endüstrisi ve yerel ekonomik kalkınmayı teşvik etmenin yanı sıra bir ülkenin ulusal kültürel değerlerini dünya çapında yaymada önemli bir rol oynamaktadır [23]. Huang ve ark. [23] araştırmalarında 3B dijital teknolojileri, geleneksel turizmin yerini almayı değil, bir turistik destinasyonu ziyaret etmeye ilişkin karar verme sürecini iyileştirebilecek bilgi desteği sağlayarak gerçek deneyimleri tamamlama ve destinasyonları tanıtmaya fırsatı olarak değerlendirmişlerdir. Bu çalışma turizm endüstrisi açısından önemli katkılar sağlayacak niteliktedir. Etkileşimli 3B dijital teknolojiler, tarihi alanların tanıtımını sağlamak, bu alanları ziyaret etmek isteyen insanların sayısını artırmak ve sürdürülebilir yerel kalkınmaya önemli katkılar sunmak amacıyla bir teşvik aracı olarak kullanılabilir. Etkileşimli görselleştirme yöntemleri, COVID-19 küresel pandemisinin neden olduğu küresel sağlık krizi sürecinde de oldukça önemlidir. Pandemi sürecinde ortaya çıkan seyahat kısıtlamaları ve gezginler arasındaki talebin azalması nedeniyle turizm endüstrisi üzerinde önemli bir etkisi vardır. 3B dijital teknolojilere dayalı sanal turizm, akıllı kültürel miras hizmetlerinin dinamik gelişimini sağlayarak tarihi nesnelere erişim sınırlamalarını değiştirecek bir çözüm olabilir. Çalışmada açıklanan metodoloji, 3B kültürel miras modellerinin ve ilgili bilgilerin depolanmasını ve görselleştirilmesini kolaylaştırmak için müzeler, galeriler, arşivler gibi kurumlarda uygulanabilir.

Gelişen teknolojiler sayesinde dijital uygulamalarda 3B sanal modellerin kullanılması kültürel mirasın tanıtım ve eğitim sürecine yeni bir boyut kazandırmıştır [24]. Bekele ve ark. [24] yapmış olduğu

arařtırmada, 3B dijital teknolojiler eđitim, sergiler, keřif ve sanal műzeler dahil olmak űzere farklı kořullarda çeřitli uygulama tűrlerinin geliřtirilmesi yoluyla test edilmiř, bu teknolojilerin kullanıcı deneyimini zenginleřtirdiđi ve bilgiye eriřimi iyileřtirdiđi gűrűlműřtűr. Bu bađlamda alıřma 3B dijital teknolojiler aracılıđıyla kűltűrel miras eđitimi için yenilikçi bir ereve sunmaktadır. AG ve web tabanlı bir uygulama, kullanıcıların ziyaret deneyimlerini geliřtirerek kűltűrel miras alanında eđitim içeriđinin dijitalleřtirilmesi yoluyla űđrenme sűrecinin desteklemesine imkân sađlayabilir. Bununla birlikte, 3B dijital teknolojileri kullandıđına bađlı olarak bazı eksiklikleri ve sınırlamaları da vardır. Kullanıcıların eđitsel konularda 3B dijital teknolojileri kullanmaları geleneksel yűntemlere kıyasla daha iyi űđrenecekleri anlamına gelmez. Bu nedenle sűrűkleyici dijital teknoloji kullanımında kullanıcıların eđlence yerine içeriđe odaklanmaları gerekmektedir [25].

Gelecek çalıřmalarda kűltűrel mirasın AG ve web tabanlı gűrselleřtirme teknolojilerinin yanında sanal gerçeklik, karma gerçeklik ve 3B baskı teknolojileri ile kombinasyonun sađlandıđı uygulamalar gerçekleřtirilecektir.

V. KAYNAKLAR

- [1] R. Kurin, "Safeguarding Intangible Cultural Heritage in the 2003 UNESCO Convention: a critical appraisal," *Museum International*, vol. 56, no. 1-2, pp. 66-77, 2004.
- [2] M. Vecco, "A definition of cultural heritage: From the tangible to the intangible," *Journal of Cultural Heritage*, vol.11, no. 3, pp. 321-324, 2010.
- [3] F. Soler, F. Melero and M. V. Luzűn, "A complete 3D information system for cultural heritage documentation," *Journal of Cultural Heritage*, vol.23, pp. 49-57, 2017.
- [4] I. Nishanbaev, "A web repository for geo-located 3D digital cultural heritage models," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. e00139, 2020.
- [5] H. K. Dhonju, W. Xiao, J. P. Mills and V. Sarhosis, "Share Our Cultural Heritage (SOCH): worldwide 3D heritage reconstruction and visualization via web and mobile GIS," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 7, no. 9, pp. 360-371, 2017.
- [6] O. M., Machidon, A. Tavar, M.Gams and M. Duguleană, "CulturalERICA: A conversational agent improving the exploration of European cultural heritage," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 41, pp. 152-165, 2020.
- [7] K. A. Aziz and T. G. Siang, "Virtual Reality and Augmented Reality combination as a holistic application for heritage preservation in the Unesco World Heritage Site of Melaka," *International Journal of Social Science and Humanity*, vol. 4, no. 5, pp. 333-338, 2014.
- [8] E. Bostanci, N. Kanwal and A. F. Clark, "Augmented reality applications for cultural heritage using Kinect," *Human-centric Computing and Information Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 1-18, 2015.
- [9] M. Canciani, E. Conigliaro, M. D. Grasso, P. Papalini, M. Saccone, "3D survey and augmented reality for cultural heritage: The case study of Aurelian Wall at Castra Praetoria in Rome," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 41, 2016.
- [10] G. Younes, R. Kahil, M. Jallad, D. Asmar, I. Elhaji, G. Turkiyyah and H. Al-Harithy, "Virtual and augmented reality for rich interaction with cultural heritage sites: A case study from the Roman Theater at Byblos," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, c. 5, ss. 1-9, 2017.





- [11] M. Polat, İ. R. Kardeş, İ. Kahraman and B. Alızadehashrafi, “Safranbolu Eski Çarşı Tarihi noktaları için Cbs tabanlı artırılmış gerçeklik uygulaması,” *6. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu*, Adana, Türkiye, 2016.
- [12] M. Obradović, I. Vasiljević, I. Đurić, J. Kićanović, V. Stojaković and R. Obradović, “Virtual reality models based on photogrammetric surveys—a case study of the Iconostasis of the Serbian Orthodox Cathedral Church of Saint Nicholas in Sremski Karlovci (Serbia),” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 8, pp. 2743-2756, 2020.
- [13] A. Uslu ve M. Uysal, “Kültürel mirasın etkileşimli keşfi için mobil artırılmış gerçeklik ve web tabanlı görselleştirme teknolojilerinin kullanılması: Sfenks Heykeli Örneği,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 20, s. 6, ss. 1024-1031, 2020.
- [14] O. Soto-Martin, A. Fuentes-Porto and J. Martin-Gutierrez, “A digital reconstruction of a historical building and virtual reintegration of mural paintings to create an interactive and immersive experience in virtual reality,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 2, pp. 597-614, 2020.
- [15] Z. Ç. Yıldız, M. Türker and R. D. Ak, “Mimari miras eğitiminde artırılmış gerçeklik ve fotogrametri desteği,” *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, c. 14, s. 2, ss.137-149, 2021.
- [16] A. Uslu ve M. Uysal, “Kitle Kaynaklı Fotoğraflar Kullanılarak Kültürel Mirasın Üç Boyutlu Modellenmesi ve Web Tabanlı Görselleştirilmesi: Afrodisias - Tetrapylon Örneği,” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 21, s. 3, ss. 632-639, 2021.
- [17] Van İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (2021, 10 Haziran). [Online]. Erişim: <https://van.ktb.gov.tr/>.
- [18] 3B ve Artırılmış Gerçeklik Ürün Görselleştirme Platformu. (2021, 12 Haziran). [Online]. Erişim: <https://www.augment.com/>.
- [19] Web İçin 3B Coğrafi Görselleştirme Platformu. (2021, 15 Haziran). [Online]. Erişim: <https://cesium.com/platform/cesiumjs/>.
- [20] H.H. Hallaç ve V. Öğülmüş, “Kültürel Miras Verilerinin Dijital Olarak Depolanması: Openheritage3D örneği,” *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, c. 11, s. 2, ss. 521-540, 2021.
- [21] R. Khunti, “The Problem with Printing Palmyra: Exploring the Ethics of Using 3D Printing Technology to Reconstruct Heritage,” *Studies in Digital Heritage*, c. 2, s. 1, ss. 1-12, 2018.
- [22] J. Fredricks, “Digital tools and how we use them: The destruction and reconstruction of tangible cultural heritage in Syria,” *MW18: Museums and the Web 2018*, Vancouver, Canada, 2018.
- [23] Y. C. Huang, K. F. Backman, S. J. Backman and L. L. Chang, “Exploring the implications of virtual reality technology in tourism marketing: An integrated research framework,” *International Journal of Tourism Research*, c. 18, s. 2, ss. 116-128, 2016.
- [24] M. K. Bekele, R. Pierdicca, E. Frontoni, E.S. Malinverni and J. Gain, “A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage,” *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, c. 11, s. 2, ss. 1-36, 2018.
- [25] J. Challenor and M. Ma, “A review of augmented reality applications for history education and heritage visualisation,” *Multimodal Technologies and Interaction*, c. 3, s. 2, ss. 39-60, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı En Boy Oranlarına Sahip Dikdörtgenel Prizmatik Cisimler Etrafındaki Akış Yapısının Deneysel Olarak İncelenmesi

 Cemre POLAT ^{a,*},  Doğan Burak SAYDAM ^{b,c},  Mustafa SÖYLER ^c,  Coşkun ÖZALP ^c

^a Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Düziçi Meslek Yüksekokulu, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE

^b Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE

^c Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: cemrepolat@osmaniye.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.945670

Öz

Bu çalışmada, farklı en/boy oranlarına sahip dikdörtgenel prizması şeklindeki küt cisimler etrafındaki akış yapısı “parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği” (PIV) ile deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada farklı en/boy oranlarında yatay kare prizma, küp, dik kare prizma şeklinde (sırasıyla $H/L=0.5$, $H/L=1$, $H/L=2$) akrilik malzemeden üretilmiş dikdörtgenel prizması şeklinde geometriler kullanılmıştır. PIV tekniği kullanılarak anlık olarak elde edilen hız vektörleri ile anlık girdap, akım çizgisi gibi bileşenler hesaplanmış, elde edilen verilere göre zaman ortalama hız değerleri, girdaplık değerleri, akım çizgileri ve hız profilleri belirlenmiştir. Deneysel model boyutları, akış hızı, akışkanın yoğunluğu ve viskozitesi gibi parametrelere bağlı olarak Re sayısı 26000 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, incelenen geometrilerin sol üst köşesinde başlayan ve x eksenini boyunca uzanan bir hızlanma bölgesinin oluştuğu ve akış yönündeki hızın maksimum olduğu noktaların bu bölgede olduğu tespit edilmiştir. Dik olarak yerleştirilen $H/L=2$ (dik) prizmanın, diğer prizmalara göre ($H/L=1$ küp ve $H/L=0.5$ yatay) geometri arkasında oluşan ölü alan bölgesini ($\cong 2L$) arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akış karakteristiği, PIV, Küt cisim

Experimental Investigation of Flow Structure Around Rectangular Prismatic Bodies with Different Aspect Ratios

ABSTRACT

In this study, the flow structure around bluff bodies in the form of rectangular prisms with different aspect ratios was experimentally investigated by particle imaging velocity measurement (PIV) technique. In the study, rectangular prism shaped geometries produced from acrylic material in the form of horizontal square prism, cube, vertical square prism ($H/L = 0.5$, $H/L = 1$, $H/L = 2$, respectively) in different aspect ratios were used. Using the PIV technique, instantaneous velocity vector data acquired, instantaneous vorticity and streamlines were calculated, and time average velocity values, streamlines and velocity profiles were determined according to these data. In the experiments, the Re number was calculated as 26000, depending on parameters such as model dimensions, flow velocity, density, and viscosity of the fluid. As a result of the study, it has been determined that an acceleration zone that starts in the upper left corner of the examined geometries and extends along the x-axis and the points where the velocity in the flow direction is maximum are in this region. It has been determined that

the vertically placed $H/L=2$ (vertical) prism increases the wake region ($\cong 2L$) formed behind the geometry compared to the other prisms ($H/L=1$ cubic and $H/L=0.5$ horizontal).

Keywords: Flow characteristic, PIV, Bluff body

I. GİRİŞ

Bir küt cisim etrafındaki akış yapısının incelenmesi (akış ayrılması, girdap atma sıklığı, sürüklenme vb.) mühendislik tasarımlarına doğrudan etkilerinin olması nedeniyle akış ve aerodinamik özelliklerin ortaya çıkarılmasında büyük önem taşımaktadır [1]. Özellikle keskin kenarlı küt cisimler üzerindeki akışlar, binalar ve köprüler etrafındaki atmosferik sınır tabakası akışları, elektronik kartlar üzerindeki devre elemanlarının soğutulması vb. gibi pratikte birçok uygulamalarda karşılaşılmışından dolayı araştırmacılar tarafından özel bir ilgi görmektedir [2,3].

Çoğu bina uygulaması, birçok araştırmaya konu olan iki boyutlu bir geometriden farklı olarak, yüzeye monte edilmiş bir prizmadır. Bu nedenle, bir binanın etrafındaki akış yapısı, özellikle cismin üzerindeki akış etkisinden dolayı karmaşıktır [4]. Bu nedenle yüzeye monte edilmiş üç boyutlu (3B) kare silindirin etrafındaki akış üzerine yapılan araştırmalar büyük bir popülerlik kazanmış ve bu alandaki hem temel hem de uygulamalı çalışmalar içi yoğun bir araştırma alanı olmuştur. Ayrıca son yıllarda yaşanan gelişmeler ışığında (kentsel arazilerin azalması, kentlerde yapısal yoğunluğun artması ve bu yoğunluğu hafifletme çabaları) dikey mimariye (yüksek katlı binalar) sahip mühendislik uygulamaları da bu tür araştırmalara güzel bir örnek oluşturmaktadır [5,6]. Ayrıca düşük ve yüksek en-boy oranlı kare silindirlerin etrafındaki akış, basitleştirilmiş binalar etrafındaki akış yapısını modelleyebildiğinden çevresel uygulamalar için de çok önemlidir [7].

Binalar etrafındaki akış yapısı literatürde yer alan çalışmalarda prizmatik küt cisim olarak modellenmiştir. Basit geometrisi ve düzenli girdap yapısı nedeniyle prizmatik küt cisim etrafındaki akış yapısı (akış ayrılması, girdap dökülmesi, yeniden bağlanma vb.) ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar görmek mümkündür [8,9]. Fertelli ve Balta, farklı ara mesafelere art arda yerleştirilen bina modelleri için rüzgârın etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada araştırmacılar, model için şartlar Sivas ili şartlarına göre (ortalama rüzgâr hızı) belirlenmiş ve sayısal çalışma için RNG k- ϵ türbülans modeli kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışma sonucunda, farklı mesafelerde konumlandırılan binaların arasındaki mesafenin artırılması, bina arkasına yerleştirilen ikinci bir bina modelinin akış yapısı ve girdap alanlarını etkilediğini göstermiştir [10]. Da Silva vd. tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar, yüzeye monte sonlu yükseklikte en boy oranı $A/R=3$ olan kare prizma etrafındaki akış yapısını Reynolds sayısı 500'de ($Re=500$) incelemişlerdir. Yapılan çalışmada araştırmacılar, elde edilen ortalama akış yapılarının, son zamanlarda önerilen akış modelleriyle uyumlu olduğunu ve bunların yüzeye monte edilmiş sonlu yükseklikte kare prizmalar etrafındaki akışta yüzey, ayrılmış bölge ve iz bölgesi gibi yapıların kaynağını ve ara bağlantılarının belirlemesine yardımcı olacağını tespit etmişlerdir [11]. Martinuzzi ve Tropea, yüzeye monte edilmiş, farklı en/boy oranına sahip prizmatik modellerin etrafındaki akış yapısını farklı Reynolds sayılarında deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada sonuç olarak araştırmacılar W/H oranı > 6 için engellerin arkasında ve W/H oranı > 10 için engellerin önünde devridaim bölgesinin üst kısmında nominal olarak iki boyutlu bir bölge bulunduğunu göstermişlerdir [12]. Tonui ve Sumner dairesel bir silindir, kare ve elmas prizmalar etrafındaki akış yapısını parçacık görüntü hız ölçümü (PIV) tekniği kullanılarak bir su kanalında deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, kare ve elmas prizmaların devridaim (recirculation) bölgelerinin, dairesel silindirinkinden daha uzun olduğunu ve elmas prizma geometrisine sahip cismin en güçlü birincil girdaplara ve maksimum girdap değerlerine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [13]. Özdoğan vd. tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar farklı en/boy oranına sahip bina modellerini sayısal olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda araştırmacılar, tüm modeller için rüzgâr hızının artması, bina en/boy oranları azalması ve taşınım katsayısının artmasına bağlı olarak binanın tüm yüzeylerindeki ortalama ısı akısının arttığını tespit etmişler ve en/boy oranına ve binanın yüzeyine bağlı olarak ısı akısı-hız değişim eğrilerinin incelenen modellerde benzerlik gösterdiğini tespit etmişlerdir [14]. Tominaga vd. tarafından yapılan çalışmada araştırmacılar, farklı çatı eğimlerine sahip binaların etrafındaki akış

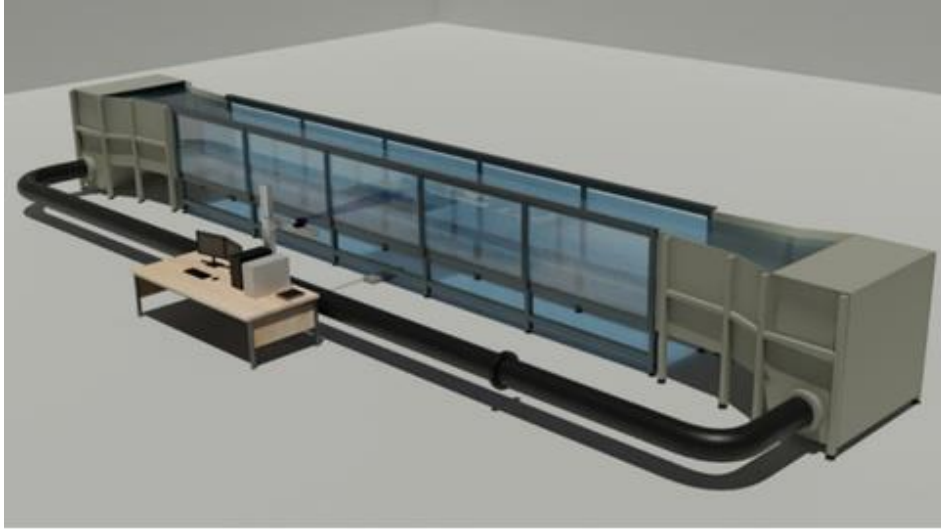
yapısını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada yazarlar, CFD simülasyonunun seçilen ağ yapısını ve türbülans modeli ile performansı incelenmiş ve simülasyon sonuçları tüm çatı eğimleri için ölçülen verilerle karşılaştırılarak doğrulamasını sağlamışlardır. Çalışma sonucunda sırttaki ayrılmış akış ve binanın arkasındaki devridaim bölgesinin çatı eğiminin artması ile daha da büyüdüğünü tespit etmişlerdir [15]. Khan vd., akışa dik olarak yerleştirilmiş ve asılı duran sabit bir küp etrafındaki akış yapısını partikül görüntülemeli hız ölçüm (PIV) tekniği kullanarak farklı Reynolds sayılarında incelemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca akışın daha iyi anlaşılması için boya deneyleri yaparak küp etrafındaki akış yapısının görselleştirmesini de yapmışlar ve anlık akışta üç boyutlu zengin akış yapılarına sahip bölgelerin oluştuğunu tespit etmişlerdir [16].

Literatür taramasında da görüldüğü gibi araştırmacıların incelediği dikdörtgen prizmatik modeller etrafındaki akış yapısı ile ilgili farklı nümerik ve deneysel çalışmalar yer almaktadır. Cisimler üzerine etkili olan kuvvetler; sıralanmış cisimler, aynı alanda bulunan cisim grupları ve tek olarak konumlandırılan cisimler için farklı olacaktır. Bu nedenle, tekli ve gruplandırılmış cisimlerin etrafındaki akış analizlerinin iyi yapılması gerekmektedir. Bu durum göz önüne alındığında bu çalışmanın temel konusu olan farklı yapı ve geometrik modellere sahip örnek küp cisim modellerinin etrafındaki akış yapısının incelenmesi gerekliliği bu çalışmanın motivasyonu olmuştur. Ek olarak bu çalışma ile yapılacak olan bilimsel araştırmalara ya da mühendislik ve mimarlık uygulamalarına özgün bir örnek teşkil edilmesi hedeflenmektedir.

II. MATERYAL VE METOT

A. DENEY DÜZENİĞİ

Bu çalışmada farklı en/boy oranlarına sahip dikdörtgenler prizması şeklindeki geometriler etrafındaki akış yapısı “parçacık görüntülemeli hız ölçme tekniği” (PIV) kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, Şekil 1’de gösterilen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekanik Laboratuvarı’nda bulunan, kapalı çevrim açık su kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanalın 3 boyutlu şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Kanalda 7.5 kW kapasitede iki adet devir kontrollü aksel pompa, akışa gerekli hızın verilmesi için kullanılmaktadır. Kanalın başında ve sonunda birer adet depo bulunmaktadır. Kanalın depolarla birlikte toplam uzunluğu 15000 mm olup test alanı 10000mm uzunluğa, 1000 mm yüksekliğe ve 800 mm genişliğe sahip olarak imal edilmiştir. Akışkan test kısmına gelmeden önce bir ızgara ve 20cm kalınlığa sahip bal peteği kesitli yapıdan ve 2:1 oranında daralmadan geçmekte olup böylece akışın kararlı hale gelmesi ve kanal yüzeyindeki türbülans yoğunluğunun düşürülmesi sağlanmaktadır. Kanalda devir kontrollü pompalar ile 800 mm su yüksekliğinde hız aralıkları 0.01m/s – 0.5m/s olabilmektedir. Kanal serbest yüzeyinde türbülans yoğunluğu %2 civarında hesaplanmıştır. Bu değer literatürde kabul edilebilir olarak belirtilmiştir [17, 18]. Deneylerde akışkan hızı 0.3m/s olarak alınmış ve buna bağlı olarak Re sayısı 26000 olarak hesaplanmıştır. Re sayısının hesaplanmasında cisimlerin “z” eksenindeki boyutu olan 75mm geometrik uzunluğu alınmıştır.



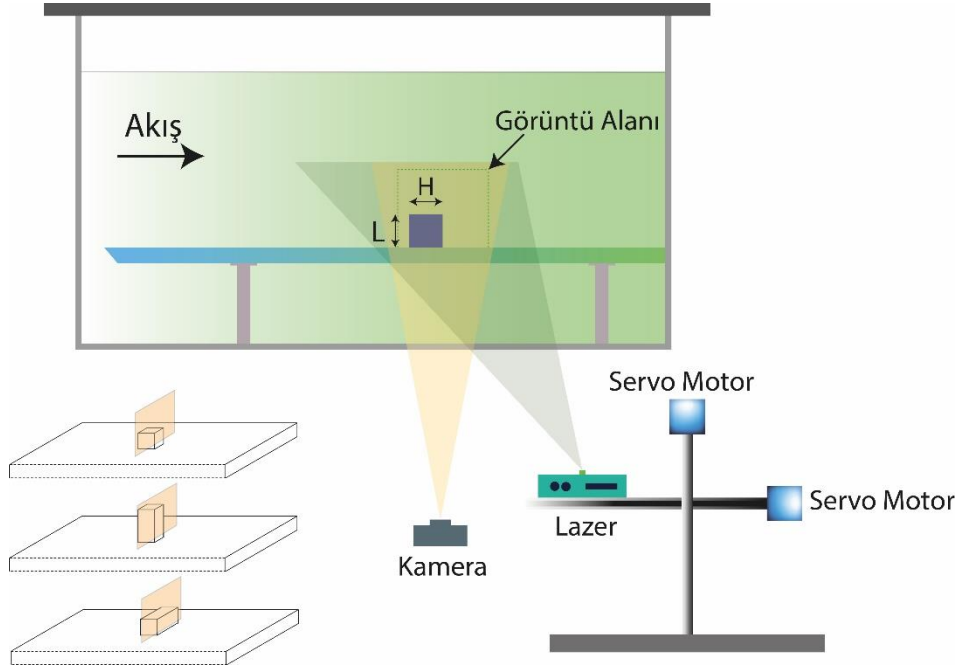
Şekil 1. Kapalı devre açık su kanalının şematik gösterimi [19]

Deneylerde kullanılan prizmaların ana boyutu (genişlik) 75 mm olarak seçilmiş ve en boy oranı ana boyuta bağlı olarak 0.5, 1 ve 2 olarak alınmıştır. Çalışmada Şekil 2’de lazer ve kamera pozisyonlamasının ve deney düzeneğinde kullanılan geometrilerin şematik gösterimi yer almaktadır. Dikdörtgen prizmanın ana boyutu kanalda blokaj etkisinin olmaması ve görüntü alanının boyutlarına bakılarak seçilmiştir (Şekil 2). Kanal içerisindeki akışın alt bölgesinin sonuçları olumsuz etkilememesi için modeller 1500mm x 700mm x 20mm boyutlarında bir akrilik masanın üzerinde kanal zeminine 20 cm yukarıda konumlandırılmıştır. Su yüksekliği serbest yüzeyin etkisinin olmaması için 800 mm yüksekliğinde tutulmuştur. Masanın akışı karşılayan hücum kenarı akışa olumsuz bir etki bırakmaması için üçgen formu verilecek şekilde kesilmiştir. Böylece akışın geometrilere gelmeden önce tam gelişmiş olması sağlanmıştır. Modellerin akış alanı içerisine farklı durumlar altında yerleştirilmesini boyutsuz bir şekilde ifade etmek için H/L ifadesi kullanılmıştır. Çalışmada H örneğin akışa paralel uzunluğunu, L ise yüksekliğini ifade etmektedir. Yapılan çalışma kapsamında modeller H/L=0.5 (yatay), 1.0 (kübik) ve 2.0 (dikey) olacak şekilde akış alanına yerleştirilerek modeller etrafındaki akış karakteristikleri belirlenmiştir.

B. PARÇACIK GÖRÜNTÜLEME HIZ ÖLÇÜM (PIV) TEKNİĞİ

Modeller etrafındaki akış alanı PIV yöntemi kullanarak ölçülmüştür. PIV sistemi, özellikle temel akışkanlar dinamiği problem çözümlerinden, ürün geliştirme ve süreç iyileştirme çalışmalarına kadar birçok alanda iç ve dış akış incelemelerinde kullanılmakta olup akış hakkında bölgesel olarak sonuçlar vermektedir. Deneyde kullanılan PIV sistem ve bileşenleri yazar tarafından yapılmış tez çalışmasında ayrıntılı bir şekilde verilmiştir [20]. PIV akış ölçümlerinde esas akışın yapısına olumsuz bir etkisi olmayan temassız bir yöntemdir. Akışkan olarak su kullanılan bu deneylerde akış içerisine yoğunluğu suyun yoğunluğuna yakın 20 mikron çapındaki gümüş kaplı parçacıklar eklenmekte ve böylece parçacıklar akış içerisinde çökme olmadan akışkanla birlikte hareket etmektedirler. Deneylerde ölçümlere başlanmadan önce parçacıklar öncelikle su dolu bir şişe içerisine konulmuş ve daha sonra şişe iyice çalkalanmıştır. Şişe içerisindeki su parçacıklarla birlikte kanala boşaltılmıştır. Parçacıkların test bölümü içerisinde düzgün bir şekilde dağılması için kanala birkaç dakika yüksek hızda devridaim yaptırılmıştır. Akışın ölçüleceği bölgeye karanlık ortamda gönderilen 2mm kalınlığında 532nm ışık dalga boyunda lazer huzmesi parçacıkların parlamasını sağlamak ve yüksek çözünürlüklü kamera ile görüntüsü alınmaktadır. Deneylerde 50mm f:1/4 lense sahip maksimum 1608 x 1208 çözünürlüğünde saniyede maksimum 44 kareye kadar fotoğraf alabilen CCD (Yük Bağlısımlı Aygıt) teknolojisine sahip bir kamera kullanılmıştır. Lazer tarafından aydınlatılan akış alanı eş zamanlı olarak kamera tarafından doğrudan bilgisayara aktarılmıştır. Bunun için sistemde bir eş zamanlayıcı (Senkronizasyon) kullanılmaktadır. Senkronizasyon kutusu, bilgisayardan aldığı sinyali BNC arabirimi üzerinden lazer ve kameraya aktarmaktadır. Görüntü alanındaki hız bileşenleri, lazer ile aydınlatılan yüzeyden art arda iki

fotoğraf çekilmesi ile hesaplanmaktadır. Çekilen iki fotoğraf arasında çapraz-korelasyon (cross-correlation) yöntemi uygulanarak hız bileşenlerine ulaşılır. Yapılan deneylerde iki görüntü arasında geçen zaman 0.0667 saniye olarak alınmıştır. Parçacık görüntülerinin kendileri rastgele fonksiyonlar oldukları için, ortaya çıkan korelasyon fonksiyonları, veri setinin kullanılmasından önce çıkarılması gereken az da olsa hatalı ölçümlere sahip olma olasılığı olan, rasgele bileşenlere sahiptir. Hız alanı hesaplandıktan sonra bozuk vektörler CleanVec programı tarafından çıkarılma işlemine tabi tutulmuştur. Bilinear en küçük karelere uydurma tekniği kullanılarak eksik vektör alanları doldurmuş, görüntü alanı gerçek akış alanına ölçeklendirilmiş ve girdap dağılımları hesaplanmıştır. Deneylerin proses kısmında art arda kaydedilen iki adet görüntüden anlık hız vektörleri elde edilmiş, post-proses kısmında ise anlık akım çizgileri ve girdap dağılımları elde edilmiştir.

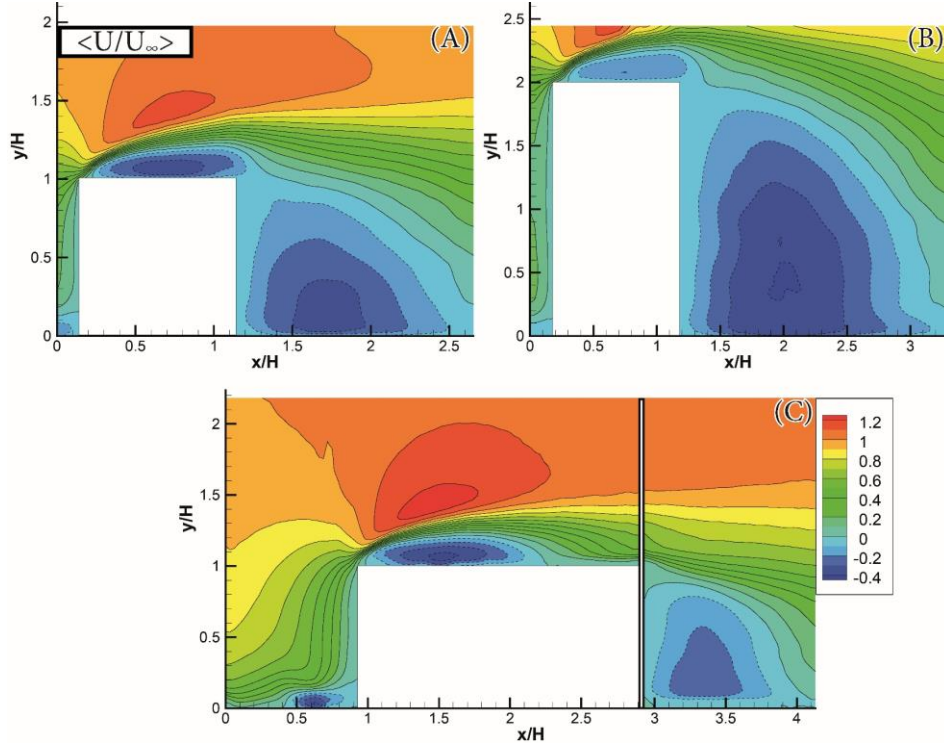


Şekil 2. Lazer ve kamera pozisyonlaması ve deney düzeneğinin şematik gösterimi

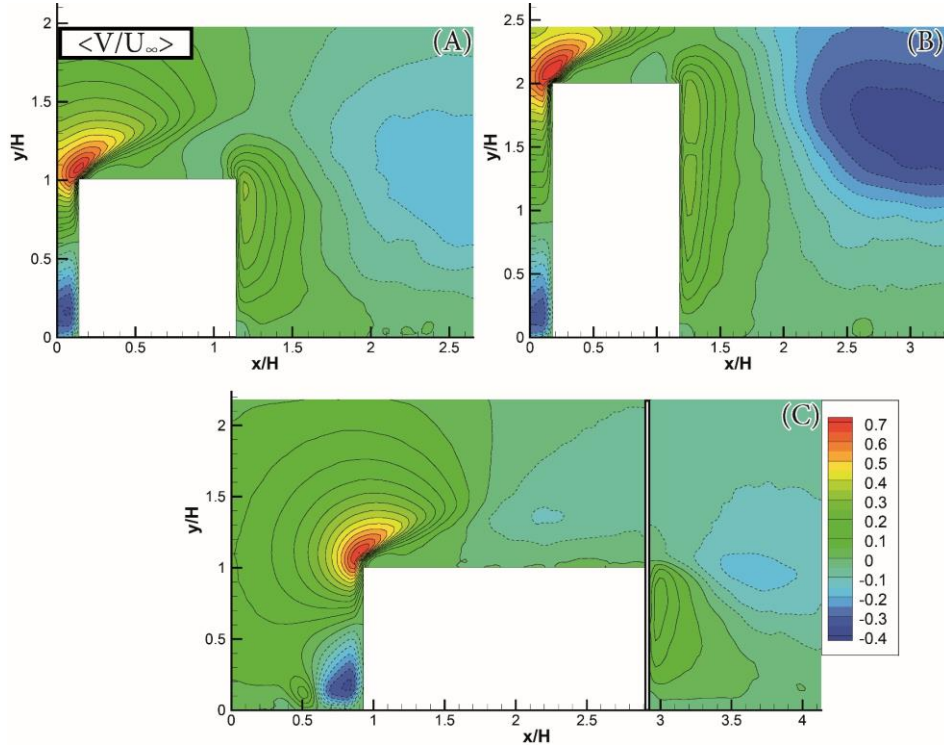
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneyssel olarak akış düzlemindeki hız bileşenleri alındıktan sonra bozuk vektörlerin çıkarılması, çıkarılan vektörlerin yerinin doldurulması, verilerin filtrelenip düzgünleştirilmesi işlemi yapılmıştır. Çalışmada noktasal olarak ifade edilen çizgiler negatif, sürekli çizgiler ise pozitif hız ve girdap konturlarını göstermektedir. Bu doğrultuda elde edilen görseller Şekil 3-5 arasında yer almaktadır. Şekiller incelendiğinde modelin ön bölgesinde ters basınç gradyanından kaynaklı olarak at nalı girdaplarının oluşmaya başladığı görülmektedir. Bu durum Şekil 3-c’de ($H/L=0.5$ yatay) kendini daha da belli etmektedir. Şekil 4-a ($H/L=1$) ve 4-b’de ($H/L=2$) model ön bölgesinde küçük ters yönlü girdap oluşumunun başladığı fakat görüntüleme alanının dışında kaldığı düşünülmektedir. Şekil 3 detaylı incelendiğinde modelin sol üst köşesinde başlayan ve x eksenini boyunca uzanan bir hızlanma bölgesi ve akış yönündeki hızın maksimum olduğu noktaların bu bölgede olduğu görülmektedir. Modellerden kaynaklı olarak, model üst yüzeylerinde ters akış bölgesinin oluştuğu, fakat oluşan ters akış bölgesinin modelin üst yüzeyine yapışmayarak akışın modeli terk ettiği kenarı (fırar kenarı) aşağı akış yönünde ters akış bölgesinin oluştuğu tespit edilmiştir. Akışa dik eksenindeki ortalama $\langle v/U_\infty \rangle$ hızları modellerin akış yönüne yakın köşelerinde maksimum olarak gözlemlenmiştir. Akışa dik olan eksenindeki hız, üstteki modelin sol alt köşesi (pozitif) ve alttaki modelin sol üst köşesinde (negatif) maksimum değerine

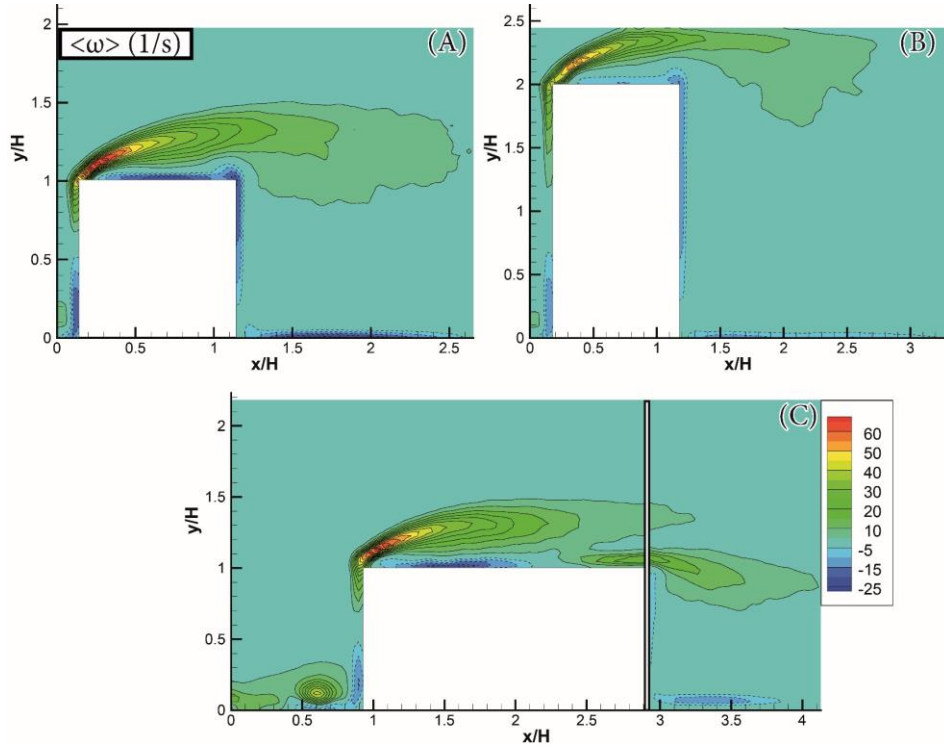
ulaşmaktadır (Şekil 4). Şekil 5'te zaman ortalama girdap değerleri ($\langle\omega\rangle$) yer almaktadır. Burada modellerinin yüzeylerinde ve zemin bölgesinde negatif girdaplanma görülmekte ve model boyunca devam etmektedir. Negatif girdap değerleri saat yönü, pozitif girdap değerleri ise saatin tersi yönünü ifade etmektedir. Model üst yüzeyine yakın yerde ve model arka yüzeyi boyunca pozitif girdaplanma görülmekte, model üst yüzeyindeki pozitif girdapların negatif girdaplara göre daha baskın olduğu görülmektedir. Ek olarak ortalama girdap değerlerinde, negatif yönlü dönen girdapların ortalaması ile oluşturulan ortalama negatif yönlü girdapların modellerinin üst yüzeyinden aşağı akım yönüne doğru genişlediği görülmektedir. Modellerin ön alt, orta üst ve arka bölgesinde ters basınç gradyanından kaynaklı olarak üç adet ölü akış bölgesinin oluştuğu görülmektedir. Model geometrilerinden kaynaklı olarak yukarı doğru yönlene akış yapısı modellerin yan yüzeyinde (yüzey duvarı) bir girdap yapısı oluşturmuş ve oluşan bu girdap model arkasında saat yönünde bir dönüş yapan girdap ile birleştiğinde daha geniş bir girdap bölgesi oluşturmuştur. Bu durum özellikle $H/L=2$ (dik) modelde cisim geometrisinden kaynaklı olarak, daha geniş bir girdap alanı ortaya çıkarmıştır.



Şekil 3. Her bir en/boy oranı için boyutsuz akış yönü hız bileşeninin zaman ortalama ($\langle U/U_\infty \rangle$) dağılımları. (Minimum kontur değeri: -0.4, maksimum kontur değeri: 1.2, artış miktarı: 0.1)



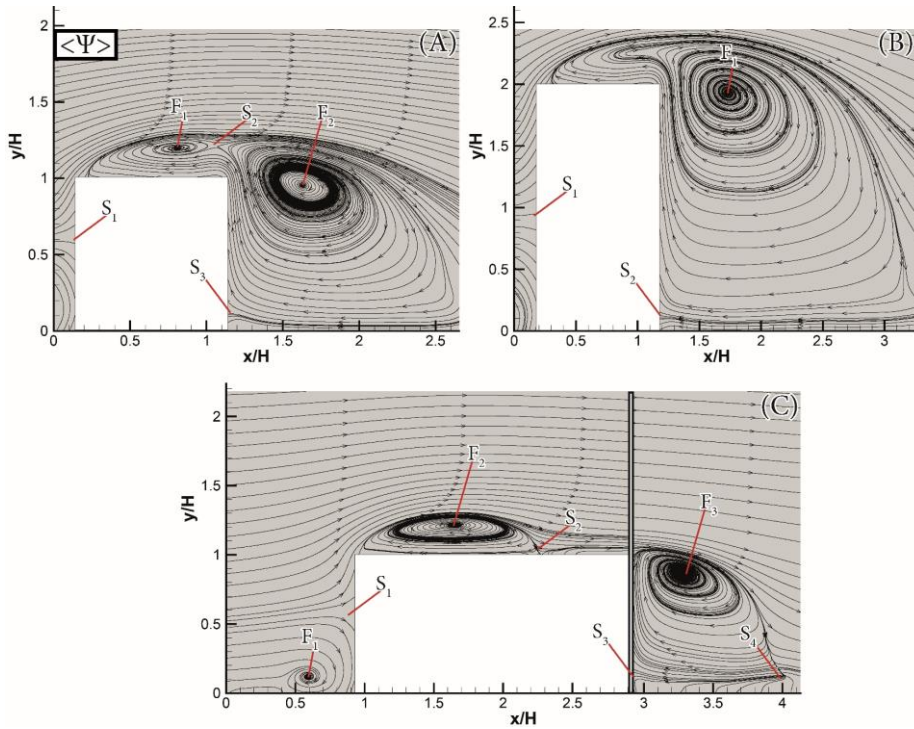
Şekil 4. Her bir en/boy oranı için boyutsuz akış yönündeki dik hız bileşeninin zaman ortalama ($\langle v/U_\infty \rangle$) (Minimum kontur değeri: -0.4, maksimum kontur değeri: 0.7, artış miktarı: 0.05)



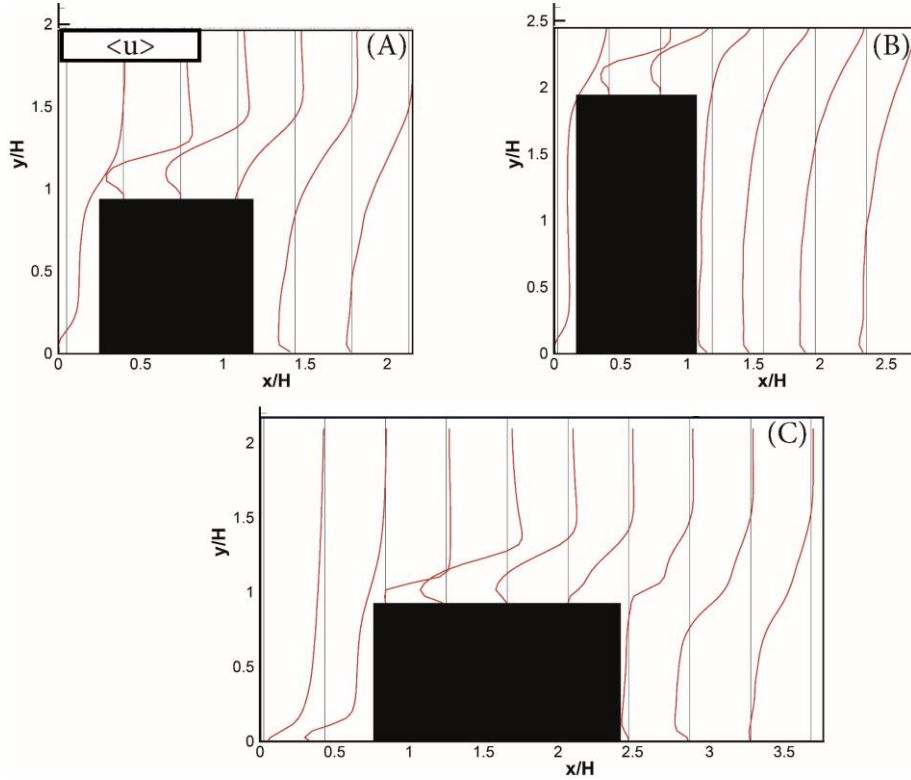
Şekil 5. Her bir en/boy oranı için zaman ortalama girdap ($\langle \omega \rangle$) dağılımları (Minimum kontur değeri: -25, maksimum kontur değeri: 65, artış miktarı: 5)

Şekil 6'da her üç durum için zaman ortalama akım çizgileri ($\langle \Psi \rangle$) verilmiştir. Şekillerde F (foci) durma noktalarını, S (saddle point) ise eyer noktasını ifade etmektedir. Genel olarak akış yapısı incelendiğinde model uç noktası tarafında (serbest uç hücum kenarı) model üst yüzeyi boyunca basınç artışının

meydana gelmesi sonucunda, akış ayrılmasının başladığı tespit edilmiştir. Ayrılan akışın model serbest uç yüzeyinden aşağı akış yönüne doğru model yüzeyine tekrar yapışarak negatif yönlü dönen ters akış bölgelerini oluşturmaktadır. Ek olarak modellerin serbest üst yüzeyinde meydana gelen ayrılmış alan ile serbest akış alanı arasında kayma tabakaları ve ters akış bölgelerinin orta noktasında durma noktaları (Foci) (F) oluşmaktadır. Özellikle modellerin ön bölgesinde yüzeye çarparak yönlene akışkan parçacıkların bir bölümünün model üst bölgesine (hücum kenarı) bir kısmının da modelin zemin bölgesine (atnalı) yönlendiği görülmektedir. Bu da modellerin ön bölgesinde ve arka bölgesinde birer S noktası oluşturmaktadır. Gelen akış modellere çarpmakta ve modelin keskin köşesinden (hücum kenarı) kaynaklı olarak ayrılmaya başlamakta ve aşağı akım yönünde devam ettiği görülmektedir. Bu süreç içerisinde cismin geometrik şeklinden kaynaklı olarak $H/L=1$ ve $H/L=2$ durumları için cismin üst yüzeyinde bir adet durma noktası (F) oluşmaktadır. Modellerin üst yüzeyinde oluşan durma noktasının (Şekil 6-a ve Şekil 6-c) model üst yüzeyine ve yukarı akım yönüne doğru kaydığı görülmektedir. Şekil 6-c'de model ön bölgesinde ters girdaplardan kaynaklı olarak oluşan atnalı girdap merkezi (F1) görülmektedir. Diğer durumlar içinde modelin ön bölgesinde ters yönlü girdap oluşumunun başladığı, fakat görüntüleme alanının dışında kaldığı düşünülmektedir. Özellikle kanal içerisine $H/L=2$ (dik) olarak yerleştirilen model ele alındığında diğer durumlara göre ($H/L=1$ ve $H/L=2$ yatay) model arkasında oluşan ölü alan bölgesinin ($\cong 2L$) daha büyük olduğu görülmektedir. $H/L=1$ durumu için de model arkasında oluşan ölü akış bölgesinin $\cong 1.5L$ 'lik bir alana yayıldığı görülmektedir. $H/L=0.5$ yatay olarak yerleştirilen modelde ise $\cong L$ mesafesi kadar bir ölü bölgenin oluştuğu görülmektedir. Akış ayrılması kaynaklı olarak modellerde akustik gürültü, yapısal titreşimler ve rezonans gibi istenmeyen durumların meydana geldiği bilinmektedir. Bunun yanı sıra zemin bölgesinde ters basınçtan kaynaklı olarak akış yapısındaki düzenin kaybolacağı ve farklı karakteristiklerde akış yapılarının oluşabileceği göz önüne alındığında bu durumun model zemin bölgesinde oyukların oluşması gibi güvenlik tehlikelerine neden olabileceği düşünülmektedir. Şekil 7'de x eksenı boyunca hız profilleri incelendiğinde akış ayrılmasının (yön değişiminin) modellerin üst yüzeyinde ve arka bölgesinde meydana geldiği görülmektedir. Akışkan, model üzerinden ayrıldığında model ve akışkan akımı arasında bir ayrılmış bölge oluşur. Modelin arka tarafında sürekli, dolanımlı ve geriye doğru akışların meydana geldiği bu düşük basınç bölgesine ayrılmış bölge denir. Her bir durum için alt akış bölgesindeki hız dağılımının genişliği, art iz bölgesi genişliğinin bir ölçütüdür. Özellikle bu durum en/boy oranları için akış alanı içerisinde farklı bölgelerde oluşan foci noktalarında (F) daha da belirgin bir hal almaktadır. Model yüzey ve art iz bölgesi sınırlarında hız değerlerinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 6. Her bir en/boy oranı için zaman ortalama akım çizgileri ($\langle \Psi \rangle$)



Şekil 7. Her bir en/boy oranı için zaman ortalama hız profilleri $\langle u \rangle$

IV. SONUÇ

Kanal içerisine yerleştirilmiş farklı geometrilere sahip örnek modeller etrafındaki akış karakteristiklerini (ortalama hız, girdap, akım çizgileri) belirlemek üzere parçacık görüntülemeli hız ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneyler sonucunda; her bir modelin sol üst köşesinde başlayan ve x eksenini boyunca uzanan bir hızlanma bölgesinin oluştuğu tespit edilmiştir. Modellerden kaynaklı olarak, üst yüzeyde ters akış bölgesinin oluştuğu, fakat oluşan ters akış bölgesinin modelin üst yüzeyine yapışmayarak akışın cisim terk ettiği kenarı (fırar kenarı) aşağı akım yönünde ters akış bölgesinin devam ettiği tespit edilmiştir. Modellerin geometrilerinden kaynaklı olarak yukarı doğru yönlendirilen akış yapısı modellerin yan yüzeyinde (yüzey duvarı) bir girdap yapısı oluşturmuş ve oluşan bu girdaplar modelin arkasında saat yönünde dönüş yapan girdaplar ile birleştiğinde daha geniş bir girdap bölgesinin oluştuğu tespit edilmiştir. Su kanalı içerisine dik olarak $H/L=2$ (dik) yerleştirilen modelin diğer durumlara göre ($H/L=1$ ve $H/L=0.5$ yatay) model arkasında oluşan ölü alan bölgesinin ($\cong 2L$) daha büyük olduğu görülmektedir. $H/L=1$ durumu için de model arkasında oluşan ölü akış bölgesinin $\cong 1.5L$ 'lik bir alana yayıldığı görülmektedir. $H/L=0.5$ yatay olarak yerleştirilen modelde ise $\cong L$ mesafesi kadar bir ölü bölgenin oluştuğu görülmektedir. Çalışma aerodinamik uygulamalar için değerlendirildiğinde akış ayrılmasının cisimlerde akustik gürültü, yapısal titreşimler gibi istenmeyen durumların meydana gelebilecek olması istenmeyen durumlar oluşturabilecektir. Ayrıca zemin bölgesinde oluşabilecek at nalı girdaplarının cismin etrafındaki zeminin oyulması gibi güvenlik tehlikelerine neden olabileceği düşünülmektedir. Çalışma ısınma / soğutulma performansının düşük olacağından bahsedilebilir. Her üç durum incelendiğinde ($H/L=1$ ve $H/L=0.5$ (dik ve yatay)) özellikle $H/L=0.5$ yatay olarak akış alanına yerleştirilen modellerin akış yapısı bakımından daha düzgün sonuçların açığa çıkarılması ile mühendislik uygulamalarında kullanılmasının daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) tarafından OKÜBAP-2019-PT3-009 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı OKÜBAP'a teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Durhasan, “Flow topology downstream of the hollow square cylinder with slots”, *Ocean Engineering*, vol. 209, pp. 107518, 2020.
- [2] A. F. Akon ve G. A. Kopp, “Turbulence structure and similarity in the separated flow above a low building in the atmospheric boundary layer”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 182, pp. 87–100, 2018.
- [3] D. Chatterjee ve S. Amiroudine, “Two-dimensional mixed convection heat transfer from confined tandem square cylinders in cross-flow at low Reynolds numbers”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, no. 1, pp. 7–16, 2010.
- [4] H. Kawai, Y. Okuda, ve M. Ohashi, “Near wake structure behind a 3D square prism with the aspect ratio of 2.7 in a shallow boundary layer flow”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 104–106, pp. 196–202, 2012.
- [5] S. Li, Z. Luo, X. Deng, W. Peng, ve Z. Liu, “Experimental investigation on active control of flow around a finite-length square cylinder using dual synthetic jet”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 210, pp. 104519, 2021.
- [6] Y. Tamura, X. Xu, ve Q. Yang, “Characteristics of pedestrian-level Mean wind speed around square buildings: Effects of height, width, size and approaching flow profile”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 192, pp. 74–87, 2019.
- [7] C. Diaz-Daniel, S. Laizet, ve J. C. Vassilicos, “Direct numerical simulations of a wall-attached cube immersed in laminar and turbulent boundary layers”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 68, pp. 269–280, 2017.
- [8] M. Princevac, J. J. Baik, X. Li, H. Pan, ve S. B. Park, “Lateral channeling within rectangular arrays of cubical obstacles”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 98, no. 8–9, pp. 377–385, 2010.
- [9] Y. Zhao, X. Ma, C. Zhang, H. Wang, ve Y. Zhang, “3D real-time volumetric particle tracking velocimetry – A promising tool for studies of airflow around high-rise buildings”, *Building and Environment*, vol. 178, pp. 106930, 2020.
- [10] A. Fertelli, “Tek ve iki bina etrafındaki rüzgar etkilerinin sayısal olarak incelenmesi”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, ss. 111–120, 2017.
- [11] B. L. da Silva, R. Chakravarty, D. Sumner, ve D. J. Bergstrom, “Aerodynamic forces and three-dimensional flow structures in the mean wake of a surface-mounted finite-height square prism”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 83, pp. 108569, 2020.
- [12] R. Martinuzzi ve C. Tropea, “The flow around surface-mounted, prismatic obstacles placed in a fully developed channel flow: (Data bank contribution)”, *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 115, no. 1, pp. 85–92, 1993.
- [13] N. Tonui ve D. Sumner, “Flow around impulsively started square prisms”, *Journal of Fluids and Structures*, vol. 27, no. 1, pp. 62–75, 2011.
- [14] M. Özdoğan, B. Sungur, L. Namlı, B. Topaloğlu, ve A. Durmuş, “A comparative study of turbulence model effects in numerical analyzing flow around the buildings having various aspect ratios

/ Farklı en-boy oranlarına sahip binaların etrafındaki akışın sayısal çözümünde türbülans modellerinin etkisinin karşılaştırmalı araştırılması”, c.12, s. 3, pp. 585-595, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2016.

[15] Y. Tominaga, S. ichi Akabayashi, T. Kitahara, ve Y. Arinami, “Air flow around isolated gable-roof buildings with different roof pitches: Wind tunnel experiments and CFD simulations”, *Building and Environment*, vol. 84, pp. 204–213, 2015.

[16] M. H. Khan, P. Sooraj, A. Sharma, ve A. Agrawal, “Flow around a cube for Reynolds numbers between 500 and 55,000”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 93, pp. 257–271, 2018.

[17] J. Zhang, H. Chen, B. Zhou, ve X. Wang, “Flow around an array of four equispaced square cylinders”, *Applied Ocean Research*, vol. 89, pp. 237–250, 2019.

[18] X. K. Wang, J. X. Zhang, Z. Hao, B. Zhou, ve S. K. Tan, “Influence of wall proximity on flow around two tandem circular cylinders”, *Ocean Engineering*, vol. 94, pp. 36–50, 2015.

[19] M. Özalp, C , Polat, C , Saydam, D , Söyler, “Dye Injection Flow Visualization Around a Rotating Circular Cylinder”, *European Mechanical Science*, vol. 4, no. 4, pp. 185–189, 2020.

[20] C. Polat, “Farklı dizilişlere sahip binalar etrafındaki akış karakteristiklerinin PIV yöntemi ile deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek lisans tezi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, Türkiye, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İyileştiren Hastane Yaklaşımı ve 21. Yüzyılın Sağlık Kampüslerine Yönelik Tasarım İlkeleri¹

 Nazlıcan BİRİNCİ ERTÜRK^{a,*},  Gaye BİROL^b

^a Mimarlık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Demokrasi Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, İzmir Demokrasi Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1013994

Öz

20. yüzyılda sağlık yapılarının tasarımlarına yönelik olarak geliştirilen çağdaş hastane tasarım yaklaşımları, 21. yüzyılda hasta merkezli bir anlayışı benimseyen iyileştiren hastane yaklaşımı olarak karşılık bulmuştur. Yapılan araştırma sonucunda, yaklaşımı tarifleyen tasarım ilkelerinin, 21. yüzyılda deneyimlenen çağdaş sağlık kampüsü tipolojisi ile uyumluluk gösterdiği ancak ulusal mimarlık literatüründe sağlık kampüslerinin tasarım kurgusunu tanımlayan herhangi bir bilimsel çalışma ya da kılavuzun bulunmadığı dikkat çekmiştir. Çalışmada sağlık mekânlarının, tıp ve mimarlık disiplinlerinin ilişkisinden etkilenen mimari gelişim süreçlerine yönelik olarak uluslararası ve ulusal alanda yürütülen bilimsel araştırmalardan yararlanılarak 21. yüzyılın sağlık kampüslerinin tasarım ilkeleri belirlenmiştir. Günümüzdeki modern sağlık mekânı anlayışını tanımlamak üzere belirlenen tasarım ilkeleri, bütüncül bir sınıflandırma sistemi ile sistematik hale getirilmiş ve birbiri ile ilişkilendirilerek tanımlanmıştır. Çalışma ile günümüzde şehir hastaneleri olarak da adlandırılan sağlık kampüslerinin bilimsel araştırma ve tasarım sürecini tanımlamak, uygulama açısından tasarım ve tasarım sonrası kullanım ile ilgili potansiyel sorunların çözümlenmesine yardımcı olmak ve bu alandaki mevcut literatüre bir katkı yapmak hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: iyileşme, iyileştiren hastane, sağlık yapıları, sağlık kampüsü

Patient-Centered Healing Hospital Approach and Architectural Design Principles for 21st Century Health Campuses

ABSTRACT

Contemporary hospital design approaches developed for the architectural design of health buildings in the 20th century have interpreted as a healing hospital approach that adopts a patient-centered approach in the 21st century. As a result of the research, it was noted that the design principles describing the approach are compatible with the contemporary health campus typology experienced in the 21st century, but there is no scientific study or guide describing the design setup of health campuses in the national architectural literature. In the study, 21st century hospital and health campus design principles were determined by making use of international and national scientific researches for architectural development processes affected by the relationship of health spaces, medicine and architecture disciplines. The design principles determined to define today's modern health space understanding have been systematized with a holistic classification system and have been defined by associating

¹ Bu makale, İzmir Demokrasi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalında danışmanlığına Prof. Dr. Gaye Birol'un yürüttüğü "21.yy hasta merkezli iyileştiren hastane ve sağlık kampüsleri tasarım ilkeleri" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

with each other. With the study, it is aimed to contribute to the scientific research and architectural design process of hospitals and health campuses, which are also called city hospitals today, to help solve or minimize potential problems related to design and post-design use in terms of application, and to make a contribution to the existing literature in this field.

Keywords: healing, healing hospital, health buildings, health campus

I. GİRİŞ

Hem bedenem hem ruhen “şifa” bularak “iyileşme”nin sağlandığı ilk sağlık mekânları, hastalıkları önleyecek ve tıbbi uygulamalara destek olacak çağdaş mekân arayışının bir parçası olarak geliştirilmiş ve mimarlık-tıp ilişkisinin sorgulandığı bilimsel süreçte önemli bir yol oynamıştır. Mekân-deneyim ilişkisinin kurulması ve iyileşme için mekânın iki boyuttan fazlasını ifade ettiğinin anlaşılması ile birlikte sağlık mekânları yalnızca hasta barındıran yer olmanın ötesinde şifa veren mekân olarak kabul edilmiştir [1]. Mimarlık ve tıp arasındaki yakın ilişki, yapılı çevrenin iyileşmeyi destekleme potansiyelini ortaya çıkarmış [2], çağdaş mimari mekân, sosyal ve duysal yönü ile kullanıcılara sunulan bir etkileşim ve deneyim ortamı olarak tanımlanmaya başlamıştır [3]. Bu yaklaşım, mimarinin kullanıcılara ruhsal açıdan verebileceği tüm olumlu duygular ve ‘iyi olma’ halini esas alan yeni bir sağlık felsefesinin temelini oluşturmuştur [4]. Mistik tedavi anlayışından modern tıba geçiş, sağlık mekânlarının sosyal bir yapı olan hastanelere dönüşümünü tetiklemiş ve zamanla iyileşme yaklaşımı bugünün sağlık felsefesi halini almıştır (Şekil 1).

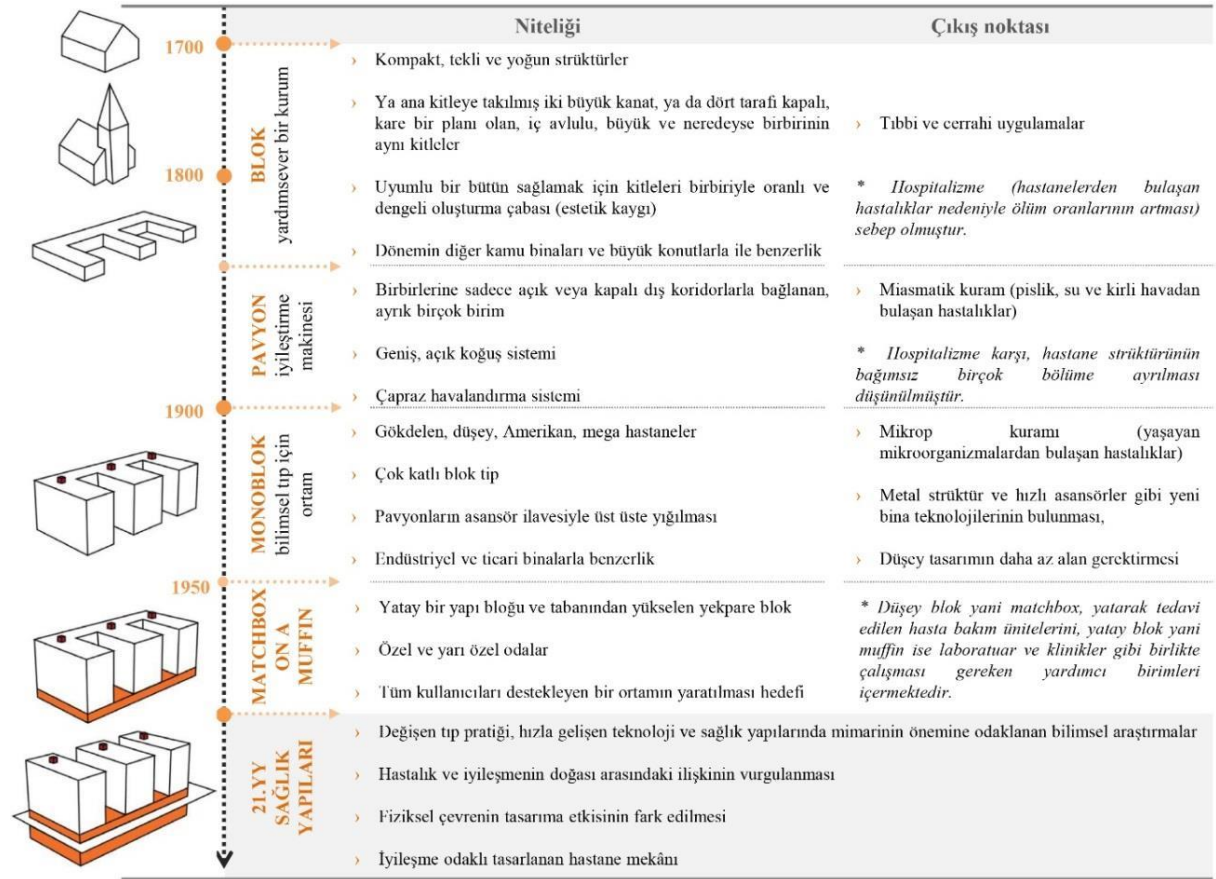


Şekil 1. Sağlık-iyileşme ve sağlık mekânı-hastane tanımları –Yazar tarafından hazırlanmıştır.-

Antik dönemde ilk nitelikli sağlık mekanları, iyileşme ve şifa amacıyla uygulanan, yöntemleri doğa ile temasa dayanan mistik tedavi anlayışının hakim olduğu “tedavi/terapi merkezleri” olarak karşımıza çıkmaktadır. Mekânın iyileşme üzerindeki olumlu etkilerinin araştırıldığı bu merkezler [1] Anadolu’nun Selçuklu Devleti himayesinde olduğu dönemde yerini *maristan*, *bimaristan*, *dârültıp*, *dârülâfiye*, *dârüşşahha*, *dârüşşifa* gibi isimlerle de bilinen “şifahane”lere bırakmış ve çağın iletici tedavi yöntemlerini kullanan en modern sağlık yapıları olarak birçok önemli şehirde medrese yapıları ile ilişikli olacak şekilde hayata geçirilmiştir [5]. Osmanlı Döneminde de değişikliklere uğrayarak inşa edilmeye devam eden ancak cami ve hamam gibi yapıları da içeren külliye içerisinde çoğunlukla bir bütün olarak inşa edilen şifahaneler [6], 18. yüzyılda yaygın hale gelen Batılılaşma hareketinin etkisi ile birlikte kurumsallaşmış ve ilk “hastane yapıları” görülmeye başlamıştır. 19. yüzyılda gerçekleştirilen köklü ıslahatlarla karantina teşkilatının temelleri atılmış ve sağlık alanındaki iyileştirmeler aracılığıyla koruyucu ve tedavi edici hizmetlerin verileceği kurumlar oluşturulmuş, salgınların önlenmesi için karantinalar ve toplu tedaviler uygulanmıştır.

Osmanlı Devleti’nin son yılları ve Cumhuriyet dönemi başlarında gözlenen gelişmelerle birlikte, 18. yüzyıldan itibaren geçerli olan Batılılaşma hareketi için ‘çağdaşlaşma’ ifadesi benimsenmiş [7], çağdaşlaşma sürecinde 20. yüzyıla kadar birçok alanda gerçekleştiren ilkeler, sağlık alanında yaşanacak

ciddi dönüşümlere zemin hazırlamıştır. Bu dönemde henüz Anadolu için yeni bir yapısal oluşum olan hastanelerin mekânsal gelişimi, sağlık alanında yaşanan gelişmeler ve tıbbi uygulamalara ortam sağlayacak hastane mekânlarının üretimi için, Batı’da yaygın olan ve hastane biçimlenişlerini etkileyen çağdaş yapı tipolojileri denenmiş ve yorumlanmıştır. Cumhuriyet’in ilk yıllarında Türkiye’deki hastane mimarisinde özgün bir karakter ve çağa uygun çözümler üretilmemiş, hastane binaları teknik açıdan Batı’daki uygulamaların birer taklidi olarak yapılmıştır [4], [8]. 1930’lu yıllardan sonra çoğunlukla hasta bakım üniteleri ve polikliniklerin yerleri ile buldukları bloğun tasarımına göre yapı tipolojileri uyarlanarak şekillenmiştir [9]. 1940’lardan günümüze kadar sağlık yapılarının mimari gelişimi incelendiğinde, mimari açıdan hastaneler için bir form arayışının bulunduğu ve bu yapıların biçimsel olarak Batı’da etkili olan yapısal dönüşümden etkilendiği görülmektedir. Batı’da yardımsever bir kurum olarak nitelendirilen ve yakın çevre ile ilişki kurma çabasıyla dikkat çeken “blok tip”, parçalı bir yapılaşmayı esas alarak çevreyle ilişki kuran ve iyileşme makinesi olarak nitelendirilen “pavyon tip”, çok katlı bloklardan oluşan ve bilimsel tıp için ortam sunan “monoblok tip”, bir monoblok yorumu olan ve ilk kez özel ve yarı özel oda planlamasıyla dikkat çeken “matchbox on a muffin” tip denemeleriyle bu arayış sürmüştür ve böylelikle mimarlık ve tıp arasındaki ilişki bilimsel olarak gözlemlenmeye, sağlık mekânları iyileşme ve iyileştirme hedefleri ile geliştirilmeye devam etmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. 18. yüzyıldan günümüze kadar hastane mimarisinde görülen tipolojik yaklaşımlar –Beggs [2]’den yararlanarak yazar tarafından hazırlanmıştır.-

Fiziksel mekânın düzenlenmesi yoluyla iyileşme sürecinin desteklenebileceği düşüncesinin ortaya çıkışı, 20. yüzyılda disiplinler arası bir boyut kazanan bilimsel araştırma sürecinin zeminini oluşturmuştur. Bu süreçte, hastalığın ve iyileşmenin psikolojik boyutları gündeme gelmiş, çağdaş sağlık yapıları için geliştirilen çağdaş mimari tasarım yaklaşımları, araştırma sürecinin bir parçasını oluşturmuştur. Tıp alanında ilk somut bulgular, kanıta dayalı araştırma metodları ve kanıta dayalı tıp fikrinin yaratıcısı İskoç doktor Archie Cochrane tarafından 1960’lı yıllarda ortaya çıkmış [10] ve 1980’lerde ise tıp-mimarlık arakesitinde bilimsel gözlem ve araştırmaları esas alan “kanıta dayalı tasarım (evidence based design)” yaklaşımının doğuşunu tetiklemiştir [2]. Nispeten yeni bir araştırma

alanı olan bu yaklaşım, yapı tasarımında kullanım öncesi ve kullanım sonrası araştırma bulgularının değerlendirilmesiyle fiziksel çevre unsurlarını iyileşmeyi destekleyici unsurlara dönüştürmeyi, hasta memnuniyetinde ve hastane güvenliğinde artış, hasta saldırganlığında ve personel kaygısında azalma sağlamayı hedeflemiştir [11], [14]. Kanıta dayalı tasarım araştırmalarına öncülük eden ve keşiflerinin, yeni bir hastane tasarım metodu önerebileceğini düşünen Prof.Dr. Roger Ulrich'in 1984 yılında yaptığı bir gözlem araştırması² ile birlikte “*iyileştiren mimari (healing architecture)*” yaklaşımı da gündeme gelmiştir [12], [13], [14]. Yaklaşım, hastanın tedavi sürecinin desteklenmesi, çevrenin hastalar için iyileştirici, aile için destekleyici ve personel için verimli olarak tasarlanması [10] esasına dayandırılmıştır. 1990'lı yıllarda hastalığın fiziksel, zihinsel ve ruhsal olarak bir bütün olduğunun anlaşılması ile beraber [15] ilk kez hasta merkezli bakım kavramı ortaya çıkmış, mekânın hasta ihtiyaçları ve tercihlerine göre planlandığı “*hasta merkezli tasarım (patient centered design)*” yaklaşımı hastane mimarisinde yer etmeye başlamıştır. Hasta ve yakınlarının tedavi süreci hakkında daha fazla bilgilendirildiği, sorumluluk alma ve bilinç oluşturma noktasında sürece dahil edildiği bir yöntem olan bu yaklaşımda, hasta gereksinimini karşılayan, stresini azaltan, güvenlik ve mahremiyet sağlayan fiziksel çevreler yaratmak hedeflenmiştir [10].

21. yüzyıla gelindiğinde bu yaklaşımların birbirini besleyen gelişim süreçlerinin hasta merkezli bir anlayışla “*iyileştiren hastane yaklaşımı*”na evrildiği görülmektedir. Yaklaşım, mimari mekânın fiziksel, sosyal ve duyuşsal niteliklerini tasarım sürecine dahil etmekte ve hastayı tasarımın merkezine koyarak katılımcı bir tasarım sürecinin benimsenmesini sağlanmaktadır. Dolayısıyla bu yaklaşımın, mimarlık literatürü için, iyileşme yaklaşımının modern sağlık mekânı anlayışıyla ve modern teknolojik imkânlarla yorumlandığı yeni bir kavram olduğu söylenebilmektedir. Günümüzde çağdaş tıbbi uygulamalar ile mimariyi bir araya getiren ve birden fazla yapı grubundan oluşan sağlık tesisleri, ilk sağlık mekanlarında olduğu gibi parçalı bir yapı tipolojisi ile tasarlanmakta ve “*sağlık kampüsü*”, “*sağlık köyü*”, “*entegre sağlık kampüsü*”, “*şehir hastanesi*” gibi ifadelerle nitelendirilmektedir. Sağlık kampüsleri, yalnızca hastalıkların tedavisi için kullanılan bir mekân olmanın ötesinde, iyi olma halini koruyan, iyileşmeyi destekleyen, mimarisi ve planlaması ile kullanıcı gereksinimlerini karşılayarak mekânsal kullanım alternatifleri sunabilen yapılar olarak hayata geçirilmektedir [1], [16]. 21. yüzyıl sağlık kampüsü ve hastane tasarımlarına yönelik tasarım ilkelerinin belirlenmesiyle yapısal gelişimi ve mimari biçimlenişlerini geliştirmek, günümüzdeki modern sağlık mekânı anlayışının tanımlamak ve bu alandaki akademik literatüre katkı sağlamak üzere hazırlanan çalışmada, iyileştiren hastane anlayışını günümüz hastane tipolojisine adapte etmek hedeflenmiştir. Çalışma ile, hasta merkezli iyileştiren hastane yaklaşımı, 1980'li yıllar sonrasında geliştirilen çağdaş hastane tasarım yaklaşımlarının günümüz hastane ve sağlık kampüsü tipolojisine göre güncel bir yorumu olarak kabul edilmiştir. Yaklaşımı besleyen temel ilkelerin tanımlanmasıyla, hastane ve sağlık kampüslerinin tasarımlarında etkin olabilecek ya da tasarımlarını yönlendirebilecek tasarım kararları için bir altlık oluşturulabileceği öngörülmüştür.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Mimarlık ve tıp alanındaki literatür incelendiğinde, hasta merkezli iyileştiren hastane yaklaşımın kavramsal olarak gelişimi sürecinde etkin rol oynayan ve bu bakımdan ulusal ve uluslararası literatürde önemli bir yer tutan çok sayıda bilimsel araştırmanın bulunduğu görülmektedir. Bu alandaki uluslararası çalışmaların, 1984 yılında Ulrich'in yürüttüğü deneysel araştırma ile başladığı [12] ve iyileştirici çevreler, manzaraya yönelim, gün ışığı, sanatsal öğeler, müzik, malzeme, ışık, renk, sürdürülebilirlik ve tasarıma yönelik rehber önerileri konularında yoğunlaştığı görülmüştür [2], [13], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31]. Ulusal çalışmalar ise Sungur Ergenoğlu'nun 2006 yılında tamamladığı iyileştiren hastaneler konulu doktora çalışması³ ile başlamış

² Ulrich, 1984 yılında yaptığı çalışmada [12] fiziksel mekân ve ortam koşulları, iyileştiren çevreler olarak tanımlanmıştır [2]. Bir hastane örneği üzerinde tedavi altındaki küçük bir hasta grubunda yapılan gözlemler, doğa manzarasına bakan hastaların, kahverengi tuğla duvara bakan hastalara göre daha kısa sürede tedaviye yanıt verdiklerini göstermiştir [14].

³ “*Sağlık kurumlarının iyileştiren hastane anlayışı ve akreditasyon bağlamında tasarımı ve değerlendirilmesi*” isimli doktora tezinde Sungur Ergenoğlu [4], hasta merkezli bir anlayışa sahip iyileştiren hastane yaklaşımının mekânsal yansımaları ile belirlenmiş tasarım ilkeleri ve bu yaklaşımın sağlık yapılarının kalitesinin ölçülmesinde başvurulan akreditasyon sistemlerini

[4] ve iyileşme kavramına genel hastane tasarımını etkileyen ilke ve ölçütleri bakımından açılım getiren araştırmalarla sürdürülmüştür. Yoğun bakım üniteleri, hasta bakım odaları, genel (ortak) mekânlar, giriş mekânları ve hastane bahçelerinin tasarımındaki rolü, sağlık mekânlarının tarihsel gelişimi, erişilebilirlik ve yeşil hastane yaklaşımı gibi konular, ulusal alandaki çalışmaların genel çerçevesini oluşturmaktadır [1], [6], [10], [15], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49].

Çalışma kapsamında uluslararası ve ulusal literatürdeki bilimsel çalışmalardan elde edilen bulguların, günümüz sağlık kampüsü uygulamalarının fiziksel çevreleri ve mekânsal kurgularını inceleyen çalışmalar ile ilişkilendirilmesiyle tasarım ilkelerinin belirlenmesine zemin oluşturulmuştur. 21. yüzyıl sağlık kampüslerinin tasarımında etkin olduğu belirlenen tasarım ilkeleri, “dış mekân tasarımı” ve “iç mekân tasarımı” olmak üzere iki bölümde tanımlanmaktadır. Dış mekân tasarım ilkeleri, fiziksel olarak bütünden parçaya doğru kurgulanan hiyerarşik bir mantıkla “kampüs”, “hastane bahçesi” ve “yapı” arakesitlerinden oluşmakta, belirlenen tasarım ilkeleri bu akışa bağlı kalarak aktarılmaktadır (Tablo 1). İç mekân tasarım ilkelerinin aktarımında ise kamusal alanlara özele doğru gittikçe artan mahremiyet olgusu etkili olmuş ve belirlenen ilkeler “genel kararlar”, “ortak alanlar” ve “hasta odaları” olarak ele alınmıştır (Tablo 2).

Tablo 1. Hastane ve sağlık kampüsleri dış mekân tasarım ilkeleri -Tablo yazar tarafından hazırlanmıştır.-

KAMPÜS	Konum ve kampüs alanına ulaşım (yer seçimi)	<ul style="list-style-type: none"> › Konum › Yerleşim yerinin seçimi › Ulaşım merkezine bağlantı › Kampüs alanına ulaşım
	Yeşil alan miktarı ve yapılı çevre ilişkisi	<ul style="list-style-type: none"> › Taban alanı kullanımı › Arazi kullanımı › Kent ile bağlantı › Tampon bölge oluşturma
	Geçirgenlik	<ul style="list-style-type: none"> › Aktif kullanım › Kentin bir parçası olma › Kente açık olma › Kamusal yaşantı
HASTANE BAHÇESİ	Kamusal iletişim ve paylaşım alanları	<ul style="list-style-type: none"> › Sosyal etkileşime imkân verme › Kente ve kentliye açık olma › Pozitif karşılaşmalara izin verme › Kampüs içi sürekli bir canlılık
	Bahçe organizasyon ve tasarımı / kent mobilyaları	<ul style="list-style-type: none"> › İyileştiren çevre tasarımı › İyileştirici unsurlarla hava kalitesini geliştirmek › Daha fazla gün ışığından faydalanma › Doğal ve yapay elemanlar kullanılan şifa bahçeleri
	Mekânsal oryantasyon / yön bulma	<ul style="list-style-type: none"> › Okunabilirlik › Doğru yönlendirme › Yapılar arası kaybolma hissini önlenmesi › Yön bulma sistemi, bilgilendirme panosu, haritalar
	Erişilebilirlik	<ul style="list-style-type: none"> › Yapı-zemin ilişkisi

açıklamaktadır. Çevresel faktörlerin toplum temelli, kolay ulaşılabilir ve dostça karşılayan sağlık iç mekânları oluşturulmasındaki önemi ile hasta psikolojisi ve iyileşme sürecine etkilerini değerlendiren yazar, sağlık yapılarının tasarımına yön verebilecek bir kontrol listesi oluşturmuştur.

YAPI		<ul style="list-style-type: none"> › Kampüs içi yapılar arası bağlantı yolları › Yeterli ve güvenli otopark sistemi › Tüm kullanıcılar için erişilebilir olma
	Yönlendirme / Konumlanma	<ul style="list-style-type: none"> › Manzaraya ve doğaya yönelim › Topoğrafya verilerine uygun konumlanma › Rüzgar ve güneş yönü › Fiziki çevre koşulları
	Çevre ile uyum (bağlam)	<ul style="list-style-type: none"> › Görünebilirlik › Kentsel bağlam / Çevre ile bütünleşme › Mevcut binalarla ilişki › Yapıya giriş ve yaklaşım
	Esneklik	<ul style="list-style-type: none"> › Gelecekteki gelişmelere izin verme/Uyarlanabilirlik › Modülerlik › Çoklu kullanılabilirlik › Değişiklik ve büyümeye imkân verme
	Yapı kabuğunun mimari karakteri	<ul style="list-style-type: none"> › Cephe tasarımı / Dolu-boş ilişkisi › Büyük pencere ve ışıklık kullanımı › Renk ve malzeme seçimleri › İnsan ölçeği / Biçim ve oran
	Yapı zemin ilişkisi	<ul style="list-style-type: none"> › Arazi stratejisiyle tasarımın bütünleştirilmesi › Bütüncül yaklaşım › Dış mekân bağlantısı
	Sürdürülebilir Tasarım	<ul style="list-style-type: none"> › Enerjinin verimli ve etkin kullanılması › Çevre dostu olma › Sürdürülebilir yapı teknolojisi / Yeşil hastane

Tablo 2. Hastane ve sağlık kampüsleri iç mekân tasarım ilkeleri -Tablo yazar tarafından hazırlanmıştır.-

GENEL KARARLAR	Mekânsal oryantasyon / yön bulma	<ul style="list-style-type: none"> › Okunabilirlik / Görülebilirlik › Hissedilebilir renk ve doku farkı › Görsel-işitsel yönlendirme sistemleri
	İşlevsel uygunluk	<ul style="list-style-type: none"> › Hastalar için rahatlatıcı ve işlevsel mekânlar › Boyut ve mekân
	Erişilebilirlik	<ul style="list-style-type: none"> › Fiziksel çaba ve yorgunluğu en aza indirme › Görünürlük ve okunabilirlik için lineer çözüm
	Gün ışığı - Doğal ve yapay aydınlatma kontrolü	<ul style="list-style-type: none"> › Koridorlarda aydınlatma senaryoları › Direkt ve endirekt aydınlatmalar
	Hava sirkülasyonu - Isı kontrolü	<ul style="list-style-type: none"> › Açık pencere / Doğal havalandırma › İklimlendirme sistemleri
	Ses ve gürültü kontrolü	<ul style="list-style-type: none"> › Sessizliğe teşvik edici tasarımlar › Ses, ritim, müzik kullanımının iyileştirici etkisi

ORTAK ALANLAR	Güvenlik	<ul style="list-style-type: none"> › Yapıya giriş sayısını kısıtlayarak denetimin sağlanması › Güvenli mobilya kullanımı ve tutunma barları
	Giriş mekanı ve zemin kat organizasyonu	<ul style="list-style-type: none"> › Açık, bulunması kolay bir giriş ve resepsiyon alanı › Pozitif oyalayıcılarla güven ve duygusal destek verme › Rahat, tehlikesiz, sahanlıklı ve rüzgârlıklı girişler
	Dolaşım ve bekleme alanlarının miktar ve oranları	<ul style="list-style-type: none"> › Sosyal desteğe imkân veren rekreasyon unsurları › Sıcak, davetkar, konforlu, rahat, aydınlık
	Mobilya kullanımı ve düzeni	<ul style="list-style-type: none"> › Esneklik, rahatlık, taşınabilirlik ve konfor › Sosyal etkileşim ve desteği arttırmaya yönelik olma
	Koridorlarda aydınlatma ve biçimleniş	<ul style="list-style-type: none"> › Süreklilik göstererek yönlendirici olma › Biçim ve oranca uygun, iyi aydınlatılmış olma
	Minimum yürüme mesafesi	<ul style="list-style-type: none"> › Daha küçük merkezler yaratmak / Sengetun prensibi
	İyileştirici ve destekleyici mekânlar - Doğa ile bağlantı	<ul style="list-style-type: none"> › Evi andırır biçimde ve rahatlatıcı mekân tasarımı › Doğa ile temas / Doğa ile bağlantı › Rekreatif alanlar yaratma › Peyzaj düzenlemesi doğru yapılmış çevre alan ve iç avlular
	Sanat ve estetik	<ul style="list-style-type: none"> › Tasarımın, bölgesel – yerel kültür ve stili yansıtması › Pozitif dikkat dağıtıcılar olarak sanatsal öge kullanımı
	Malzeme seçimleri - Renk, desen, doku	<ul style="list-style-type: none"> › Malzeme, renk, ritim, doku, desen, ışık ve manzara › Rahatlatıcı, ferahlatıcı ve dinlendirici olma
HASTA ODALARI	Görsel ve işitsel mahremiyet	<ul style="list-style-type: none"> › Mahremiyete ve kişisel alana saygı / Özerklik › Hastaya aidiyet ve egemenlik hissi verme › Tek ve iki kişilik odalar
	İç mekân-dış mekân arası görsel ve fiziksel bağlantı	<ul style="list-style-type: none"> › Manzara, doğa ile etkileşim, açık havaya erişim
	Hasta alanı	<ul style="list-style-type: none"> › Hastanın konforu, memnuniyeti ve ergonomisi › Mekânı akustik ve görsel olarak kontrol etme imkânı
	Personel alanı	<ul style="list-style-type: none"> › Enfeksiyonların azaltılmasına yönelik lavabo bulundurma
	Aile alanı	<ul style="list-style-type: none"> › Mekânın kişiselleştirilebilmesine olanak sağlama › Sosyal desteğe imkân verme

Tuvalet ve banyo alanı	<i>› Engellerden arındırılmış ve erişilebilir mesafede olma</i> <i>› Kolay kullanımı destekleme</i>
Hasta güvenliği	<i>› Gözlem</i> <i>› Düşmelerin engellenmesi oda organizasyonu</i>
Aydınlatma ve ısı kontrolü (hasta ve yakınlarının erişimi)	<i>› Gece ve gündüz aydınlatma senaryoları geliştirme</i> <i>› Havalandırma ve sıcaklık kontrolü ile hastaya yetki verme</i>

III. İYİLEŞTİREN HASTANE YAKLAŞIMI VE 21. YÜZYIL SAĞLIK KAMPÜSLERİNE YÖNELİK TASARIM İLKELERİNİN BELİRLENMESİ

A. DIŞ MEKÂN TASARIM İLKELERİ

19. ve 20. yüzyıl boyunca devam eden kentleşme süreci etkisinde sağlık tesisleri [16] kentsel dokunun bir parçası haline gelmiş ve yakın çevre ilişkilerinden yararlanarak kente temas eden kampüs alanlarına dönüşmüştür. Günümüzde kullanıcı odaklı bir tasarım anlayışıyla tasarlanan sağlık kampüsleri, sosyal ve kültürel aktiviteler, ticari birimler, barınma üniteleri gibi mekânsal alternatifler ve kamusal deneyim alanlarıyla, sağlık köyü ya da şehir hastanesi adları altında hayata geçirilmektedir [32]. Genellikle çoklu yapı organizasyonlarından oluşan sağlık kampüsü tasarımlarında temel yaklaşım, yapısal tasarımın ötesinde [50], bir kent parçası olarak kentle bütünlük kuracak planlama kararlarını içeren, bağlamla ilişki kurarak herkes tarafından erişim imkânı sunan ve bulunduğu kentsel bölgeyi dönüştürme gücü bulunan oluşumlar kurgulamaktır. Kampüs alanları, tasarımın bütünü ile ilişkilenebilir ve dış mekân tasarımının en geniş ölçeğinde oluşturmaktadır. Tıpkı kentler gibi, kentsel formun parçası olan sağlık kampüsleri de öncelikli olarak doğru bir yer seçim kararı ile şekillenmektedir. Kampüs alanının konumu, kullanıcı ve hastane arasındaki fiziksel mesafeyi en aza indirmeli [42], tüm kullanıcılar için kolay toplu taşıma ile kolay erişilebilir olmalıdır. Kampüs planlamasına ilişkin fizibilite raporları düzenlenirken kent ölçeğinde merkezilik, ulaşılabilirlik, yerleşim alanları ve ulaşım birimleri ile bağlantı [52], kampüs ölçeğinde ise yoğun kentsel gürültü çevrelerine uzaklık, temiz hava sahaları, kampüs yakın çevresinde yeşil alan imkânı [35] gibi ölçütler göz ardı edilmemelidir.

Kentsel planlama ölçeğinde kampüs yeşil alanları, yapı çevre karakteri ile bütünleşerek kentteki yeşil ağ sistemine katkıda bulunma noktasında önemli bir rol oynamakta, kentsel yapı çevre ile kampüs alanı arasında tampon bölge oluşturmaktadır. Kampüs içerisinde dengeli boşluklar yaratarak birbiri ile bağlantılı mekânlar dizisi oluştururken, mekânsal kullanım açısından aktif bir dış mekân yaşantısı sunmaktadır [53]. Kampüs alanının kentsel çevre ile fonksiyonel, organizasyonel ve fiziksel ilişkiler içinde olması [54], kente ve doğaya karşı geçirgenliğini arttırmaktadır. Şehrin küçük bir parçası olarak tasarlanan sağlık kampüsü [10], sunduğu kamusal deneyim alanları ile yerel halkın yaşam kalitesini de zenginleştirmeli, kamusal yaşantıyı içine çekmelidir [54]. Yüksek oranda yeşil alanlara sahip, kente ve doğaya açılan bir kampüs yaratma fikri [50] tasarımda esas alınmalıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Martin Luther King Tıp Merkezi Kampüsü ve sağlık kampüsünü yakın çevre ile bütünleştiren, yürüme, bisiklete binme ve sosyalleşmeyi teşvik eden bir dizi bağlantılı bahçeler ve açık alanlar barındıran "Wellness Spine" kurgusu [69]

Kullanıcı gereksinimlerini karşılayacak ve görsel kaliteyi arttıracak şekilde planlanan hastane çevreleri [51] sağlık kampüsleri ve kompleks yapı grupları arasındaki mekânsal hiyerarşinin bir parçasını oluşturmaktadır [10]. Tarih boyunca doğa, insanlar tarafından şifa bulma ve rahatlama amaçlarıyla kullanılmıştır. Psikolojik ve fizyolojik ihtiyaçlarla tercih edilen hastane bahçelerinin [55] tasarımlarının ruhsal, fiziksel ve sosyal açıdan hastaların tedavi sürecinde de önemli bir rol oynadığı ve sosyal bir atmosfer oluşturduğu bilinmektedir [33]. Ortak alanların kampüs içerisindeki tüm yapılara dağılımı ile kamusal iletişim ve paylaşım alanları tüm kullanıcılar tarafından ulaşılabilir olmakta ve sosyal etkileşime ve pozitif karşılaşmalara izin veren kamusal alanlar olarak hastane bahçeleri, günün her saati ve hafta sonları kente ve kentliye açık hale gelmektedir [50] (Şekil 4).



Şekil 4. Karşılaşma ve buluşma mekânları olarak kamusal alanlar [70]

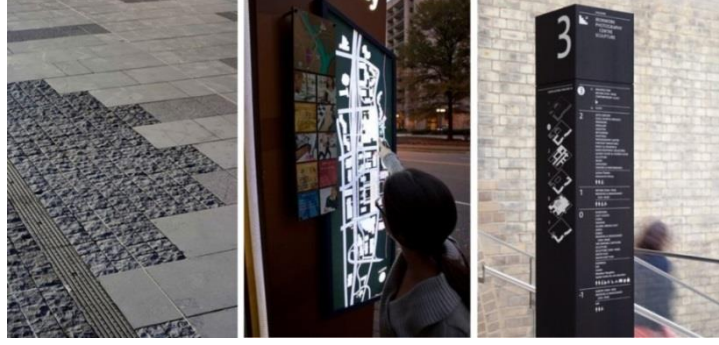
Hastane bahçelerinin organizasyon ve tasarımı, kullanıcıları klinik ortamdan uzaklaştırmalı, stres seviyesini azaltıcı doğal ve yapay mekânsal elemanlarla hastaların ruh sağlığına ve iyileşmeye olan adaptasyonuna olumlu etkilerde bulunmalıdır. Suyun akışının temizliği, bitkilerin yeniden doğuşu, havanın kırılganlığı, taşların ve kayaların gücü, ölümsüzlüğe ve baskıya karşı dayanıklılığı, kış ve sonbahar yapraklarının yaşlanmaya varışı, gökkuşağının ise ümit ve beklenmeyen şansı temsil ettiği sembolik unsurlardan yararlanan şifa bahçesi yaklaşımının benimsendiği hastane çevreleri ile insanların fiziksel ve ruhsal açıdan iyi olmaları desteklenmelidir [44] (Şekil 5).



Şekil 5. Doğan ilham alan sembolik unsurlarla tasarlanmış çevreler [71], [72]

Kampüs alanı içerisindeki tek bir yapıya ulaşmak için tüm bahçenin katedilmesi ya da yapılar arasında yer değiştirilmesi gibi durumlarla karşılaşan kullanıcılar için iyi planlanmamış hastane bahçeleri, kaybolma hissinin doğmasına, stres seviyesinin yükselmesine, acil koşullarda vakit kayıplarına yol açmaktadır. Yarı-açık ve kapalı mekân ilişkileri kurgulayan mekânsal oryantasyonun yardımıyla, yön

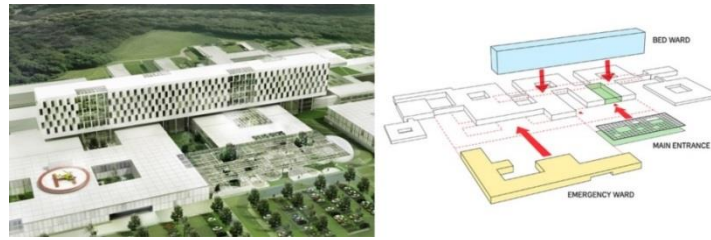
bulma, mekânlar arası doğru yönlenme, mekânın okunabilir ve algılanabilirliği sağlanabilecektir. Öte yandan bu durum, çoğunlukla birbiri ile bağlantılı yapı bloklarından oluşan bir hiyerarşik düzende daima erişilebilir, toplu kullanıma duyarlı ve buna bağlı olarak yapı-zemin ilişkisini ön planda tutan ulaşılabilir tasarımların tercih edilmesini gerektirmektedir. Kesintisiz bağlantı yolları, yeterli miktarda ve doğru konumlandırılmış otopark alanları, kampüse ve yapılara ulaşımı kolaylaştıran bir trafik akışı ile hastaların bakıma ve rekreasyona erişim mesafelerinin kısa tutulması mümkündür (Şekil 6).



Şekil 6. Zemin kaplaması, yön haritası ve işaret sistemleri ile oryantasyon [73], [74], [75]

Kampüs ölçeğinde kitlesel bütünlüğe erişen yapı blokları, kapasite ve işlevlerine göre ayırırken yapısal ilişkileri yeniden örgütlemektedir. Sağlık kampüsü yapıları buldukları fiziksel çevre koşulları ile biçimlenirken, kamusal çevrede oluşturduğu yapı profili ve yakın çevre etkileşimi bakımından mekânsal olarak kullanıcı ile ilişkilenebilmektedir. Sağlık tesislerinin topoğrafyaya uygun konumlanarak güneşe ve rüzgâra yönlendirilmesine olan ihtiyacın fark edilmesi 18. yüzyıla uzanmakta, karşılıklı havalandırma, temiz hava, doğal ışık kullanımı, hasta odalarının yönlenişi, birbiri ile ilişkili ünitelerin yapısal ilişkileri yapı tasarımlarında belirleyici olmaktadır [56]. Kentsel alanda konumlandırılan sağlık kampüslerinin kentle olan ilişkileri ve çevreleriyle bütünleşmiş bir gelişim göstermeleri [10], kentsel dokuya yapısal ve mekânsal açıdan adapte edilebilirlikleri, kolay algılanabilen tek tip bir imaja sahip olmaları ve estetik açıdan buldukları kentsel bağlama olumlu etki etmeleri beklenmektedir.

Kampüs yapılarının, zaman içinde kapasitenin, kullanıcı istek ve gereksinimlerinin farklılaşması, teknolojik gelişmeler ve çağdaş yapısal müdahalelere imkân verecek ölçüde esnek tasarıma sahip olması gerekmektedir. Yapısal dinamiklere bağlı olarak iç mekân organizasyonu yer değiştirebilmeli, modüler tasarım yaklaşımıyla önceden belirlenen ek yapı ve birimler, bina bütünsel formuna zaman içerisinde eklenebilmelidir [57]. Akılda kalıcı, basit ve kolay algılanabilir plan şemalarıyla tasarlanan yapı blokları, farklı işlevlerin birbirinden net olarak ayrılması ve ilişkili işlevlerin gruplandırılmasını sağlamaktadır [60] (Şekil 7).



Şekil 7. Yapı kabuğunda kitlesel ayrışma ve algılanabilirlik [77]

Yapısal tasarım, yapıyı insan ölçeğine yaklaştıran, kullanıcı profili ve kullanım yoğunluğu umursayan, doğal çevreyle bütünleşmeyi kolaylaştıran, renk-malzeme-doku seçimleriyle iç mekân atmosferini yapı kabuğuna taşıyan bir yaklaşımı yansıtmalıdır [1], [4], [13]. Yapı-zemin ilişkisi, arazi stratejisiyle örtüşmeli, yapı mümkün oldukça hastalar için tıbbi tedavilerden kaçış görevi gören bahçe alanlarına açık erişime sahip olacağı şekilde planlamalıdır [20]. İyi bir sağlık yapısı tasarımı, biçim ve oranca dengeli, doğal havalandırmalı, gün ışığından faydalanılan, tatlı suya erişilebilir ve çevresiyle uyumlu olmasının yanı sıra, az atık üreten, fazla su tüketimi ve yüksek enerji kullanımının önüne geçen, günde

24 saat ve haftada 7 gün çalışma için gerekli yapısal performansı gösterir nitelikte olmalı, bu yönüyle sürdürülebilir kampüs ve sürdürülebilir yapı ilkelerini benimsemelidir.

B. İÇ MEKÂN TASARIM İLKELERİ

Antik dönemden beri sağlık mekânı, dönemin sağlık koşulları ve tedavi yöntemleri, tıptaki gelişmeler ve yenilenen teknoloji ile birlikte gelişmiş, tarihsel süreç içerisinde gerçekleştirilen bilimsel araştırmalarla mekân kalitesi iyileştirilmeye çalışılmıştır. Mekânın iyileşme sürecine etkisinin açıkça gözlemlendiği bilimsel araştırmalarla birlikte iç mekân tasarımı konusu, mekânı örten yapı ve yapıyı saran sağlık kampüsü ile doğrudan ilişkilerin kurulduğu bir kesit olarak tasarım sürecinin önemli bir bölümünü oluşturmuştur.

Doğadan ilham alan pozitif renk ve dokulardan yararlanılarak rahatlatıcı ve huzurlu, gün ışığından yararlanılarak aydınlık ve iyileştirici bir iç mekân yaratmak [58], kullanıcı odaklı, sosyal etkileşime imkân veren, mekânlar arası ilişkiler ve yürüme mesafelerinin iyi planlandığı bir sağlık mekânı kurgusuyla mümkün olmaktadır [39]. Hastalar, hasta yakınları ve personelin ihtiyaçlarından doğan mekânsal gereklilikler iç mekânın tasarımında esas alınmakta, hasta için iyileşme, hasta yakınları için sosyal destek, personel içinse sağlıklı bir çalışma ortamının sağlanmasına yardımcı olunmaktadır. Mekânsal kurgunun sağlanmasında temel gereklilik daima mahremiyet konusu olmuştur. Sağlık mekânının bütünü, tüm kullanıcıların ortak kullanım alanlarından, mahremiyet ihtiyacının en yüksek olduğu hasta odalarına doğru devam eden bir hiyerarşi ile şekillenmiş, mekânın fiziksel yapısına ilişkin tutum ise iyileşmeyi esas alan ve kullanıcı ile mekânı buluşturan mekânsal gereklilikleri tanımlamak üzerine olmuştur.

Sağlık mekânlarında tasarım süreci yapısal, mekânsal, sosyal ve duyuşal açıdan pek çok tasarım ilkesini kapsamakta, mekânın kullanım niteliğini ve kullanıcı davranışını etkileyen çok sayıda girdiden beslenmektedir. Lynch'in çevredeki duyuşlara hitap eden verilerin organize edilmesi olarak tanımladığı ve Kuipers'in kullanıcının mekândaki algısal ve bilişsel süreci olarak tariflediği yön bulma davranışı, bireylerin mekân içerisinde stres yaşamadan, kısa zamanda ve kolayca hareket edebilmesi anlamına gelmekte [57], hastane içindeki kalabalıklığı, hastaların bekleme sürelerini, personel ile iletişim sıklığını, kaygı ve stres düzeyini etkilemektedir [56]. Hissedilebilir yüzey uygulamaları, karışıklık oluşturan zemin kaplamaları, aydınlatma senaryoları ve yönlendirme tabelaları gibi sistemler, mekânsal kullanıma dair temel bilgilerin okunabilirliğini artırırken ve farklı duyuşal yeteneğe sahip tüm bireyler için yardım almadan mekânları bulması tanımlaması ve kullanmasını kolaylaştırmaktadır [35], [58] (Şekil 8) (Şekil 9).



Şekil 8. Renklendirme ve aydınlatma tekniği ile yönlendirme [78]



Şekil 9. Yön bulma işaret sistemleri [79]

Mekanın tüm kullanıcılar için işlevsel hale getirilmesi ve erişilebilir olması, yön bulma deneyiminin desteklenmesi için önemlidir. İşlevsel uygunluk, boyut ve mekân ilişkisine dayanmakta, kullanıcının vücut ölçüleri, duruş pozisyonu, yaklaşma, uzanabilme, elle kullanım ve genel kullanım için uygun boyut ve alanın sağlanması, bütün fiziksel parçaların rahatlıkla ulaşılabilir olmasını kapsamaktadır [35]. Çok odaklı ve birbiri ile bağlantılı birimlerden oluşan sağlık mekânı [54], fiziksel çaba ve yorgunluğu en aza indirerek, erişilebilirliğe, engelli kullanımına [10], personel, hasta ve hasta yakınlarının sirkülasyonuna izin vermelidir [59]. Özellikle mekanlar arası geçiş ve giriş alanlarında görsel ve fiziksel engellerden arındırılmış noktaların görünürlüğü mekânın algılanabilirliğini arttırmaktadır [36] (Şekil 10).



Şekil 10. İç mekânda görsel ve fiziksel erişilebilirlik [80]

Ulrich'in [12] gözlem araştırması, Beauchemin ve Hays'ın [18], [19] güneş alan ve almayan hasta odalarıyla, hastanede kalış süresi ve ölüm oranları arasındaki ilişkiyi araştırdığı deneysel çalışması, Benedetti ve arkadaşlarının [65] gün ışığından yararlanan hasta odalarında kalan psikiyatri hastalarının iyileşme sürecini gözlemlediği raporlar gibi [31] pek çok bilimsel araştırma ile gün ışığından yararlanmanın iyileşmeye etkileri somutlaşmaktadır. Doğal aydınlatma olarak gün ışığından gerekli ölçüde yararlanmanın depresyonu azaltmakta, hastanede kalış sürelerini kısaltmakta ve uykuyu düzenleyerek, iyileşmeye yardımcı olmakta etkili olduğu, gündüz gün ışığı alan odalardaki hastaların daha az ağrıya ve strese sahip olduğu görülmektedir [20]. Hasta odaları veya yoğun bakım ünitelerinde doğal ışıktan yararlanılamaması durumunun ise, depresyon ve halüsinasyon gibi belirtilerin yanı sıra, sindirim sistemi, uyku düzeni, hormon düzeni ve vücut sıcaklıklarında ölçülebilir farklılıklara yol açtığı bilinmektedir [4] (Şekil 11).



Şekil 11. Ulrich'in [12] gözlem araştırmasının sonuçları -Beggs'den [2] uyarlanmıştır.-

İç mekânda gün ışığı kullanımı yalnızca hastaların değil, tüm kullanıcıların iyi hissetmesine ve doğru oryantasyona yardımcı olmaktadır. Çalışanların performansı ve iş doyumunu arttırdığı, etkili bir çalışma ortamı yaratmaktadır [20]. Bu sebeple, bekleme alanları ve personel yaşam alanlarının da güneş ışığı

alması sağlanmalı, başarılı bir görsel çevre için mimari form ve mobilyalarla bir bütün olarak düşünülmelidir [1] (Şekil 12). Doğal aydınlatma imkânının olmadığı ya da kısıtlı olduğu durumlarda yeterli aydınlatma dolaylı ya da yapay senaryolar ile sağlanmalıdır [61] (Şekil 13).



Şekil 12. Gün ışığının iç mekâna yansımaları [81]



Şekil 13. İç mekânda uygulanan yapay aydınlatma senaryoları [82]

19. yüzyılda Florence Nightingale'in hastane yapılarında büyük pencere kullanımı ve havalandırmanın bakterilerden kaynaklanan enfeksiyonlar için bir çözüm olarak gördüğü araştırmalar dizisi sonucunda güneş ışığının bakteri öldürücü özelliklerini de keşfedilmiş [14], 20. yüzyıl tıp biliminde görülmeye başlanan "hasta bina sendromu" da (*Sick Building Syndrome*) ile birlikte iyileşmenin doğrudan sağlık yapısının fiziksel nitelikleri ile ilişkili olduğu ve havalandırmanın iyileşme sürecine etkisi bilimsel olarak kabul edilmiştir [20]. Doğal havalandırma ile mekânın hava kalitesi iyileştirilmekte, temiz havanın sirkülasyonu sağlanmaktadır. Ayrıca partikül tutucu filtreler gibi iklimlendirme sistemleri, ortam sıcaklığı kullanıcıların sağlığını koruyarak nem oranını kontrol altında tutacak nitelikteki bir hava akımının sağlanmasına yardımcı olmaktadır [1].

Mekân kalitesini arttırmada etkili bir diğer unsurun ses ve gürültü kontrolü olduğuna dair araştırmalar, mistik tedavinin görüldüğü ilk sağlık mekânı deneyimlerine uzanmaktadır. Doğa, sanat ve müzikten faydalanılarak iyileşmenin sağlandığı şifahaneler, müziğin insan ruhuna ve stres seviyesine iyi geldiğine ilişkin bilincin oluşumuna zemin hazırlamıştır [13]. Ortamdaki ses ve gürültünün fizyolojik (kan basıncı, kalp atış hızı) ve psikolojik (uyku bozukluğu, yoğun bakım ünitelerindeki psikoz, ağrı) etkileri bilimsel araştırma sürecinde keşfedilmiş ve iç mekânda gürültüyü azaltarak ses kalitesini arttırmaya yönelik olarak, ses, ritim, müzik gibi soyut araçlar ve ritmik seslerin iyileştirici etkisinden de faydalanılmıştır. Gürültüyü azaltmak ve önlemek için koridorlarda sesin dağılmasına izin vermeyen anti bakteriyel özelliğe döşeme kaplamaları uygulanmakta [15], bekleme ve dinlenme alanlarında geleneksel uyarı işaretleri yerine okuma üniteleri ve kitaplıklar kullanılarak sessiz olunması gerekliliğine dikkat çekilmektedir [10]. Dolaşım alanlarında yürüme sorunu yaşayanlar için tutunma barlarının kullanılması, yumuşak zemin kaplamaları ile düşmelerin kontrol altına alınması, koridorların mobilya ve sağlık araç-gereci gibi engellerden arındırılması [1], yapıya giriş çıkışların kontrolü, güvenli aydınlatma sistemleri ile mekânsal denetimin sağlanması gibi önlemler ise iç mekânda güvenli bir kullanım deneyimi için gerekli uygulamalardandır.

Sağlık yapılarında giriş mekânından iç mekâna geçişte servis birimleri ve genel alanlar, kişisel alanlara geçişi sağlamak ve hastane sokakları olarak adlandırılmaktadır. Koridorlar ve bekleme alanları gibi birçok ortak mekânı tanımlayan hastane sokakları tıbbi hizmetin yanı sıra sosyalleşme ve buluşma mekânları [1] ve aynı zamanda bedensel dinlenme ve psikolojik rahatlama ihtiyacının karşılandığı

alanlar olarak kullanılmaktadır. Bir hastane deneyiminde ilk karşılaşılan alan giriş mekânı, kullanıcı etkileşimlerinin en yoğun olduğu alan ise hastanenin zemin katıdır. Yapısal karmaşıklıkların gözlendiği zemin kat organizasyonları, yapıyı algılama, öğrenme ve yol-yön bulma davranışı bakımından mekânsal deneyimi zorlaştırmaktadır [37]. Yapıya girişte dolaşım akışının aksamaması ve kullanıcıların doğru şekilde yönlendirilmesi için aydınlık, ferah ve tanımlı bir giriş mekanının kurgulanması, kullanıcıyı karşılayan ve mekana davet eden bir giriş ve pozitif dikkat dağıtıcı unsurlarla desteklenen bir resepsiyon alanının yaratılması gerekmektedir [1]. Soğuk mavi iç mekânların kan basıncını düşürdüğü, su mavisinin insan tenindeki elektriği ve kas gerilimini azalttığı, sarının enerjik bir etki yarattığı, yeşilin ise hastayı yatıştırarak rahatlattığı bilinmektedir [4], [55] (Şekil 14).



Şekil 14. Aydınlatılmış, davetkar ve hoş karşılayan giriş mekânları [83]

Öte yandan dolaşım ve bekleme alanlarında döşeme ve duvarlarda doğru biçim, doku, renk ve malzemelerin uygulanması, kullanıcılar arasında sosyal destek ve esnek kullanım imkânı veren, yumuşak hatlı ve canlı renkli [66] ergonomik mobilyaların tercih edilmesiyle rahatlatıcı bir ortam sunulması, uzun sandalye dizilerinden küçük oturma gruplarının tercih edilmesi [67] gibi kararlar da iç mekan konforunu artırıcı unsurlar olarak dikkate alınmalıdır (Şekil 15). İç mekânda malzeme doğru malzeme seçimiyle birlikte iyileşme süreci desteklenmekte, doğadaki dallar, dalgalar, çiçekler, kar taneleri, deniz kabukları gibi birbirini farklı boyutlarda tekrar eden desen ve dokular, göze hoş gelerek rahatlama hissi vermektedir [15]. Mekânın doğa manzarasına ve doğaya erişimine fırsat veren özellikleri sanatsal öğelerle bir araya geldiğinde hasta psikolojisinde pozitif etki yaratmaktadır [10]. Müzik, doğadan ilham alan ritmik sesler, görsel kaynaklar gibi sanatsal öğeler, kişinin kendini anlamasına yardım etmekte, depresyon ve stresle ilgili belirtileri azaltmakta ve olumsuz düşüncelerin kaybolmasını sağlamaktadır [41].



Şekil 15. Giriş mekânlarında pozitif oyalayıcılar ve çocuk oyun alanları [84]

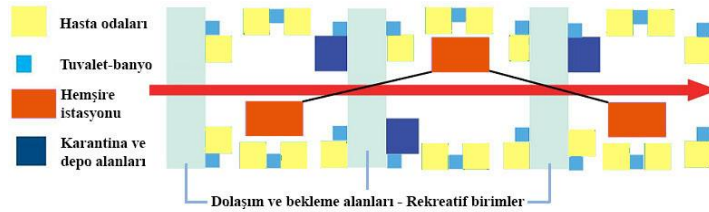
Doğa ile temas, kolesterol, ağrı ve hastanede kalış süresini azaltmakta, kan basıncını düşürerek rahatlama sağlamaktadır [20], [28], [41], [55], [68]. Dolaşım ve bekleme alanlarının doğal ve yapay peyzaj öğelerinin kullanımı, havalandırma, doğal aydınlatma, rekreatif alan oluşturma, sosyal iletişime vb. işlevleri ile destekleyici bir ara mekân oluşturan iç bahçe ya da avlu uygulamaları doğayla teması güçlendiren tasarım kararları olarak tercih edilmektedir (Şekil 16). Birimler arası bağlantıyı sağlayan ve kullanıcıların en aktif kullandığı ortak mekânlar olarak kabul edilen koridorların yapının tüm birimleri sardığı ve ana sirkülasyonda bir omurga olarak hareket ettiği düşünüldüğünde, tıbbi birimin nitelik, fonksiyon ve mekânsal ihtiyaçlarına, kullanıcı profili ve kullanım yoğunluğuna bağlı olarak biçimlenmesi beklenmektedir. Dolaşım hatlarının iyi aydınlatılması ya da mekân tarifleyici aydınlatma

senaryolarıyla tanımlanması ve aynı zamanda süreklilik göstererek mekânsal oryantasyona destek olması gerekmektedir [10].

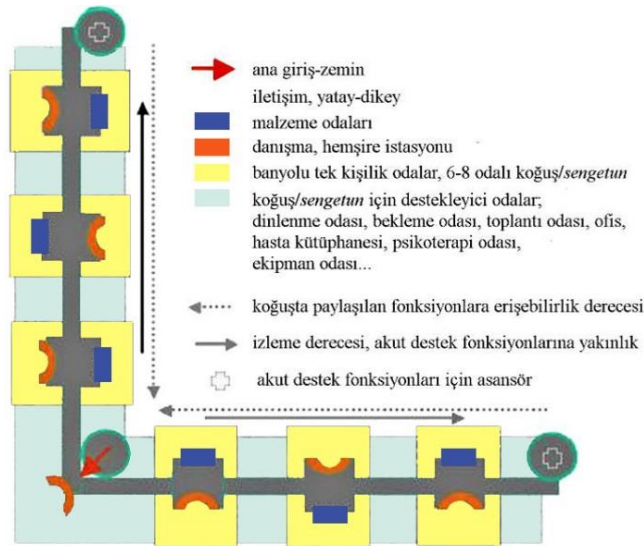


Şekil 16. Tüm kullanıcılara uygun, rahatlatıcı bekleme alanları [77]

İyi aydınlatılmamış koridorlar ve farklı açılarda devam eden duvarların strese yol açtığı ve hastanede kalma sürelerini etkilediği bilinmektedir. Dolaşım alanlarında doğru biçimleniş, yapı içerisindeki yürüme mesafelerini en aza indirecektir. Bununla ilgili olarak 2002 yılında, uzun koridorların özellikle personel açısından vakit kaybına neden olduğunun gözlemlenmesiyle birlikte yeni bir koğuş sistemi tasarlanmıştır [10]. Sengetun prensibi denilen bu sisteme göre hasta odaları, gözlem ve tıbbi müdahale için oluşturulan hemşire istasyonlarının etrafında gruplanmakta, her biri 6-8-10 hasta odasını içeren 3 ünite bulunmaktadır. Hemen her bir ünite için bir karantina odası tanımlanmış, personel ve depo alanları, dolaşım-bekleme alanları ve rekreatif birimler ise üniteler arasındaki ortak alanlarda konumlandırılmaktadır [62], [63], [64] (Şekil 17) (Şekil 18). Sengetun prensibi günümüzde hasta katlarının tasarımında evrensel bir tipoloji olarak kabul edilmektedir.



Şekil 17. Sengetun planı örneği –Kristiansen [63]’dan uyarlanmıştır.-



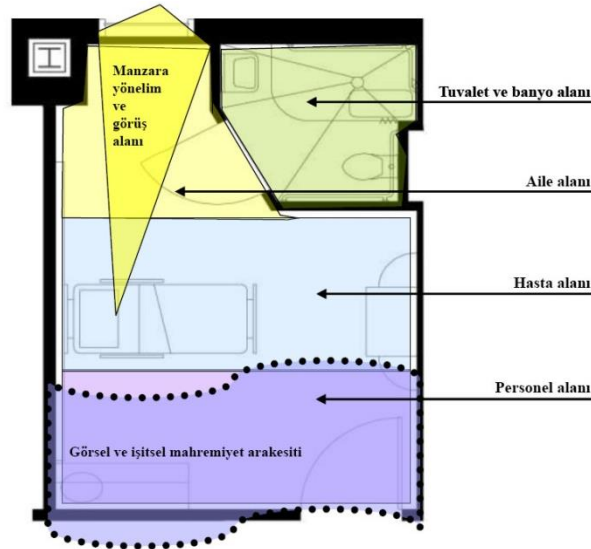
Şekil 18. Sengetun prensibinin hasta yatak katlarına uygulanması –Şalgam’dan [10] uyarlanmıştır.-

20. yüzyılda sağlık sektöründeki gelişmelerle birlikte sağlık mekânlarında hastane koğu su sisteminden hasta odaları sistemine geçilmeye başlanmış, 21. yüzyılda ise sağlık yapılarında tek ya da iki kişilik hasta bakım odalarının esas alındığı bir sistem benimsenmiştir [10]. Mahremiyeti ve kişisel alana saygıyı esas alan, hastaya tedavi süresince hâkimiyet alanı yaratarak aidiyet hissi yaratılmasına yardımcı olan bu uygulama ile birlikte hasta odaları, sağlık yapılarının mekânsal organizasyonunda belirleyici bir rol oynamaya başlamıştır (Şekil 19).



Şekil 19. Tek ve iki kişilik odalar [85]

Odaların yönlenişi ve yapı içerisinde konumlanışı, kullanım alanının planlanmasında da etkili olmaktadır. 21. yüzyılda kabul gören standart bir hasta odası, hasta yakınlarının kullanımında olan aile alanı, hasta kullanımında olan tuvalet ve banyo alanı, yatağın ve tıbbi cihazların bulunduğu hasta alanı ve sağlık personelinin müdahale için kullandığı personel alanı olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır (Şekil 20).



Şekil 20. Standart bir hasta odası kurgusu –Karadayı'dan [59] uyarlanmıştır.-

Hasta mahremiyetinin ve egemenliğinin en yüksek değerde olduğu mekânlar olarak hasta odalarının [15] iyileşme sürecini destekleyici aktiviteler ve ziyaretçilere yönelik deneyim alternatifleriyle donatılması kullanım alanlarının sınırlarını belirlemektedir. Odanın hastane koridoruna açılan yüzü görsel ve işitsel mahremiyet düzeyini belirlerken, manzara açılan ve gün ışığından yararlanan yüzü iç mekân-dış mekân arası görsel ve fiziksel bağlantının kurulduğu fakat öte yandan pencere sistemi ile dışa

dönük hakimiyet alanını tanımlamaktadır. Hasta yatakları tercihen doğa manzaralı veya doğa ile etkileşimde olacak şekilde [4] pencereye paralel yerleştirilmekte, bu şekilde gün ışığının hastaya ulaşması ve hastanın manzaraya hakim olabilmesi sağlanmaktadır [35]. Hasta yatağı ve bağlı bulunduğu tıbbi cihazları kapsayan hasta alanında, yatakların kısa kenarı (baş tarafı) duvara dayanmalı, diğer üç taraf ise gerektiği durumda hastaya müdahale edilebilmesi için açık olmalı [48], tamamıyla hastanın konforu, memnuniyeti ve ergonomisi düşünülerek tasarlanmalıdır. Hasta kontrolü için hasta koridorlarında oluşturulan hemşire istasyonlarının yanı sıra, etkin gözlem ve anında müdahale sahası yaratabilecek bir personel alanı bulundurulmalı, tıbbi dezenfeksiyon için kullanılacak el yıkama lavaboları ve müdahale ya da sedye hareketi için uygun açıklık düşünülmelidir. Mekânın kişiselleştirilebilmesine, hastaya güven ve sosyal destek sağlanmasına imkân verecek bir aile alanının bulundurulması [10] ve alanın hasta yakınlarının ihtiyaçlarına duyarlı bir şekilde tefriş edilmesi de [59] tedavi sürecini olumlu yönde etkilemektedir.

Hasta ve yakınlarının kullanabilecekleri tuvalet ve banyo hacminin biçimi ve oda içerisinde konumlanması ise çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Hasta odası girişine yakın olarak personel alanında konumlanan tuvalet hacmi uygulaması acil müdahale açısından tercih edilirken, tuvalet hacminin aile alanı içerisinde, hem manzara görüşünü ve doğal aydınlatmayı engellemeyecek hem de görsel *mahremiyeti* destekleyecek şekilde cephe yönünde konumlandığı uygulamalar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Hacmin iç duvarda konumlandığı durumlarda hemşirenin hastayı gözetleme alanının kısıtlanmakta, depo alanı azalmakta, öte yandan, oda kapısı ve banyo kapısının açık konumdayken çalışabilmektedir. Dış cephe duvarında olduğu durumlarda ise bu sorunlar bir noktada hafifletilmekte, aile alanı için de bir köşe yaratılabilmekte, esnek bir çözümü sunmakta ve hasta için daha çok manzara görüşü sağlamaktadır [15]. Fakat her iki durumda da hasta tuvaletlerinin her koşulda hastanın kolaylıkla erişebileceği mesafede, engellerden arındırılmış ve kolay kullanımı destekleyecek şekilde tasarlanması, yatak başının dayandığı duvar ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir [10] (Şekil 21).



Şekil 21. Tuvalet ve banyo hacminin iç duvarda konumlanması örneği[86] (solda) ve dış duvarda konumlanması örneği [87](sağda)

Hasta odasının tasarımı kaza ve düşmeleri önleyecek şekilde olmalı, yatak başından banyoya kadar giden yol iyi aydınlatılmış, tanımlı, kaymaz malzemeden yapılmalıdır [15]. Tutunma barlarıyla doğrudan yönlendirme sağlanmalı, odalardaki donatılar sivri köşelerden arındırılmış olmalıdır [10]. Aydınlatma, havalandırma ve oda sıcaklığı, hasta ve yakınları tarafından kontrol edilebilir olmalı [4], oda ve kullanım koşulları farklı aydınlatma senaryolarıyla tanımlanmalıdır. Ayrıca bütün odanın aydınlanması ve hastaya müdahalede en iyi ışığı alabilmek için hasta yatağının üzerinde bir armatür günlük kullanım için yerleştirilmeli, gece senaryosu için ise duvar ve tavan birleşimlerinde indirekt aydınlatmalar kullanılmalıdır [15].

IV. SONUÇ

İyileştiren hastane anlayışının modern hasta merkezli bir anlayışla tasarlanan sağlık kampüsü uygulamalarıyla bir araya getirildiği bu çalışmada, sağlık mekânlarının gelişim süreci ve çağdaş tasarım yaklaşımlarını kapsayan tarihsel ve kuramsal bir okumadan yararlanılmıştır. Sağlık mekanlarının tarihsel gelişimi incelendiğinde, ilk sağlık mekanlarının tedavi/terapi merkezleri olarak ve sağlık

kampüsleri şeklinde kurgulandığı, mimari ile tıp arasındaki ilişkinin fark edilmesi, modern tıbbın gelişimi ve sağlık alanında yaşanan diğer gelişmeler sonucu hastane yapılarının ortaya çıktığı ancak günümüzde halen kampüs oluşumlarının esas alındığı bir kurgunun benimsendiği görülmüştür.

Hastane mimarisine yönelik olarak yapılan araştırmayla, 21. yüzyıl sağlık kampüslerinde benimsenen tipolojinin 20. yüzyılda Batı’da geliştirilen ‘monoblok’ ve ‘matchbox on a muffin’ tip hastanelerin çağdaş bir yorumu olduğu anlaşılmıştır. Yine bu süreçte söz konusu alana ilişkin bilimsel araştırma ve gözlem çalışmalarına paralel olarak geliştirilen çağdaş hastane tasarım yaklaşımları incelenmiş, 21. yüzyılda hasta merkezli bir anlayışa sahip ‘iyileştiren hastane yaklaşımı’ ile uyumluluk gösteren bir tasarım stratejisinin benimsendiği ve kampüs tasarımları ile birlikte mistik tedavi yöntemlerindeki doğayı ve iyileşmeyi esas alan anlayışa bir geri dönüş yaşandığı belirlenmiştir. Ayrıca, yaklaşımın terminolojik olarak ortaya çıkışının sağlık kampüsü tipolojisinin hayata geçirilmeye başladığı döneme denk gelmesi de bu tespiti desteklemektedir.

21. yüzyılda hayata geçirilen sağlık kampüslerinin tasarımlarının tipoloji ve yaklaşım bakımından arka planının saptanmasının ardından, tasarımları hasta merkezli bir anlayışı benimseyen iyileştiren hastane yaklaşımı ile ilişkilendirmek ve tasarım ilkelerini belirleyerek günümüzdeki modern sağlık mekânı anlayışını tanımlamak amacıyla yöntem bölümü kurgulanmıştır. Çalışmanın yöntem bölümünde söz konusu tasarım anlayışına referans veren uluslararası ve ulusal alanda yürütülmüş bilimsel araştırma ve gözlem çalışmalarını da kapsayan teorik bir altyapı kurgulanmış, 21. yüzyılın sağlık kampüslerinin mekânsal gelişimleri ve mimari biçimlenişlerini etkileyen ilke ve yaklaşımlar belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular kent, yapı ve iç mekan ölçeklerinin de dahil edildiği bütüncül bir ele alış biçimi ile sistematik hale getirilmiş, “*dış mekân tasarımı*” ve “*iç mekân tasarımı*” olmak üzere iki bölümde ele alınmıştır.

Dış mekân tasarımına ait ilkeler, “*kampüs*” tasarımı, “*hastane bahçesi*” tasarımı ve “*yapı*” tasarımı başlıkları ile kategorize edilmiştir. Kampüs tasarımında *konum ve kampüs alanına ulaşım (yer seçimi), yeşil alan miktarı ve yapı çevre, kampüs içi doluluk-boşluk oranı ve geçirgenlik*; hastane bahçesi tasarımında *kamusal iletişim ve paylaşım alanları, bahçe organizasyon ve tasarımı / kent mobilyaları, mekânsal oryantasyon / yön bulma ve erişilebilirlik*; yapı tasarımında *yönlenme / konumlanma, çevre ile uyum (bağlam), esneklik, yapı kabuğunun mimari karakteri, yapı-zemin ilişkisi ve sürdürülebilir tasarım* ilkelerinin etken olduğu belirlenmiştir.

İç mekân tasarımına ait ilkeler ise, “*genel kararlar*”, “*ortak alanlar*” ve “*hasta odaları*”nın tasarımı başlıkları ile ifade edilmiştir. Genel kararlarda *mekânsal oryantasyon / yön bulma, işlevsel uygunluk, erişilebilirlik, gün ışığı – doğal ve yapay aydınlatma kontrolü, hava sirkülasyonu – ısı kontrolü, ses ve gürültü kontrolü ve güvenlik*; ortak alanlarda *giriş mekanı ve zemin kat organizasyonu, dolaşım ve bekleme alanlarının miktar ve oranları, mobilya kullanımı ve düzeni, koridorlarda aydınlatma ve biçimleniş, minimum yürüme mesafesi, iyileştirici ve destekleyici mekânlar, sanat ve estetik, malzeme seçimleri*; hasta odalarının tasarımında *görsel ve işitsel mahremiyet, iç mekân-dış mekân arası görsel ve fiziksel bağlantı, hasta alanı, personel alanı, aile alanı, tuvalet ve banyo alanı, hasta güvenliği, aydınlatma ve ısı kontrolü (hasta ve yakınlarının erişimi)* ilkelerinin iç mekan tasarımına ve kullanıcılara etkisi incelenmiştir.

Sağlık kampüsü tasarımlarının bütüne ilişkin tasarım ilkeleri, çalışmada başvurulan bilimsel araştırma, uygulama ve akademik literatürden faydalanılarak tanımlanmış, birbiri ile ilişkilendirilerek değerlendirilmiştir. Yöntemin belirlenmesinde, mevcut literatürde çoğunlukla hasta odalarının tasarımına odaklanması, yapı tasarımlarında tek yapı ya da genel hastane konsepti üzerinden hareket edilmesi, söz konusu tasarım ilkelerinin bir ya da birkaçına odaklanan dar kapsamlı çalışmalar üretilmesi ancak sağlık kampüslerinin bütününe yönelik bir araştırmanın bulunmaması etken olmuştur.

Çalışma bir rehber önerisi olmayıp, sağlık kampüsü uygulamalarında mevcut olan niteliklerin, bilimsel araştırma ve gözlemlerden yararlanılarak belirlenmiş ve terminolojik olarak çağdaş mimari mekânın biçimleniş bağlamında yorumlanmış tasarım ilkeleri ile tanımlandığı, eksik görülen niteliklerin ise

tamamlanmaya ya da iyileştirilmeye çalışıldığı bir araştırma olarak hazırlanmıştır. Tasarım ilkelerinin belirlenme ve değerlendirilme biçimini sistematik hale getirerek bütüncül bir yöntem geliştirmek ve bu alanda Türkiye'deki mimarlık literatürüne bir katkı yapmak, çalışmanın kazanımları arasında yer almıştır.

TEŞEKKÜR: Sorumlu yazar Nazlıcan Birinci Ertürk, YÖK 100/2000 ve TÜBİTAK BİDEB 2211-A Doktora Bursiyeri'dir.

V. KAYNAKLAR

- [1] E. Özgen, "Sağlık yapılarının genel mekan tasarımlarının kullanıcılar üzerindeki etkisi ile Hacettepe Tıp Fakültesi Hastanesi 7 no'lu kapı girişinin düzenlenmesine bir öneri," Yüksek Lisans tezi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [2] J. L. Beggs, "Healing through architecture," The degree of Master of Architecture, University of Waterloo, Canada, 2015.
- [3] B. Güç, Z. Gençel ve A. Karadayı, "Mekan-kullanıcı ilişkilerinin hastane örneğinde sayısal olarak modellenmesi," *SDU International Journal of Technological Science*, c. 4, s. 1, ss. 58-72, 2012.
- [4] A. Sungur Ergenoğlu, "Sağlık kurumlarının iyileştiren hastane anlayışı ve akreditasyon bağlamında tasarımı ve değerlendirilmesi," Doktora tezi, Mimarlık Bilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [5] D. Akyol Altun, "Cumhuriyet öncesi dönemde İzmir hastanelerinin mekânsal gelişimi," *Tarih İncelemeleri Dergisi*, c. XIX, s. 2, ss. 405-443, 2014.
- [6] E. Özgen, "İlk sivil hastaneler, kültürü ve yansımaları," *Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 7, s. 46, ss. 507-513, 2018.
- [7] M.Ş. Hanioglu, "Batılılaşma," *TDV İslâm Ansiklopedisi*, İstanbul, Türkiye: TDV İslâm Araştırmaları Merkezi, 1992, ss. 148-152.
- [8] O. Bolak, *Hastanelerimiz: Eski Zamanlardan Bugüne Kadar Yapılan Hastanelerimiz Tarihi ve Mimari Etüdü*, İstanbul, Türkiye: İstanbul Matbaacılık, 1950.
- [9] A. Altan, "Hastane yapıları," Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye, 2003.
- [10] D. F. Şalgam, "İyileştiren mimari tasarım bağlamında hasta bakım odalarının değerlendirilmesi," Yüksek Lisans tezi, Mimari Tasarım Bilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [11] A. Poyraz, "Akıl hastanelerinde hasta-mekân etkileşimi," Yüksek Lisans tezi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2015.
- [12] R. S. Ulrich, "View through a window may influence recovery from surgery," *Science*, vol. 224, no. 4647, pp. 420-421, 1984.
- [13] G. Purves, *Healthy Living Centres: A Guide to Primary Health Care Design*, Oxford: Architectural Press-Elsevier Science, 2002.
- [14] D. Theodore, "Better design, better hospitals," *CMAJ*, vol. 188, no. 12, pp. 902-903, 2016.

- [15] Ö. Berberoğlu, “Algı, sınır, kişisel alan kavramları ve hastane tasarımı,” Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [16] R. Guenther and G. Vittori, *Sustainable Healthcare Architecture*, 1st edition, New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [17] The American Institute of Architects Academy of Architecture for Health, *Guidelines for Design and Construction of Hospital and Health Care Facilities*, USA: Facility Guidelines Institute, 2001.
- [18] K. M. Beauchemin and P. Hays, “Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory Depressions,” *Journal of Affective Disorders*, vol. 40, no. 1, pp. 49-51, 1996.
- [19] K. M. Beauchemin and P. Hays, “Dying in the dark: Sunshine, gender and outcomes in myocardial infarction,” *Journal of the Royal Society of Medicine*, vol. 91, no. 7, pp. 352-354, 1998.
- [20] S. Bensalem. (2015). *Sustainable healthcare architecture: Designing a healing environment* [Online]. Available: https://www.academia.edu/10842853/Sustainable_Healthcare_Architecture_-_Designing_a_Healing_Environment
- [21] M. B. Folmer, M. F. Mullins and A. K. Frandsen, “Healing architecture,” *Helende Arkitekture*, no. 29, 2009.
- [22] B. Lawson, “Healing architecture,” *Arts Health*, no. 2, pp. 95-108, 2010.
- [23] J. Malkin, *Hospital Interior Architecture: Creating Healing Environments for Special Patient Populations*, New York, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- [24] C. Nickl-Weller and H. Nickl, *Hospital Architecture for The Future*, Switzerland: Braun Publishing, 2007.
- [25] C. Nickl-Weller and H. Nickl, *Healing Architecture*, Switzerland: Braun Publishing, 2013.
- [26] C. Nickl-Weller and H. Nickl, *Health Care of The Future 4: Healing Architecture*, Berlin, Germany: Mww Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 2013.
- [27] C. Nickl-Weller, *Healing Architecture 2004-2017: Forschung und Lehre - Research and Teaching*, Switzerland: Braun Publishing, 2017.
- [28] R.S. Ulrich, “Effects of gardens on health outcomes: theory and research,” *Healing Gardens*, New York, USA: John Wiley and Sons Inc, 1999, pp. 27-85.
- [29] R. S. Ulrich, R. F. Simons, B. D. Losito, E. Fiorito, M. A. Miles and M. Zelson, “Stress recovery during exposure to natural and urban environments,” *Journal of Environmental Psychology*, vol. 11, no. 3, pp. 201-230, 1991.
- [30] R. S. Ulrich, X. Quan, A. Joseph, C. Zimring and H. Choudhary, *The Role of The Physical Environment in The Hospital of The 21 st Century: A Once-in-A-Lifetime Opportunity*, Concord, CA: Center for Health Design, 2004.
- [31] A.E. Van den Berg, *Health Impacts of Healing Environments: A Review of The Benefits of Nature, Daylight, Fresh Air and Quiet in Healthcare Settings*, Groningen: University Hospital Groningen, 2005.

- [32] D. Aydın, *Hastane Mimarisi İlkeler ve Ölçütler*, Konya, Türkiye: Mimarlar Odası Konya Şubesi, 2009.
- [33] T. Duzenli, S. Yilmaz and E. Tarakçı Eren, “A study on healing effects of hospital gardens,” *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 26, no. 12, pp. 7342-7352, 2017.
- [34] A. Erçetin, *Değişen Kullanım İhtiyaçları Karşısında Hastane Giriş Mekânlarının Şekillenmesi*, Ankara, Türkiye: Gece Akademi Yayınevi, 2019.
- [35] H. Gezer, “Hastanelerde ve sağlık merkezlerinde erişilebilirlik,” *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, s. 25, ss. 113-133, 2014.
- [36] B. Güç, “Okunabilirlik ve erişilebilirlik açısından hastane dolaşım alanlarındaki mekânsal düzenin etkisi: Süleyman Demirel Üniversitesi poliklinikleri,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, c. 3, s. 3, ss. 425-432, 2015.
- [37] B. Güç, Z. Gençel and A. Karadayı, “Mekân-kullanıcı ilişkilerinin hastane örneğinde sayısal olarak modellenmesi,” *SDU International Journal of Technological Science*, vol. 4, no. 1, pp. 58-72, 2012.
- [38] B. Güç, Z. Gençel ve A. Karadayı, “Mekân, algı ve biliş bağlamında hastane tasarım dilini anlamak: SDÜ Hastanesi örneği,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 17, s. 1, ss. 133-146, 2013.
- [39] H. Özcan, “Healing design: A holistic approach social interaction in pediatric intensive care units in United States and Turkey,” *1st International CIB Endorsed METU Postgraduate Conference, Built Environment & Information Technologies*, Ankara, Turkey, 2006, ss. 243-260.
- [40] M. Özdemir, “Yeşil hastane tasarım ölçütlerinin irdelenmesi ve tasarıma ilişkin çözüm önerileri,” Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [41] E. Özgen, “İnsan mekân etkileşiminde sağlık yapıları ve mekânın iyileştirici rolü,” *Sanat&Tasarım Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 184-195, 2018.
- [42] M. Z. Paköz, “Sağlık hizmetlerine erişim ve hastane yer seçimi: İstanbul örneği,” Doktora tezi, Şehir ve Bölge Planlaması Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [43] S. Pouya, P. Şafak ve Ö. Demirel, “Engelli çocuklar için iyileştirme (terapi) bahçeleri,” *24. Ulusal Özel Eğitim Kongresi*, Edirne, Türkiye, 2014.
- [44] S. Pouya, E. Bayramoğlu ve Ö. Demirel, “Şifa bahçesi tasarım yöntemlerinin araştırılması,” *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 15, s. 1, ss. 15-25, 2015.
- [45] S. Pouya and Ö. Demirel, “What is a healing garden?,” *Akdeniz University Journal of Faculty of Agriculture*, vol. 28, no. 1, pp. 5-10, 2015.
- [46] H. Songur ve T. Saygın, “Şifahaneden hastaneye: Sağlık kuruluşlarının değişimine genel bir bakış,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 2014/1, s. 19, ss. 199-211, 2014.
- [47] A. Soysal, “Sağlık sektöründe çevre duyarlılığı: Yeşil hastane uygulamaları özelinde bir değerlendirme,” *ISEM2014*, Adıyaman, Türkiye, 2014, ss. 690-700.

- [48] A. Tandoğan, “Hastane yatan hasta katlarının iç mekan analizi Adana örneği,” Yüksek Lisans tezi, İç Mimarlık Ana Sanat Dalı, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2012.
- [49] S. Uzunay, “Hastane yapılarının planlanması ve hastanelerde sirkülasyon,” Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Anabilim Dalı, Haliç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [50] Ö. İtez. (2014). *1. ödül, Şanlıurfa Viranşehir Eğitim Kampüsü mimari proje yarışması* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.arkitera.com/proje/2793/1-odul-sanliurfa-viransehir-egitim-kampusu-mimari-proje-yarismasi>
- [51] Ö. V. Aksu ve Ö. Demirel, “Hastane bahçelerinde peyzaj tasarımları: Trabzon kenti örneği,” *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 236-250, 2012.
- [52] E. Berber. (2016). *Sağlık tesis yer seçimi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://prezi.com/1zt0xxpisvz-/saglik-tesis-yer-secimi/>
- [53] M. Uysal, “Yeşil dokunun yapma çevre ile bütünleşmesi,” Yüksek Lisans tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [54] E. Garip. (2014). *Eşdeğer Mansiyon, Gökçeada Lise Kampüsü Mimari Proje Yarışması* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.arkitera.com/proje/3467/esdeger-mansiyon-gokceada-lise-kampusu-mimari-proje-yarismasi4>
- [55] B. Karakaya ve T. Kiper, “Hastane dış mekân tasarımlarının Edirne ili örneğinde irdelenmesi,” *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 49-64, 2011.
- [56] A. Sungur Ergenoğlu ve A. Aytuğ, “Sağlık kurumlarında değişen paradigmlar ve iyileştiren hastane kavramının mimari tasarım açısından irdelenmesi,” *Megaron*, c. 2, s. 1, ss. 44-63, 2007.
- [57] N. Purde Savul, “Mevcut hastanelerin akreditasyon sistemleri bağlamında etmen tabanlı bir sistem ile değerlendirilmesi,” Yüksek Lisans tezi, Bilişim Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2014.
- [58] R.F. Carr, *Hospital*. Washington, USA: SpaceMed Guide, 2017.
- [59] A. Karadayı, “Güvenli hastaneler tasarımı: Uluslararası uygulamalar,” *II.Uluslararası Sağlıkta Performans ve Kalite Kongresi*, Antalya, Türkiye, 2010.
- [60] Ç. B. Dikmen ve S. Sahil, “Tıp Fakültesi hastanelerinde işlevsel performansın erişilebilirlik kapsamında değerlendirilmesi,” *Bozok Tıp Dergisi*, c. 6, s. 4, ss. 8-20, 2016.
- [61] Department of Health. (2004). *Guidelines in the planning and design of a hospital and other health facilities* [Çevrimiçi]. Erişim: https://doh.gov.ph/sites/default/files/publications/planning_and_design_hospitals_other_facilities.pdf
- [62] A. Fronczek-Munter, J. Van der Zwart and G.K. Hansen, “How to evaluate healthcare buildings? Selection of methods for evaluating hospital architectural quality and usability - a case at st. Olavs hospital in Norway,” *3th International Conference on Architecture, Research, Care and Health*, Norway, 2017.
- [63] L. Kristiansen. (2010). *Sengetun / bed courts and nurse calls* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/INF5200/v12/undervisningsmateriale/kristiansen.pdf>
- [64] L. Kristiansen. (2010). *Fixed and wireless nurse calls: Source for awareness and interrupts* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://slideplayer.com/slide/10308955/>

- [65] F. Benedetti, C. Colombo, B. Barbini, E. Campori and E. Smeraldi, "Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression," *Journal of Affective Disorders*, vol. 62, no. 3, pp. 221-223, 2001.
- [66] Türkiye Sağlık Yapıları Asgari Tasarım Standartları 2010 Yılı Klavuzu, *Sağlık Bakanlığı*, 2010.
- [67] J. Huddy, *Emergency department design: A practical guide to planning for the future*, Dallas, ABD: Johnson Printing Service, 2002.
- [68] H. Frumkin, "Beyond toxicity: Human health and the natural environment," *American Journal of Preventive Medicine*, vol. 20, no. 3, pp. 234-240, 2001.
- [69] World Landscape Architecture. (2020, 12 Mayıs). *The Martin Luther King Jr. Medical Center campus master plan* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://worldlandscapearchitect.com/the-martin-luther-king-jr-medical-center-campus-master-plan-los-angeles-usa-ahbe-landscape-architects/#.XsGMamgzZPZ>
- [70] ArcDaily. (2020, May 12). *Bendigo Hospital* [Online]. Available: https://www.archdaily.com/938939/bendigo-hospital-silver-thomas-hanley-plus-bates-smart?ad_medium=gallery
- [71] Pinterest. (2020, May 12). *Landscape architects – HOK* [Online]. Available: <https://tr.pinterest.com/pin/761389880744537613/>
- [72] Pinterest. (2020, May 12). *Spaulding Rehab Hospital* [Online]. Available: <https://tr.pinterest.com/pin/423831014907482469/>
- [73] Pinterest. (2020, May 12). *Paving pattern* [Online]. Available: <https://tr.pinterest.com/pin/195765915030627082/>
- [74] Pinterest. (2020, May 12). *Crystal City* [Online]. Available: <https://tr.pinterest.com/pin/122160208611976506/>
- [75] Pinterest. (2020, May 12). *Wayfinding table* [Online]. Available: <https://tr.pinterest.com/pin/338332990759926993/>
- [76] Designboom. (2020, May 15). *Schmidt Hammer Lassen Architects - Holding Hospital* [Online]. Available: <https://www.designboom.com/architecture/schmidt-hammer-lassen-architects-kolding-hospital/>
- [77] SDA. (2020, May 18). Jikei University Katsushika Medical Center sign design system development [Online]. Available: <https://www.sign.or.jp/old/award/2012/r4-04/index.html#>
- [78] NDGA. (2020, May 18). Unimed shopping total signage [Online]. Available: <https://ndga.wordpress.com/2017/02/13/sinalizacao-unimed/>
- [79] Frame. (2020, May 18). *Chicago Hospital* [Online]. Available: <https://www.frameweb.com/article/in-this-chicago-hospital-a-colour-per-floor-stimulates-different-kinds-of-patients>
- [80] Bustler. (2020, May 18). *Winners of the 2016 AIA National Healthcare Design Awards* [Online]. Available: <https://bustler.net/news/5064/winners-of-the-2016-aia-national-healthcare-design-awards>

- [81] Archilovers. (2020, May 18). CHUM - Centre hospitalier de l'universite de montreal [Online]. Available: <https://www.archilovers.com/projects/215324/chum-centre-hospitalier-de-l-universite-de-montreal.html>
- [82] Healthcare Snapshots. (2020, May 17). Scottish rite for children orthopedic and sports medicine center [Online]. Available: <https://healthcaresnapshots.com/projects/4178/scottish-rite-for-children-orthopedic-and-sports-medicine-center-frisco-campus/>
- [83] Array. (2020, May 17). Pediatric waiting room [Online]. Available: <https://array-architects.com/top-10-considerations-for-designing-a-pediatric-waiting-room/>
- [84] Archdaily. (2020, May 18). Nemours Children's Hospital [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/439396/nemours-children-s-hospital-stanley-beaman-and-sears>
- [85] Pinterest. (2020, May 18). Green Military Hospital reimagines armed services healthcare [Online]. Available: <https://tr.pinterest.com/pin/492299802987699418/>
- [86] Flickr. (2020, May 18). Seattle children's patient room [Online]. Available: <https://www.flickr.com/photos/seattlechildrens/5590469040/>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

İki Disazo Boyanın *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae) Üzerindeki Mortalite Etkisi ve Akut Toksisitesinin İncelenmesi

 Fikret SARI^{a,*}

^a Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Tavas Meslek Yüksekokulu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: fsari@pau.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1031641

Öz

Bu çalışma iki 5-(3'-amino-4'-arilazo-1H-pirazol-5'-ilazo) barbitürik asit boyasının (Boya 1 ve Boya 2) ekotoksikolojik çalışmalarda model organizma olarak bilinen *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae) üzerindeki mortalite etkisinin ve akut toksisitesinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Detaylı mortalite değerlendirmelerinden sonra Boya 2'nin organizmalar üzerinde Boya 1'e kıyasla daha fazla mortalite etkisine sebep olma potansiyeline sahip olduğu ve sucul ekosistemlerde yüksek konsantrasyonlarda uzun süreli bulunmasının bu ekosistemler için kayda değer bir tehdit oluşturabileceği sonucuna varılmıştır. Gerçekleştirilen toksite sınıflandırmasında Boya 1'in, 24 ve 48 saat maruziyetlerde pratikte toksik değilken 72 ve 96 saat maruziyetlerde hafif derecede toksik olduğu, Boya 2'nin ise 24 saat maruziyette pratikte toksik değilken 48, 72 ve 96 saat maruziyetlerde hafif derecede toksik olduğu bulunmuştur. Mortalite etkisi ve toksitedeki bu farklılıkların boya yapısında bulunan süstitüentlerin farklı olmasından kaynaklanabileceği söylenebilir. Bu çalışma, yapısında metoksi ve metil grubu içeren azo boyaların (sırasıyla Boya 1 ve Boya 2) *C. riparius* üzerindeki mortalite etkisi ve akut toksisitesi ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır. Ancak daha kapsamlı ekotoksikolojik değerlendirmeler yapabilmek için bu ve benzeri azo boyaların ve bozunma ürünlerinin farklı organizmalar üzerindeki etkilerinin ve etki mekanizmalarının moleküler düzeyde incelendiği ve sucul ortamlardaki gerçek konsantrasyonlarının belirlendiği daha ileri çalışmalara ihtiyaç olduğu bir gerçektir.

Anahtar Kelimeler: *Chironomus riparius*, Mortalite, Akut toksisite, Azo boya, Sucul ortam, Su kirliliği

Evaluation of Mortality Effect and Acute Toxicity of Two Disazo Dyes on *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae)

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate mortality effect and acute toxicity of two 5-(3'-amino-4'-arylazo-1H-pyrazole-5'-ylazo) barbituric acid dyes (Dye 1 and Dye 2) on *Chironomus riparius* (Diptera: Chironomidae) known as model organism in ecotoxicological studies. After detailed mortality assessments, it was concluded that Dye 2 had the potential to cause a greater mortality effect on organisms compared to Dye 1 and that its long-term existence in aquatic ecosystems at high concentrations could pose a significant threat to these ecosystems. In the performed toxicity classification, it was found that Dye 1 was practically non-toxic at 24- and 48-hour exposures but slightly toxic at 72- and 96-hour exposures, while Dye 2 was practically non-toxic at 24-hour exposure but slightly toxic at 48-, 72- and 96-hour exposures. It can be suggested that these differences in mortality effect and toxicity may be due to the different substituents in the dye structure. The present study provides valuable information regarding mortality effect and acute toxicity of azo dyes containing methoxy and methyl groups in

their structure (Dye 1 and Dye 2, respectively) on *C. riparius*. However, to be able to make more comprehensive ecotoxicological evaluations, it is a fact that there is a necessity for further studies in which the effects and action mechanisms of these and suchlike azo dyes and their degradation products on different organisms will be investigated at the molecular level and their actual concentrations in aquatic environments will be determined.

Keywords: *Chironomus riparius, Mortality, Acute toxicity, Azo dye, Aquatic environment, Water pollution*

I. GİRİŞ

Çevredeki zararlı ve toksik kirleticilerin küresel ölçekte endişelere yol açması nedeniyle çevresel konular ve çevre kirliliği gibi sorunlar giderek daha fazla dikkat çekmektedir. Günden güne daha da büyüyen bir problem haline gelen çevre kirliliğinin çeşitlerinden biri de su kirliliğidir. Sucul ortamlar, çeşitli antropojenik aktivitelerden kaynaklanan kirleticilerin ve endüstriyel atıkların en önemli alıcısı durumundadır [1]. Bu antropojenik kirleticiler (veya toksik maddeler) suda yaşayan birçok organizma için ciddi riskler oluşturan, su kaynaklarındaki su kalitesine zarar veren ve sonuçta çevre kirliliğine neden olan metaller, pestisitler ve diğer organik maddeleri içermektedir [1], [2].

Renklendirme amacıyla çok çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan boyalar ve boyar maddeler çevre kirliliğinin başlıca kaynağı olarak kabul edilmektedir [3]. Kimyasal yapılarına göre gruplandırılan boyalar arasında, en az bir azo ($-N=N-$) grubunun varlığı ile karakterize edilen ve organik renklendiriciler olarak oldukça büyük önem taşıyan azo boyalar, çok amaçlı bir boya sınıfı olarak kabul edilmektedir [4], [5]. Daha yüksek renk verimi ve daha iyi haslık özellikleri elde etmek için nitro, metoksi ve metil grupları gibi farklı sübstitüentler içeren çeşitli azo boyalar yaygın olarak sentezlenmekte [6]–[10] ve çeşitli alanlardaki oldukça büyük uygulama potansiyelleri nedeniyle yıllardır kullanılmaktadır [11], [12].

Tekstil, boya ve tabakhane endüstrileri büyük miktarlarda atık su tahliye eder ve bu nedenle başlıca toksik deşarj kaynaklarıdır [13], [14]. Boyama işlemleri sırasında, boyaların %10-15 kadarı çevreye salınır ve suda çözünebilen azo boyalar çok düşük konsantrasyonlarda bile atık alıcı suları yüksek oranda renklendirerek görsel bir kirliliğe neden olabilir [15]. Bu görsel kirliliğin dışında, bazı azo boyalar ve bunların biyotransformasyon ürünleri kanserojen, mutajenik ve/veya toksiktir [16]–[18]. Boyaların laboratuvar deneylerinde kullanılan indikatör organizma veya direkt olarak ekosistem üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmaların sayısı nispeten az olduğu için boyaların ekosistemdeki akıbeti ve potansiyel etkileri hakkında çok az şey bilinmektedir. Bu bağlamda azo boyalar temelli sucul toksikolojik incelemeler ve risk değerlendirme çalışmaları, çevre kirliliği konusunda mevcut projelerin geliştirilmesine ve etkili yönetsel kararların alınmasına katkıda bulunabilme potansiyeli nedeniyle büyük önem taşımaktadır.

Akut toksisite, bir kimyasala kısa süreli maruziyetin hemen ardından ortaya çıkan toksisite olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre, akut toksisiteyi oluşturan akut maruziyet ve akut etki olmak üzere iki temel bileşen vardır [16]. Akut etkiler genellikle morbidite veya mortaliteden oluşmaktadır. Bu etkilerin nicel olarak ölçülme şekillerinden birisi de bir popülasyonun bir maddeye belirli bir süre maruz kalmasından sonra o popülasyon üyelerinin %50'sinin öldüğü madde konsantrasyonudur (LC_{50}) [16], [19]. Kimyasalların çevre üzerindeki olumsuz etkileri ile ilgilenen ekotoksikolojide akut toksisite genellikle LC_{50} ile tanımlanmakta ve hesaplanan LC_{50} değerine göre kimyasalların akut toksisite bakımından sınıflandırması yapılabilmektedir [19]. Fakat LC_{50} değeri, ortamdaki belirli bir kimyasalın seviyesinin kabul edilebilir olup olmadığını göstermekten ziyade, göreceli akut toksisitenin bir göstergesi olarak kullanılmaktadır [6]. Kimyasalların sucul organizmalar üzerindeki akut toksisitesine dayalı olarak sınıflandırılmasında kullanılan 5 adet toksisite kategorisi bulunmaktadır. Bu kategorilere göre sınıflandırma yapılırken 100 mg/L'den yüksek LC_{50} değerleri pratikte toksik değil, 10 mg/L ile 100 mg/L arasındaki LC_{50} değerleri hafif derecede toksik, 1 mg/L ile 10 mg/L arasındaki LC_{50} değerleri orta derecede toksik, 0,1 mg/L ile 1 mg/L arasındaki LC_{50} değerleri yüksek derecede toksik ve son olarak 0,1 mg/L'den daha düşük LC_{50} değerleri son derecede toksik olarak değerlendirilmektedir [19].

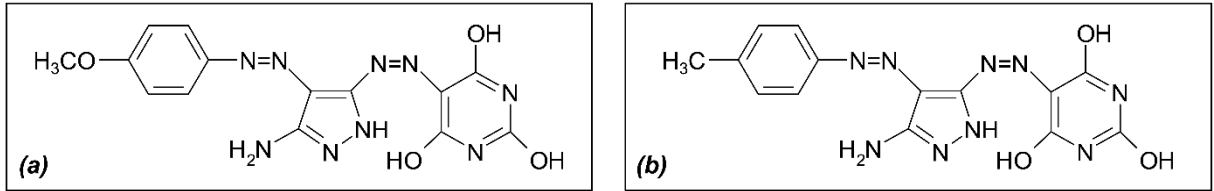
Birçok kimyasalın toksisitesinin değerlendirilebilmesi amacıyla laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ekotoksikolojik incelemelerde çeşitli omurgasız canlı grupları test organizması olarak yıllardır kullanılmaktadır. Bu omurgasız canlı grupları arasında Chironomidae familyası (Insecta: Diptera) özellikle son yıllarda ön plana çıkmıştır. Chironomidler, sucul besin zincirinde önemli bir konuma sahiptir ve birçok canlı için önemli bir besin kaynağı olarak bilinir. Bu durum, chironomidlerin çevresel ve ekonomik önemini artırmaktadır. Kısa bir hayat döngüsüne sahip, oldukça yaygın bir yayılış gösteren ve laboratuvar koşullarında kolaylıkla yetiştirilebilen bir chironomid türü olan *Chironomus riparius*'un larva safhası çevredeki farklı stres faktörlerine ve birçok kirleticiye duyarlıdır [20]. Tüm bu özelliklerinin bir sonucu olarak *C. riparius*, toksisite çalışmaları için çok uygun model bir organizma olarak kabul görmektedir [21]–[24].

Bu çalışmada, seçilen iki disazo boyanın *C. riparius* üzerindeki mortalite etkisinin incelenmesi ve akut toksisitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylelikle bu boyalara yönelik toksikolojik bilgiler elde ederek, onların doğadaki potansiyel risk durumları hakkında detaylı değerlendirmeler yapılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. TEST EDİLEN AZO BOYALAR

Bu çalışmada gerçekleştirilen maruziyet testlerinde, daha önceden sentezlenmiş ve sentezi rapor edilmiş 5-(3'-amino-4'-arilazo-1H-pirazol-5'-ilazo) barbitürik asit boyaoları olan iki disazo boya [7] kullanılmıştır. Kimyasal yapısı Şekil 1'de gösterilen bu disazo boyalardan biri metoksi grubu içeren 5-(3'-amino-4'-(4''-metoksifenilazo)-1H-pirazol-5'-ilazo) barbitürik asit (bundan sonra Boya 1 olarak adlandırılacaktır) iken, diğeri metil grubu içeren 5-(3'-amino-4'-(4''-metilfenilazo)-1H-pirazol-5'-ilazo) barbitürik asittir (bundan sonra Boya 2 olarak adlandırılacaktır).



Şekil 1. Test edilen disazo boyaoların kimyasal yapısı. (a) 5-(3'-amino-4'-(4''-metoksifenilazo)-1H-pirazol-5'-ilazo) barbitürik asit (Boya 1). (b) 5-(3'-amino-4'-(4''-metilfenilazo)-1H-pirazol-5'-ilazo) barbitürik asit (Boya 2).

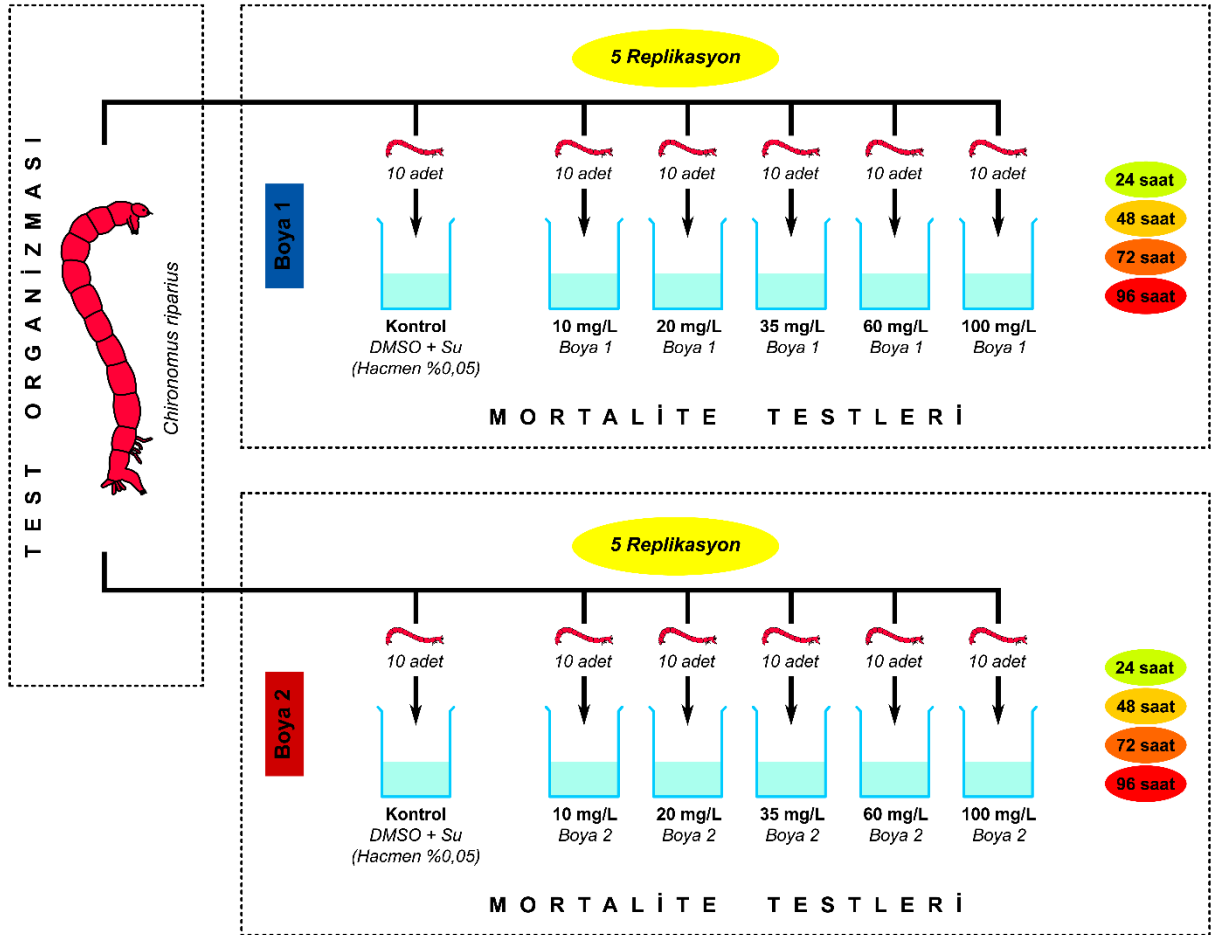
Maruziyet testleri için seçilen azo boyaoların stok solüsyonları dimetil sülfoksit (DMSO) (Merck, Almanya) yardımıyla 1000 mg/L konsantrasyonda hazırlanmış ve 4 °C'de amber şişelerde ışık görmeyecek şekilde muhafaza edilmiştir. Daha sonra bu stok solüsyonlar, maruziyet testleri için belirlenen boya konsantrasyonlarına ambalajlanmış içme suyu ile uygun şekilde seyreltilerek test solüsyonlarının son konsantrasyonları hazırlanmıştır. Ancak DMSO seviyesi hiçbir test solüsyonunda hacmen %0,05'ten daha yüksek olmamıştır. Bu sayede maruziyet testleri sırasında bu çözücünden kaynaklanan herhangi bir toksisitenin önüne geçilebilmiştir.

B. TEST ORGANİZMASI VE MARUZİYET TESTLERİ

Bu çalışmada test organizması olarak kullanılmak üzere *C. riparius* seçilmiştir. Bu omurgasız türünün nesli tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olan ve/veya korunan bir tür olmaması ve ayrıca deney hayvanı kategorisinde bulunmaması nedeniyle çalışmadaki deneylerde kullanılması için etik kurul izni alınmasına gerek kalmamıştır. Test organizmaları, başka bir çalışma için [24] Pamukkale Üniversitesi'nde oluşturulmuş olan *C. riparius* stok kültürlerinden alınmıştır. Stok kültürlerdeki

yumurta kitlelerinde bulunan larvalar yumurtadan çıktıktan yaklaşık 15 gün sonra dördüncü dönem (instar) larva haline gelmiş ve maruziyet testlerinde kullanılmıştır.

100 mL'lik cam beherlerde gerçekleştirilen mortalite testlerinde, her bir boya için 1 kontrol grubu ve 5 deney grubu oluşturulmuştur (Şekil 2). Kontrol grubu olarak ambalajlanmış içme suyu içinde hazırlanmış hacmen %0,05'lik DMSO kullanılmıştır. Maruziyet testlerinde kullanılacak konsantrasyonların belirlenmesi amacıyla her iki boya için de 1, 10 ve 100 mg/L konsantrasyonlarda 24 saatlik aralık belirleme çalışması yapılmış [19], [24] ve bu ön çalışmanın sonuçlarına göre her iki boyanın 10, 20, 35, 60 ve 100 mg/L konsantrasyonları seçilerek deney grupları olarak kullanılmıştır. Oluşturulan bu gruplara göre solüsyonları (50 mL) hazırlanmış cam beherlerin her birine, aktif ve görünüş olarak sağlıklı olan 10 adet dördüncü dönem (instar) larva rastgele seçilerek konulmuştur. Her bir maruziyet testi 5 replikasyonlu olarak ve statik test koşullarında gerçekleştirilmiştir [19], [24]. Testlere başlarken, suyun buharlaşmasını engellemek için beherlerin ağzı parafilmle kapatılmış ve test süresi boyunca kapalı tutulmuştur. Maruziyet testleri 20 ± 1 °C'de ve 12 saat aydınlık/12 saat karanlık döngüsünde 96 saat boyunca gerçekleştirilmiş ve bu süreçte larvalar beslenmemiş ve havalandırma sağlanmamıştır. Test süresi boyunca 24 saatlik aralıklarla her bir beherdeki canlı ve ölü larvalar sayılarak kayıt altına alınmıştır. Larvalar, üç kez hafif dokunmaya rağmen hareketsiz kalarak tepki vermediklerinde ölü olarak kabul edilmiş ve ölü larvalar beherden uzaklaştırılmıştır. Bir testin kontrol grubunda sağ kalım oranı %90'ın üzerindeyse o test geçerli kabul edilmiştir [19].



Şekil 2. Çalışmanın şematik gösterimi.

C. İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

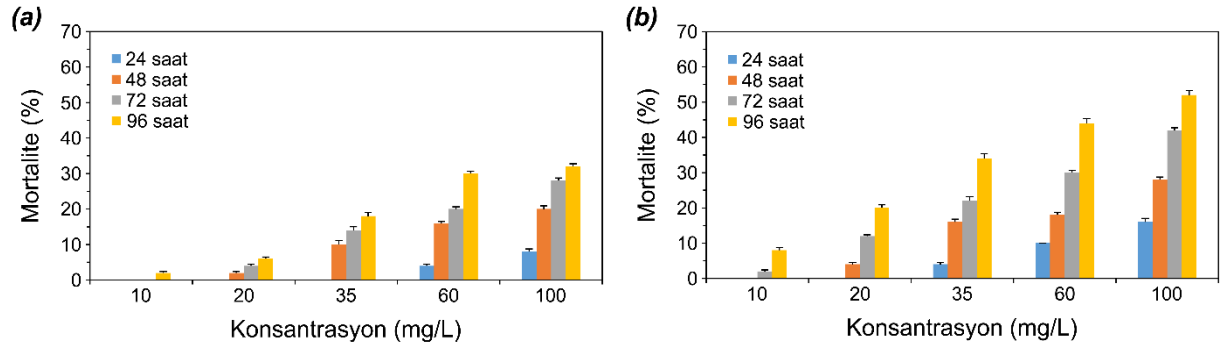
Elde edilen mortalite oranları ortalama±standart sapma olarak ifade edilmiştir. Aynı boyanın konsantrasyonları arasındaki ve maruziyet süreleri arasındaki mortalite farklılıkları tek yönlü varyans

analizi (one-way ANOVA) ile analiz edilmiş ve anlamlı farklılık olması durumunda bu farklılıkların hangi konsantrasyonlar ve hangi maruziyet süreleri arasında bulunduğunu tespit etmek için de Fisher'in en küçük anlamlı farklar (Fisher's LSD) metodu uygulanmıştır. İki boyanın mortalite oranlarındaki farklılıklar bağımsız iki örnek *t*-testi (2-sample *t*-test) ile incelenmiştir. Her bir boya için, mortalite ile boya konsantrasyonu ve maruziyet süresi arasındaki korelasyonlar Pearson korelasyon metodu ile test edilmiş ve korelasyon katsayıları (*r*) belirlenmiştir. Mortalite (bağımlı değişken) ile maruziyet süresi ve konsantrasyon (bağımsız değişkenler) arasındaki ilişkiyi modellemek amacıyla her bir boya için çoklu regresyon analizi uygulanmış ve bağımsız değişkenin/değişkenlerin bağımlı değişkendeki varyasyonu açıklayabilme oranı olarak bilinen belirleme katsayısı (*r*²) tespit edilmiştir. Tüm bu istatistiksel analizler Minitab 19 (Minitab Inc., State College, PA) paket programında gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel anlamlılık değeri (*p*) 0,05 olarak belirlenmiş ve bu değerin altındaki tüm *p* değerleri istatistiksel açıdan anlamlı olarak kabul edilmiştir.

Ayrıca her bir boya için, gerçekleştirilen 5 replikasyonlu *C. riparius* maruziyet testlerinden elde edilen ortalama mortalite oranları kullanılarak, farklı maruziyet sürelerindeki (24, 48, 72 ve 96 saat) LC₅₀ değerleri ve bunların %95 güven sınırları SPSS 21 (SPSS Inc., Chicago, IL) paket programında probit analizi metodu ile hesaplanmıştır.

III. BULGULAR

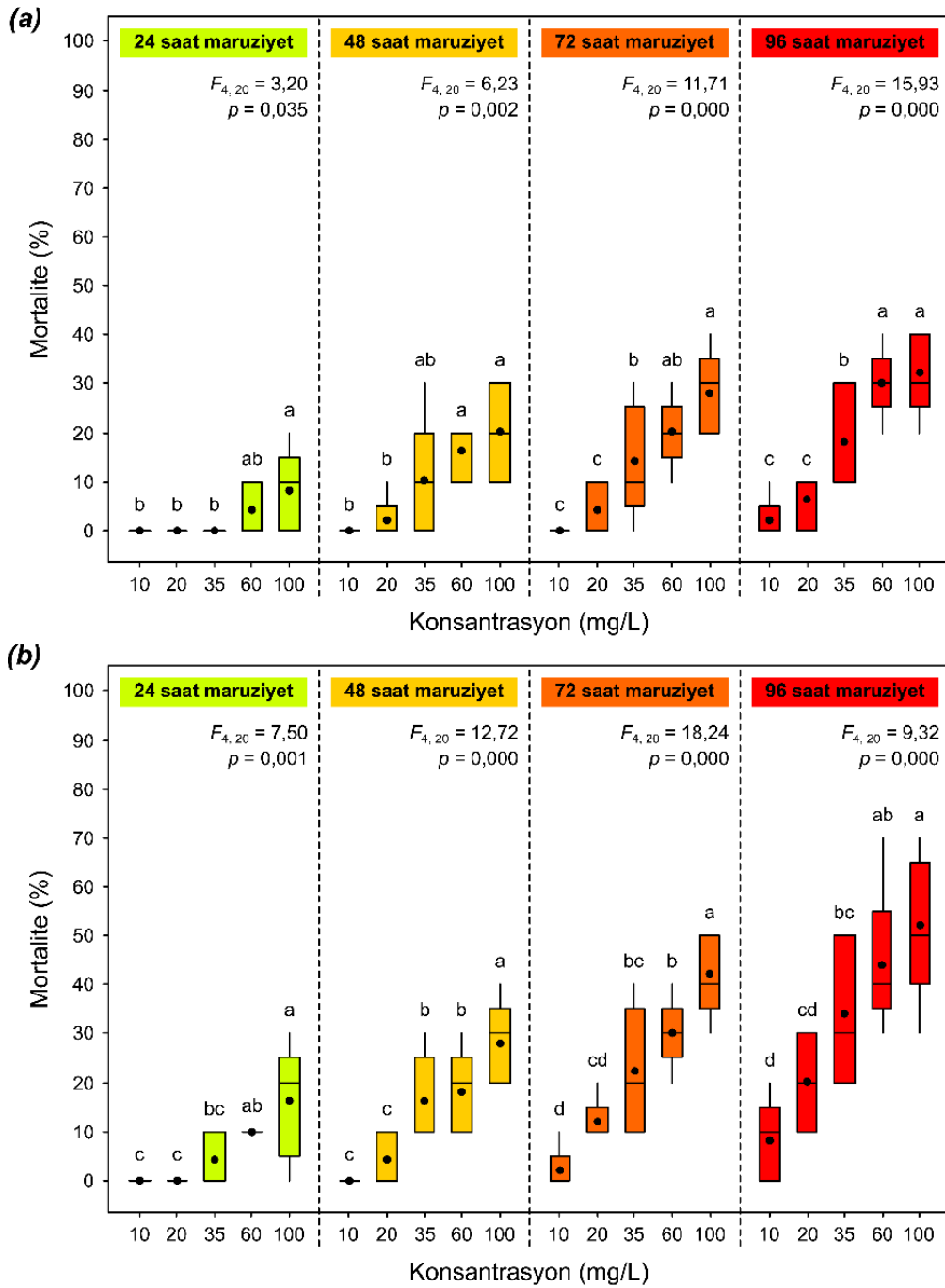
Maruziyet deneylerindeki test süresi boyunca kontrol gruplarının tamamındaki *C. riparius* sağ kalım oranı %100 olarak tespit edilmiş ve bu nedenle de tüm testler geçerli kabul edilmiştir. Test süresi boyunca mortalite oranları Boya 1 için %0 ile %40 arasında, Boya 2 içinse %0 ile %70 arasında değişmiştir. Boyaların farklı konsantrasyonlardaki ortalama *C. riparius* mortalite oranları Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Test edilen disazo boyalar Boya 1'in (a) ve Boya 2'nin (b) farklı konsantrasyonlarının farklı maruziyet sürelerinde *C. riparius* mortalitesi üzerine etkileri.

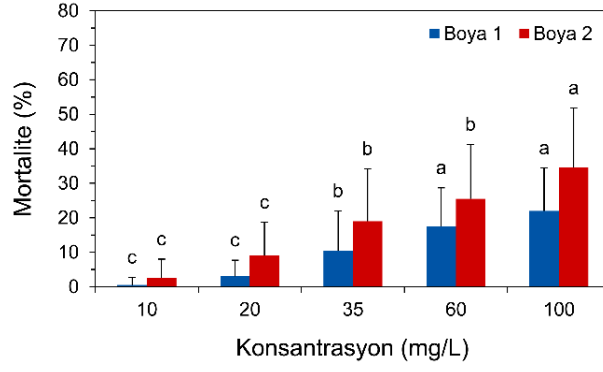
A. KONSANTRASYON DEĞERLENDİRMELERİ

Eş maruziyet sürelerinde boya konsantrasyonlarının sebep olduğu *C. riparius* mortaliteleri istatistiksel olarak incelendiğinde her iki boya için de tüm maruziyet sürelerinde farklı boya konsantrasyonlarında gözlenen mortalite oranlarının istatistiksel açıdan farklı olduğu belirlenmiştir (*p*<0,05) (Şekil 4). Buna göre Boya 1 ve Boya 2'nin yüksek konsantrasyonlarının düşük konsantrasyonlarına kıyasla istatistiksel açıdan önemli ölçüde daha yüksek mortalite oranlarına sahip olduğu bulunmuştur (Şekil 4a ve b).



Şekil 4. Boya 1 (a) ve Boya 2 (b) için farklı konsantrasyonların eş maruziyet sürelerindeki *C. riparius* mortalite oranları. Grafiklerde kutudaki siyah nokta ortalama, yatay çizgi medyanı, kutunun alt ve üst sınırları sırasıyla 25. ve 75. persentil değerlerini, kutunun altındaki ve üstündeki dikey çizgiler ise dağılım aralığını göstermektedir. Tek yönlü ANOVA testinin istatistiksel sonuçları grafiklere dahil edilmiştir. Bir maruziyet süresi içerisinde farklı harfler konsantrasyonlar arasındaki istatistiksel açıdan anlamlı mortalite farklılıklarını ifade etmektedir ($p < 0,05$).

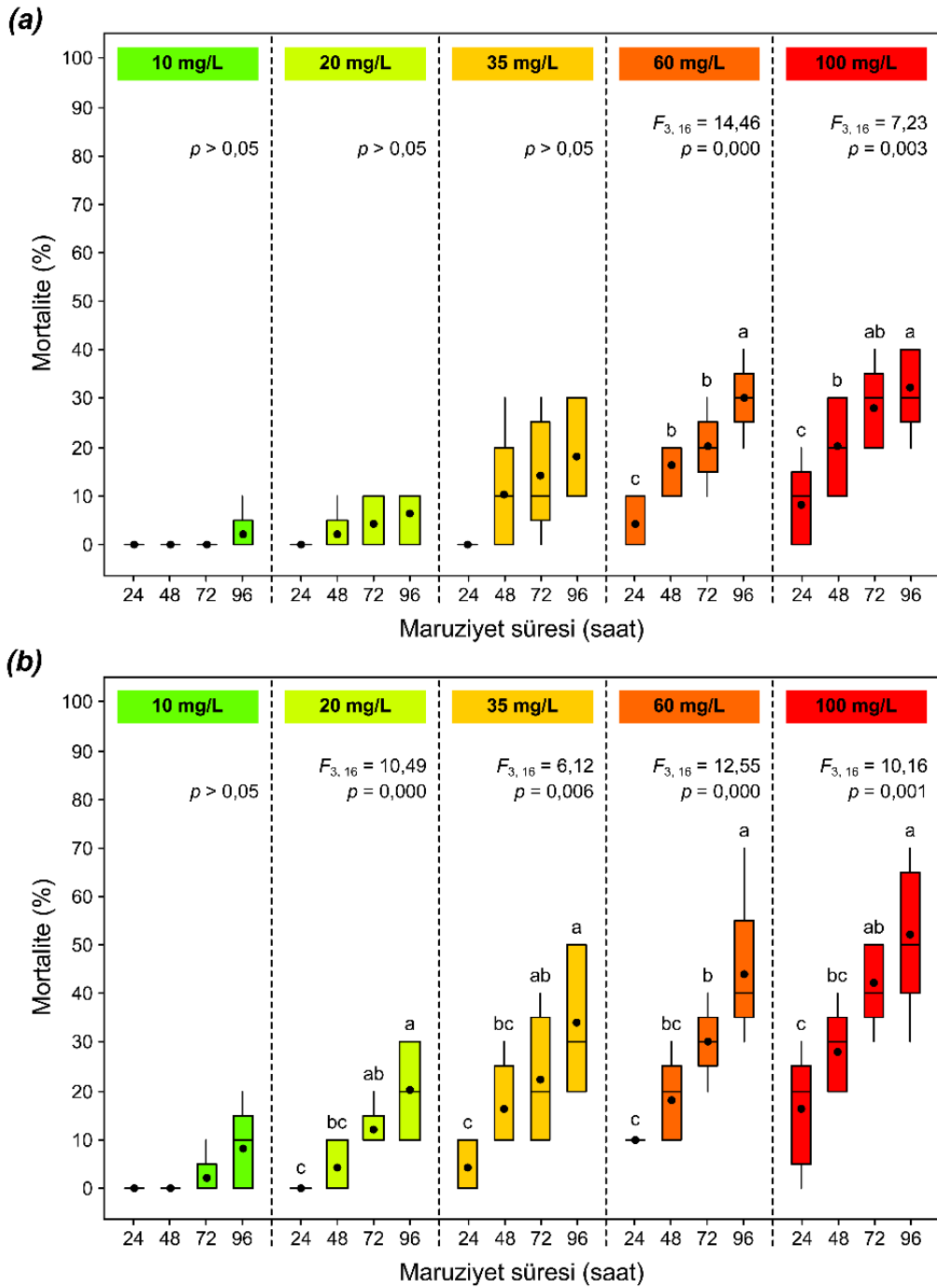
Boya konsantrasyonlarındaki ortalama *C. riparius* mortaliteleri istatistiksel olarak incelendiğinde her iki boya için de farklı konsantrasyonlarda elde edilen mortalite oranları arasında anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir (Boya 1 için $F_{4,95}=19,29$; $p < 0,001$ ve Boya 2 için $F_{4,95}=18,05$; $p < 0,001$). Buna göre Boya 1 için en yüksek mortalite oranı 100 ve 60 mg/L konsantrasyonlarda (sırasıyla $22 \pm 12,40$ ve $17,5 \pm 11,18$), Boya 2 için ise 100 mg/L konsantrasyonda ($34,5 \pm 17,31$) gözlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Test edilen boya ların farklı konsantrasyonlardaki ortalama *C. riparius* mortalite oranları. Grafikte standart sapma değ erleri de gösterilmektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler aynı boyanın konsantrasyonları arasındaki istatistiksel mortalite oranı farklılıklarını ifade etmektedir ($p < 0,05$).

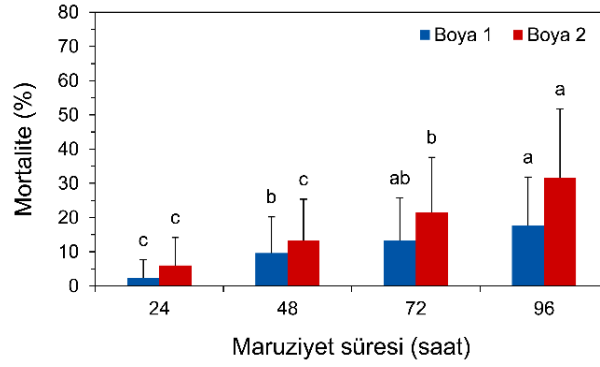
B. MARUZİYET SÜRESİ DEĞERLENDİRMELERİ

Eş konsantrasyonlarda maruziyet sürelerinin *C. riparius* mortaliteleri istatistiksel olarak incelendiğinde Boya 1 için sadece 60 ve 100 mg/L konsantrasyonlarda, Boya 2 için ise 10 mg/L dışındaki tüm konsantrasyonlarda farklı maruziyet sürelerinde gözlenen mortalite oranlarının istatistiki bakımdan farklı olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,01$) (Şekil 6). Buna göre Boya 1'in özellikle yüksek konsantrasyonlarda (60 ve 100 mg/L) uzun maruziyet sürelerinin daha kısa maruziyetlere kıyasla istatistiksel açıdan önemli ölçüde daha yüksek mortalite oranları ile sonuçlandığı belirlenmiştir (Şekil 6a). Boya 2 için de aynı durum geçerlidir ancak söz konusu durum 20 mg/L gibi düşük sayılabilecek bir boya konsantrasyonundan itibaren gözlenmiştir (Şekil 6b).



Şekil 6. Boya 1 (a) ve Boya 2 (b) için farklı maruziyet sürelerinin eş konsantrasyonlardaki *C. riparius* mortalite oranları. Grafiklerde kutudaki siyah nokta ortalamayı, yatay çizgi medyanyı, kutunun alt ve üst sınırları sırasıyla 25. ve 75. persentil değerlerini, kutunun altındaki ve üstündeki dikey çizgiler ise dağılım aralığını göstermektedir. Tek yönlü ANOVA testinin istatistiksel sonuçları grafiklere dahil edilmiştir. Bir konsantrasyon içerisindeki farklı harfler maruziyet süreleri arasındaki istatistiksel açıdan anlamlı mortalite farklılıklarını ifade etmektedir ($p < 0,05$).

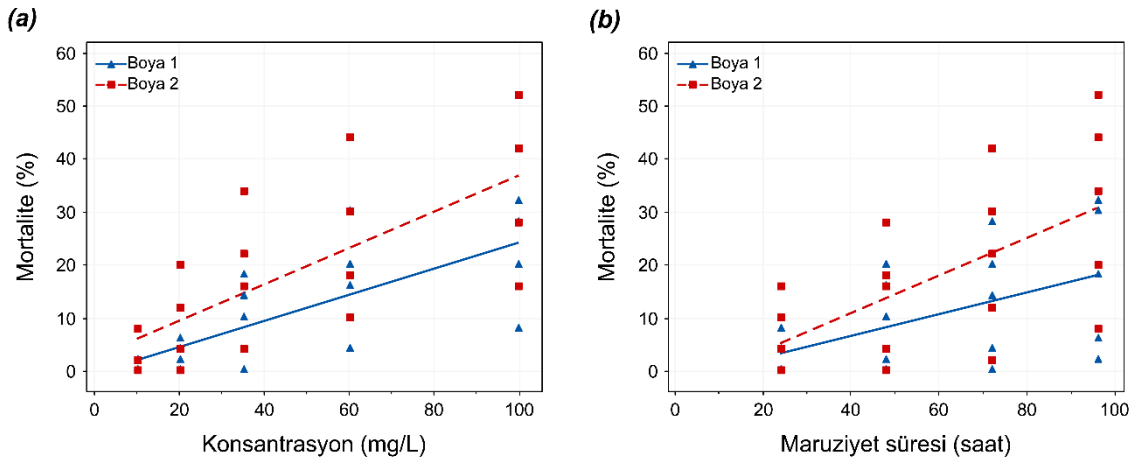
Maruziyet sürelerindeki ortalama *C. riparius* mortaliteleri istatistiksel olarak incelendiğinde her iki boya için de farklı maruziyet sürelerinde elde edilen mortalite oranları arasında anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir (Boya 1 için $F_{3,96}=8,30$; $p < 0,001$ ve Boya 2 için $F_{3,96}=13,89$; $p < 0,001$). Buna göre en yüksek mortalite oranı her iki boya için de 96 saatlik maruziyet süresinde (Boya 1 için $\%17,60 \pm 14,22$ ve Boya 2 için $\%31,60 \pm 20,14$) gözlenmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Test edilen boyaaların farklı maruziyet sürelerindeki ortalama *C. riparius* mortalite oranları. Grafikte standart sapma değerleri de gösterilmektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler aynı boyanın maruziyet süreleri arasındaki istatistiksel mortalite farklılıklarını ifade etmektedir ($p < 0,05$).

C. MORTALİTE İLE KONSANTRASYON VE MARUZİYET SÜRESİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Test edilen boyaaların mortalite ile konsantrasyon ve maruziyet süresi arasındaki korelasyonları test etmek için gerçekleştirilen analizler, her iki boyanın mortalitesi ile konsantrasyon ve maruziyet süresi arasında istatistiki bakımdan anlamlı korelasyonlar olduğunu göstermiştir ($p < 0,05$). Buna göre boya konsantrasyonunda ve maruziyet süresinde meydana gelen artışların mortalitede artışa sebep olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 8). Ancak Boya 2 için mortalite ve maruziyet süresi arasında kısmen güçlü bir korelasyon olduğu bulunurken ($r = 0,610$; $p < 0,01$), Boya 1 için orta derece bir korelasyon olduğu saptanmıştır ($r = 0,520$; $p < 0,05$). Mortalite ve boya konsantrasyonu arasındaki korelasyonun ise her iki boya için güçlü olduğu belirlenmiştir (Boya 1 için $r = 0,748$; $p < 0,001$ ve Boya 2 için $r = 0,715$; $p < 0,001$). Gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi, her iki boya için de bağımlı değişken olarak düşünülen mortalite ile bağımsız değişken olarak düşünülen hem boya konsantrasyonu hem de maruziyet süresi arasında istatistiki bakımdan anlamlı ilişki olduğunu göstermiştir ($p < 0,001$). Belirlenen modellere göre r^2 değerlerinin her iki boya için de 0,83'ten büyük olduğu bulunmuştur (Boya 1 için $r^2 = 0,831$ ve Boya 2 için $r^2 = 0,893$). Buna göre Boya 1 için bağımsız değişkenler mortalitede meydana gelen değişimin %83,1'ini, Boya 2 için ise %89,3'ünü açıklayabilmektedir.



Şekil 8. Test edilen boyaaların mortalitesi ile konsantrasyon (a) ve maruziyet süresi (b) arasındaki korelasyon.

D. BOYALARIN MORTALİTE FARKLILIKLARI

Test edilen boyaaların *C. riparius*'ta neden olduğu mortalite oranları istatistiksel olarak analiz edildiğinde, her ne kadar eş maruziyet sürelerinde Boya 2'nin mortalite oranı Boya 1'inkinden daha

fazla olsa da 24 ve 48 saat maruziyetlerde iki boyanın mortalite oranları arasında anlamlı farklılıklar bulunmadığı ($p>0,05$), fakat 72 ve 96 saat maruziyetlerde Boya 2'nin Boya 1'e göre istatistiki bakımdan daha yüksek mortaliteye sebep olduğu belirlenmiştir ($p<0,05$) (Tablo 1). Boyaların genel mortalite oranları kıyaslandığındaysa, 72 ve 96 saat maruziyet sürelerindeki duruma benzer şekilde, Boya 2'nin sahip olduğu mortalite oranının ($18,10\pm 17,45$) Boya 1'ine ($10,70\pm 12,33$) göre istatistiki bakımdan daha yüksek olduğu saptanmıştır ($p<0,01$) (Tablo 1).

Tablo 1. Test edilen boyaların genel ve eş maruziyet sürelerindeki *C. riparius* mortalite oranları (ortalama±standart sapma) ile boyaların mortalitelerinin karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilen bağımsız iki örnek t-testine ilişkin sonuçlar.

Maruziyet süresi	Mortalite oranları (%)		t-testi sonuçları		
	Boya 1	Boya 2	t	sd	p
24 saat	2,40±5,23	6,00±8,16	-	-	>0,05
48 saat	9,60±10,60	13,20±12,15	-	-	>0,05
72 saat	13,2±12,49	21,60±15,99	2,07	45	0,044
96 saat	17,60±14,22	31,60±20,14	2,84	43	0,007
Genel	10,70±12,33	18,10±17,45	3,46	178	0,001

E. BOYALARIN AKUT TOKSİSİTELERİ

Maruziyet testlerindeki *C. riparius* mortalite verileri kullanılarak 24, 48, 72 ve 96 saat maruziyet sürelerindeki LC_{50} değerleri ve bunların %95 güven sınırları başarılı bir şekilde belirlenebilmiştir (Tablo 2). Her iki boya için de maruziyet süresinin artmasıyla LC_{50} değerinde bir azalma, dolayısıyla da akut toksisitede bir artış gözlenmiştir. 24, 48, 72 ve 96 saat maruziyet sürelerinde Boya 2, Boya 1'den sırasıyla 1,39; 1,42; 1,84 ve 2,16 kat daha toksik bulunmuş ve dolayısıyla da Boya 2'nin *C. riparius* için tüm maruziyet sürelerinde Boya 1'e göre daha toksik olduğu tespit edilmiştir. Boyaların LC_{50} değerleri üzerinden yapılan toksisite karşılaştırması maruziyet süresinin uzamasına paralel olarak Boya 2'nin akut toksisitesinde Boya 1'e göre daha fazla bir artış olduğunu göstermiştir.

Tablo 2. Test edilen boyaların *C. riparius* için farklı maruziyet sürelerindeki LC_{50} değerleri ve %95 güven sınırları (parantez içi).

Maruziyet süresi	LC_{50} değeri (mg/L)	
	Boya 1	Boya 2
24 saat	195,45 (122,28-1177,55)	140,16 (97,71-258,10)
48 saat	112,20 (76,50-184,36)	79,02 (53,87-113,72)
72 saat	77,66 (54,27-108,64)	42,29 (28,38-54,34)
96 saat	56,76 (40,24-73,25)	26,33 (10,08-35,82)

IV. TARTIŞMA

Boya içeren atıkların genellikle sulara deşarj edilmesi nedeniyle [25] azo boyalar çevresel anlamda endişe kaynağıdır [6]. Çünkü azo boyaların bazılarının toksik, mutajenik ve kanserojen özelliklerinin olması bu boyaların boya içeren endüstriyel atıklar ile çevreye salınmasının büyük bir sorun haline gelmesine neden olmaktadır [25]. Bu bağlamda azo boyaların mortalite etkisinin ve toksisitesinin değerlendirilmesi hem çevre hem de maruz kalan organizmalar üzerindeki çeşitli etkileri nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Nitekim bazı azo boyaların suda yaşayan organizmalara karşı toksisitesinin incelendiği bazı çalışmalar azo boyaların toksisitesinin değerlendirilmesinin önemini gözler önüne sermektedir [6], [16], [18], [24], [26].

Bu çalışmada konsantrasyon ve maruziyet süresi gruplarının karşılaştırılması sonucu, test edilen her iki boya için de yüksek konsantrasyonlarda ve uzun maruziyet sürelerinde daha yüksek mortalite oranları

tespit edilmiştir. Ayrıca bu sonuç, her iki boya için de mortalite ile boya konsantrasyonu ve maruziyet süresi arasında bulunan pozitif korelasyonlar tarafından da desteklenmektedir. Nitekim gerçekleştirilen çoklu regresyon analizinde bağımsız değişkenler olarak hem boya konsantrasyonunun hem de maruziyet süresinin boyanın neden olduğu mortalite oranı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan boyaların genel mortalite oranları kıyaslandığında Boya 2'nin *C. riparius* üzerinde Boya 1'den daha yüksek mortalite etkisine sahip olduğu, boyaların eş maruziyet sürelerindeki mortalite oranları kıyaslandığında ise 72 ve 96 saat maruziyet sürelerinde yine Boya 2'nin *C. riparius* üzerinde Boya 1'den daha yüksek mortalite etkisine sahip olduğu bulunmuştur. Tüm bu istatistiksel analizler neticesinde elde edilen bulgular göz önünde bulundurulduğunda, Boya 2'nin yapısında sübstitüent olarak bulunan metil grubunun organizmalar üzerinde Boya 1'in yapısındaki metoksi grubuna kıyasla daha fazla mortalite etkisine sebep olma potansiyeline sahip olduğu ve Boya 2'nin sucül ekosistemlerde yüksek konsantrasyonlarda uzun süreli bulunmasının bu ekosistemler için kayda değer bir tehdit oluşturabileceği sonucuna varılmıştır. Azo boyaların toksik özelliklerinin boya yapısında bulunan sübstitüentlerin çeşidine ve doğasına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir [6], [24], [27]. Fakat bu ve benzeri yapıdaki boyaların doğadaki gerçek risk durumlarının kesin bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi ve tam anlamıyla bir risk değerlendirmesi için onların doğadaki konsantrasyonlarının belirlenmesi gerekir.

Mortalite etkilerinin yanı sıra, bu çalışmada test edilen iki boya farklı maruziyet süreleri için hesaplanan LC₅₀ değerlerine göre akut toksisite kategorileri doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Buna göre Boya 1, 24 ve 48 saat maruziyetlerde pratikte toksik değilken (LC₅₀>100 mg/L), 72 ve 96 saat maruziyetlerde hafif derecede toksiktir (10 mg/L<LC₅₀≤100 mg/L). Boya 2 ise 24 saat maruziyette pratikte toksik değilken (LC₅₀>100 mg/L), 48, 72 ve 96 saat maruziyetlerde hafif derecede toksiktir (10 mg/L<LC₅₀≤100 mg/L). Ancak bu sınıflandırmanın sadece akut letal etkiler için geçerli olduğu ve letal olmayan konsantrasyonlara kronik maruziyetin de sucül organizmalar için tehlike oluşturabildiği gerçeği unutulmamalıdır. LC₅₀ değerleri üzerinden yapılan akut toksisite değerlendirmeleri, tüm maruziyet sürelerinde Boya 2'nin akut toksisitesinin Boya 1'e göre daha yüksek olduğunu ve maruziyet süresi uzadıkça Boya 2'nin akut toksisitesinde Boya 1'e göre daha fazla bir artış gerçekleştiğini göstermiştir.

Literatürde metoksi ve metil gruplarının birbirine göre veya başka sübstitüentlere göre *C. riparius* üzerindeki mortalite etkisinin ve LC₅₀ değerlerinin karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmadığı için bu çalışmada *C. riparius* için elde edilen bulguların karşılaştırılması mümkün olamamıştır. Ancak *G. roeseli* üzerinde yapılan 48 saatlik bir boya toksisitesi değerlendirme çalışmasında metil grubu içeren boyanın metoksi grubu içeren boyaya göre daha yüksek mortalite oranına dolayısıyla her iki maruziyet süresinde de (24 ve 48 saat) daha yüksek LC₅₀ değerine sahip olduğu bulunmuştur [6]. Her ne kadar kullanılan test organizmaları ve test edilen boyalar farklı olsa da *C. riparius* ile gerçekleştirilen mevcut çalışmada metil ve metoksi gruplarını içeren iki boyanın gösterdiği genel toksisitenin şekli *G. roeseli* ile gerçekleştirilen söz konusu çalışmada metil ve metoksi gruplarını içeren iki boyanın gösterdiği ile benzerdir. Bu noktada, metil grubu içeren Boya 2'nin metoksi grubu içeren Boya 1'e kıyasla daha toksik olmasının nedenlerini açıklama ihtiyacı doğmasına karşın mevcut çalışma bunun için yeterli değildir. Dolayısıyla, bu sübstitüentlerin *C. riparius* üzerindeki etkileri ve etki mekanizmaları ile *C. riparius*'un bu etkilere karşı verdiği cevapların özellikle moleküler düzeyde incelenmesi, söz konusu toksisitenin nedenlerinin açıklanmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca toksisitenin genellikle azo boyanın kendisinden değil, parçalanma ürünlerinden kaynaklandığı düşünüldüğünde [28], bu iki boyanın parçalanma ürünlerinin daha ileri çalışmalarda incelenmesi yerinde olacaktır.

V. SONUÇ

Mortalite değerlendirmeleri neticesinde Boya 2'nin organizmalar üzerinde Boya 1'e kıyasla daha fazla mortalite etkisine sebep olma potansiyeline sahip olduğu ve sucül ekosistemlerde yüksek konsantrasyonlarda uzun süreli bulunmasının bu ekosistemler için kayda değer bir tehdit oluşturabileceği sonucuna varılmıştır. Yapılan toksisite sınıflandırmasında Boya 1'in, 24 ve 48 saat maruziyetlerde pratikte toksik değilken 72 ve 96 saat maruziyetlerde hafif derecede toksik olduğu, Boya 2'nin ise 24 saat maruziyette pratikte toksik değilken 48, 72 ve 96 saat maruziyetlerde hafif derecede

toksik olduğu bulunmuştur. Mortalite etkisi ve toksisitedeki bu farklılıkların boya yapısında bulunan sübstitüentlerin farklı olmasından kaynaklanabileceği söylenebilir. Gerçekleştirilen bu çalışma, yapısında metoksi ve metil grubu içeren azo boyaların *C. riparius* üzerindeki mortalite etkisi ve akut toksisitesi ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır. Ancak daha kapsamlı ekotoksikolojik değerlendirmeler yapabilmek için bu ve benzeri yapıdaki azo boyaların ve bozunma ürünlerinin farklı organizmalar üzerindeki etkilerini ve etki mekanizmalarını moleküler düzeyde inceleyecek ve sucul ortamlardaki gerçek konsantrasyonlarını belirleyecek çalışmalara ihtiyaç olduğu da bir gerçektir.

TEŞEKKÜR: Çalışmada test edilen boyları sağlayan Doç. Dr. Aykut DEMİRÇALI'ya çok teşekkür ederim. Bu çalışma herhangi bir kurum ya da kuruluştan maddi destek almamıştır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] I. Bashir, F. A. Lone, R. A. Bhat, S. A. Mir, Z. A. Dar, and S. A. Dar, “Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems,” *Bioremediation Biotechnol. Sustain. Approaches to Pollut. Degrad.*, pp. 1–26, 2020.
- [2] G. R. Scott and K. A. Sloman, “The effects of environmental pollutants on complex fish behaviour: Integrating behavioural and physiological indicators of toxicity,” *Aquat. Toxicol.*, vol. 68, no. 4, pp. 369–392, 2004.
- [3] N. C. Yildirim and M. Yaman, “The usability of oxidative stress and detoxification biomarkers in *Gammarus pulex* for ecological risk assessment of textile dye methyl orange,” *Chem. Ecol.*, vol. 35, no. 4, pp. 319–329, 2019.
- [4] P. F. Gordon and P. Gregory, “Azo Dyes,” in *Organic Chemistry in Colour*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1987, pp. 95–162.
- [5] H. Zollinger, *Color chemistry: syntheses, properties, and applications of organic dyes and pigments*, 3rd rev. Weinheim: Verlag Helvetica Chimica Acta and Wiley-VCH, 2003.
- [6] A. Demirçalı, F. Karcı, and F. Sari, “Synthesis and absorption properties of five new heterocyclic disazo dyes containing pyrazole and pyrazolone and their acute toxicities on the freshwater amphipod *Gammarus roeselii*,” *Color. Technol.*, vol. 137, no. 3, pp. 280–291, 2021.
- [7] A. Demirçalı, “5-(3'-Amino-4'-arilazo-1H-pirazol-5'-il azo) barbitürik asit boyarmaddelerin sentezi ve spektroskopik özelliklerinin incelenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 24, no. 7, pp. 1293–1297, 2018.
- [8] A. Demirçalı, “Novel heterocyclic disazo dyes containing pyrazole and phenylpyrazole. part 1: Synthesis, characterization, solvent polarity and acid-base sensitive characteristics,” *J. Mol. Struct.*, vol. 1231, p. 129960, 2021.
- [9] F. Yıldırım, A. Demirçalı, F. Karcı, A. Bayrakdar, P. T. Taşlı, and H. H. Kart, “New coumarin-based disperse disazo dyes: Synthesis, spectroscopic properties and theoretical calculations,” *J. Mol. Liq.*, vol. 223, pp. 557–565, 2016.
- [10] F. Yıldırım, “3-amino-5-hidroksi-1H-pirazol bazlı bazı yeni disazo boyarmaddelerinin sentezi ve spektroskopik özellikleri,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edeb. Fakültesi Fen Derg.*, vol. 16, no. 1, pp. 189–199, 2021.

- [11] M. T. Gabr, N. S. El-Gohary, E. R. El-Bendary, M. M. El-Kerdawy, N. Ni, and M. I. Shaaban, "Synthesis, antimicrobial, antiquorum-sensing and cytotoxic activities of new series of benzothiazole derivatives," *Chinese Chem. Lett.*, vol. 26, no. 12, pp. 1522–1528, 2015.
- [12] A. K. El-Damasy, J. H. Lee, S. H. Seo, N. C. Cho, A. N. Pae, and G. Keum, "Design and synthesis of new potent anticancer benzothiazole amides and ureas featuring pyridylamide moiety and possessing dual B-RafV600E and C-Raf kinase inhibitory activities," *Eur. J. Med. Chem.*, vol. 115, pp. 201–216, 2016.
- [13] S. H. Lin and C. F. Peng, "Treatment of textile wastewater by electrochemical method," *Water Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 277–282, 1994.
- [14] Y. Verma, "Toxicity assessment of dye containing industrial effluents by acute toxicity test using *Daphnia magna*," *Toxicol. Ind. Health*, vol. 27, no. 1, pp. 41–49, 2011.
- [15] R. Anliker, "Color chemistry and the environment," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 1, no. 2, pp. 211–237, Sep. 1977.
- [16] J. S. Bae and H. S. Freeman, "Aquatic toxicity evaluation of new direct dyes to the *Daphnia magna*," *Dye. Pigment.*, vol. 73, no. 1, pp. 81–85, 2007.
- [17] R. O. Alves de Lima, A. P. Bazo, D. M. F. Salvadori, C. M. Rech, D. de Palma Oliveira, and G. de Aragão Umbuzeiro, "Mutagenic and carcinogenic potential of a textile azo dye processing plant effluent that impacts a drinking water source," *Mutat. Res. - Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.*, vol. 626, no. 1–2, pp. 53–60, Jan. 2007.
- [18] E. R. A. Ferraz, M. D. Grando, and D. P. Oliveira, "The azo dye Disperse Orange 1 induces DNA damage and cytotoxic effects but does not cause ecotoxic effects in *Daphnia similis* and *Vibrio fischeri*," *J. Hazard. Mater.*, vol. 192, no. 2, pp. 628–633, 2011.
- [19] E. Zucker, "Hazard Evaluation Division Standard Evaluation Procedure: Acute Toxicity Test for Freshwater Invertebrates," *US Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Programs*, Washington, DC, 1985.
- [20] P. V. Michailova, "Rearrangements in Chironomidae (Diptera) genomes induced by various environmental stress factors," *Russ. J. Genet. Appl. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 10–20, 2011.
- [21] M. de la Fuente, R. M. Folgar, P. Martínez-Paz, E. Cortés, J. L. Martínez-Guitarte, and M. Morales, "Effect of environmental stressors on the mRNA expression of ecdysone cascade genes in *Chironomus riparius*," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2021.
- [22] R. Planelló, Ó. Herrero, P. Gómez-Sande, I. Ozáez, F. Cobo, and M. J. Servia, "Ecdysone-related biomarkers of toxicity in the model organism *Chironomus riparius*: Stage and sex-dependent variations in gene expression profiles," *PLoS One*, vol. 10, no. 10, p. e0140239, Oct. 2015.
- [23] H. B. Doria and M. Pfenninger, "A multigenerational approach can detect early Cd pollution in *Chironomus riparius*," *Chemosphere*, vol. 262, p. 127815, Jan. 2021.
- [24] A. Sari and F. Sari, "A comparative examination of acute toxicities of three disazo dyes to freshwater macroinvertebrates *Gammarus roeseli* (Crustacea: Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Insecta: Diptera)," *Chem. Ecol.*, vol. 37, no. 8, pp. 683–703, 2021.
- [25] B. D. C. Ventura-Camargo and M. A. Marin-Morales, "Azo Dyes: Characterization and Toxicity— A Review," *Text. Light Ind. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 85–103, 2013.

[26] M. Hernández-Zamora and F. Martínez-Jerónimo, "Exposure to the azo dye Direct blue 15 produces toxic effects on microalgae, cladocerans, and zebrafish embryos," *Ecotoxicology*, vol. 28, no. 8, pp. 890–902, 2019.

[27] E. R. A. Ferraz et al., "Differential toxicity of Disperse Red 1 and Disperse Red 13 in the Ames test, HepG2 cytotoxicity assay, and Daphnia acute toxicity test," *Environ. Toxicol.*, vol. 26, no. 5, pp. 489–497, Oct. 2011.

[28] A. Bafana, S. S. Devi, and T. Chakrabarti, "Azo dyes: Past, present and the future," *Environ. Rev.*, vol. 19, no. 1, pp. 350–370, 2011.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Optimization of Hybrid Sonophotocatalytic Decolorization of Rhodamine B (RhB) Dye Using TiO₂ Nanocatalyst

 Gamze DOĞDU^{a,*}

^aÇevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: gamzedogdu@ibu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1022337

ABSTRACT

Rhodamine B (RhB) dye is studied as target pollutant in this work due to its various adverse effects on skin, gastrointestinal and respiration systems. In the present study, decolorization of RhB dye by sonophotocatalysis (SPC) method in a synthetic aqueous solution was investigated using a hybrid laboratory-scale, batch-mode reactor system with a pure, nano-sized catalyst under ultraviolet A (UVA) light (~365 nm) irradiation for 90 minutes. To achieve maximum RhB decolorization, independent parameters which were TiO₂ concentration (0.5 to 2.5 g/L), initial pH (2 to 10) and concentration of RhB (10 to 50 mg/L), were chosen in this method. The three-level Box-Behnken factorial design (BBD) was selected to carry out the optimization method. The finding results presented that TiO₂ concentration of 0.5 g/L, pH 2, and an initial RhB concentration of 15.25 mg/L were optimum parameters to achieve maximum RhB decolorization. Further, lamp type, lamp electrical power, and adding H₂O₂ that could affect the removal efficiency were investigated as a first time. Based on ANOVA analysis, concentration of RhB stated the most significant effects followed by pH and TiO₂ concentration on the model. A good compliance between experimental results and predictive values were obtained by the regression analysis for the model with R² value of 0.9902. The results showed that the Langmuir–Hinshelwood (L-H) model could clarify the SPC process well, where k_c and K_{LH} were 0.941 mg/Lmin and 0.129 L/mg, respectively.

Keywords: Rhodamine B (RhB), Sonophotocatalysis (SPC), Box Behnken design (BBD), Hybrid system, Decolorization

TiO₂ Nanokatalizörü Kullanarak Rodamin B (RhB) Boyasının Hibrit Sonofotokatalitik Renk Giderimi Optimizasyonu

Öz

Rhodamine B (RhB) boyası, cilt, gastrointestinal ve solunum sistemleri üzerindeki çeşitli olumsuz etkileri nedeniyle bu çalışmada hedef kirletici olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, sentetik sulu bir solüsyonda RhB boyasının sonofotokataliz (SFK) metoduyla renk giderimi, ultraviyole A (UVA) ışığı (~365 nm) altında 90 dakikada, saf, nano boyutlu bir katalizörle hibrit laboratuvar ölçekli, kesikli mod reaktör sistemi kullanılarak araştırılmıştır. Maksimum RhB renk giderimi elde etmek için, bu yöntemde TiO₂ konsantrasyonu (0.5 ila 2.5 g/L), başlangıç pH'ı (2 ila 10) ve RhB konsantrasyonu (10 ila 50 mg/L) olan bağımsız parametreler seçilmiştir. Optimizasyon sürecini gerçekleştirmek için üç seviyeli Box-Behnken faktöriyel tasarımı (BBD) seçilmiştir. Bulunan sonuçlar, 0.5 g/L TiO₂ konsantrasyonu, pH 2 ve 15.25 mg/L başlangıç RhB konsantrasyonunun maksimum RhB renk giderimi elde etmek için optimum parametreler olduğunu göstermiştir. Ayrıca ilk defa lamba tipi, lamba elektrik gücü ve giderim verimini etkileyebilecek H₂O₂ ilavesi incelenmiştir. ANOVA analizine göre, model üzerinde RhB konsantrasyonu en önemli etkiye sahipken, bunu pH ve TiO₂ konsantrasyonu takip etmiştir. R² değeri 0.9902 olan model için regresyon analizi tarafından deneysel sonuçlar ile tahmin değerleri arasında iyi bir

uyum elde edilmiştir. Sonuçlar, Langmuir-Hinshelwood (L-H) modelinin, k_c ve K_{LH} 'ın sırasıyla 0.941 mg/Lmin ve 0.129 L/mg olduğu SFK prosesini iyi açıklayabildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Rodamin B (RhB), Sonofotokataliz (SFK), Box Behnken Dizaynı (BBD), Hibrit sistem, Renk Giderimi

I. INTRODUCTION

Synthetic organic dyes have colorful, complex and molecular structure that are extensively used in industries, i.e., textile, pharmaceutical, printing, cosmetics, etc. [1]. Turkey's textiles sector is on the first rank within the country, being the third in the European Union, and also it is among the seven leading textile exporters in the world, at the end of 2017 [2]. In textile processing industry, 20% of industrial wastewater is generated due to dyeing and finishing processes [3]. The synthetic and industrial dye effluents are classified as one of the most serious environmental pollutants especially in water systems due to their high oxygen demands, strong color, toxic, non-biodegradable, carcinogenic and teratogenic structure [3,4]. Water pollution caused by dyes dramatically endanger to human health and entire ecosystem and that are responsible for the perturbations for the aquatic life, esthetic pollutions [5].

Rhodamine B (RhB) is a toxic and carcinogenic xanthene dye that is extensively used in textile industries and it is dangerous due to its adverse effects such as skin and eyes irritations, carcinogenicity, reproductive disorders, respiratory and gastrointestinal diseases [6,7]. Thus, treatment of wastewater effluents containing such dye pollutants is considerably significant to prevent any detrimental effects towards whole ecosystem. Many conventional physico-chemical and biological treatment methods are used for decolorization of dyeing wastewater have various limitations [7-9]. Such limitations are high cost, slow kinetics, long treatment times, low performance, difficulty in reactor design, higher waste production and energy consumption and ineffectiveness on their degradation [4, 10]. The breakage of chromophores resulted with decolorization is the first step for the dye degradation that is monitored by a spectrophotometer (a decrease in absorbance) and expressed as the percentage of removed dye indicating only the breakage of the chromophores rather than complete mineralization [11-13]. Nevertheless, the advanced oxidation processes (AOPs) and their hybrid combinations are feasible and renewable techniques to completely degrade wastewater especially containing hardly degradable organic dye pollutants and dye's cleavage products (i.e. aromatic amines) that are more detrimental than parent compound until CO_2 and H_2O by reacting with hydroxyl radicals ($\bullet OH$) [14-16]. Recently, the coupling of photocatalysis (UV/ TiO_2) and ultrasound (US) waves called 'sonophotocatalysis' (SPC), have gained attention as a way to combine the advantages of the two processes to degrade all kinds of compounds from water owing to easy operational, cheapness, and environmental friendly [17-20]. The individual advanced oxidation methods have many drawbacks including, insufficient transmission of light in water and limited reactive oxygen species (ROS) generation that prevents several applications [21, 22]. However, several phenomena such as cavitation, nucleation and sonoluminescence due to the interaction of ultrasound with the dye solution and also the surface of solid catalyst particles are vital superiorities on the hybrid SPC process than other individual AOPs in the literature [23]. Consequently, the hybrid SPC process poses various advantages: (1) generation of additional free $\bullet OH$ radicals is increased in the reaction mixture, in the presence of catalyst (2) the ultrasonic liquid turbulence between catalyst interface and solution phase enables mass transfer between oxygen, pollutants and by-products close to the surface of catalyst, (3) catalytic activity is improved owing the ultrasound waves irradiation, (4) the required treatment time and cost can be reduced associated with an increase in energy consumption that clearly explains the reason why SPC process is preferred [7, 24-27].

To the best our knowledge, there are limited studies on the decolorization of RhB dye by combination of ultraviolet with ultrasound and TiO_2 catalyst, as compared with literature [14, 17-20]. [18] stated in their study that optimum RhB degradation was succeeded by ultrasound-assisted TiO_2 photocatalysis with 500 mg/L of TiO_2 dosage, 20 mg/L of RhB concentration, at pH 7 under 40 kHz frequency and 300 W ultrasonic power. Also, [10] explained that the maximum degradation as 91% for Rh-B was obtained

using sonophotocatalytic (US/UV/TiO₂) treatment in 180 min operation period with 10 mg/L of RhB and 0.2 g/L H₂O₂ concentration at pH 2.5. Furthermore, [19] declared that RhB was decolorized completely within a few minutes in the US/UV/TiO₂ system with 0.5 g/L TiO₂, 10 mg/L of RhB and 1 mmol/L H₂O₂ concentrations. However, conventional methods to optimize decolorization of RhB that are mentioned above could determine one variable independently at a specific time while keeping other factors constant, so they are time-consuming [28]. Response surface methodology (RSM) is a popular analytical and statistical tool by researchers to obtain optimal operating conditions especially for AOPs by creating experimental design [28, 29]. RSM also is used to evaluate the method's ability in quantifying the relation between responses and several variables [30] that also have not been discussed before for the evaluation of RhB dye decolorization by SPC method. Box-Behnken design (BBD) is a promising RSM method that is mostly used for its fast and economic specialties than traditional approaches [31]. Furthermore, there is still a big gap for application of RSM in effectively optimizing the hybrid SPC process (US-UV/TiO₂). Therefore, in this study, the performance of hybrid SPC method was successfully evaluated to treat common used dye pollutant RhB in aqueous solution. In addition, as a first time, the effect of UV lamp type and lamp's electrical power were discussed on the dye decolorization by SPC method in this study. Further, the effects of solution pH, TiO₂ catalyst and RhB concentrations, on the SPC process were examined by BBD in combination with RSM. Optimum operating conditions depends on parameter interactions were also carried out. The recommended hybrid method achieved the highest (99%) RhB dye decolorization efficiency in a short time with less number of examinations.

II. MATERIAL AND METHODS

A. CHEMICALS AND REAGENTS

The nanopowder TiO₂ (AEROXIDE® P25≥99.5%, anatase form, 21 nm, 35–65 m²/g BET surface area) was supplied by Sigma-Aldrich (Germany). Rhodamine B as model pollutant (C.I. Basic Violet 10, Molecular formula: C₂₈H₃₁ClN₂O₃, Color: pink, CI number: 45170, Molecular weight: 479.02 g/mol, λ_{max}: 544 nm) was supplied from Sigma-Aldrich (Germany). The molecular structure of RhB is shown in Table 1. Sodium hydroxide (NaOH, 99%), and Sulfuric acid (H₂SO₄, 97%) were procured from Merck (Germany). Hydrogen Peroxide (30%, H₂O₂) was used as an oxidant that provided by Sigma-Aldrich (Germany). During the experiments, deionized water was used to prepare necessary solutions (Merck Milli-Q (Germany), spec. resistivity: 18.2 MΩ).

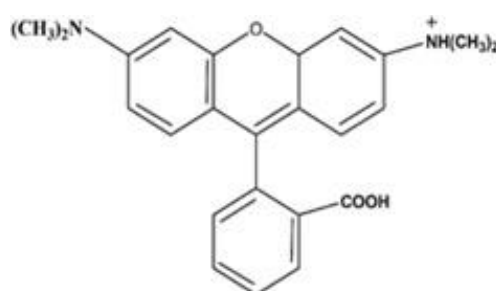


Figure 1. Characteristics of Rhodamine B (RhB) dye

B. REACTOR DESIGN AND ANALYSIS

All ultrasound, photocatalytic, and sonophotocatalytic experiments were performed using the same cylindrical Pyrex glass immersion well reactor filled with 200 mL RhB solution with certain amount of TiO₂. The batch-mode reactor equipped with a water jacket and a PL-L UVA lamps (Philips, Dutch) (9-69W; 315 to 380 nm; 110 μW/cm²) and UVC lamp (Philips, Dutch) (9 W; 254 nm) were fitted was used to study the SPC method (Figure 2). 3.5 L/min of air was supplied to the reactor system using a diffuser. The whole photoreactor system was immersed into an ultrasonic bath for the US experiments (Bandelin

DT 106, Germany) with a capacity 5.6 L (operating volume, 200 mL), a tank size of $D = 240$ mm and $L = 125$ mm, and an operating frequency of 35 ± 3 kHz (120 W, 220 V). During the experiment, the reactor temperature was kept constant at 25 ± 2 °C with a continuous water bath and a cold water pump. Optical densities of samples were measured after filtration of TiO_2 catalyst from solution.

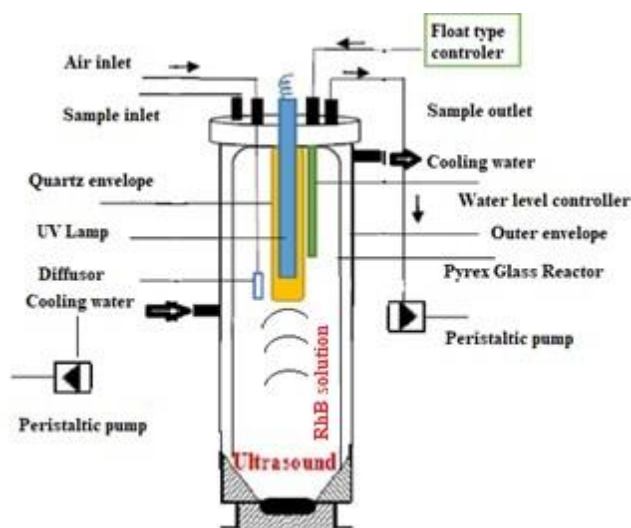


Figure 2. Experimental set up for hybrid SPC system

Optimization of SPC conditions was initially done using a spectrophotometer (Merck Pharo 100, Germany). Maximum wavelength (λ_{max}) of RhB dye was read at 544 nm and all absorbance values of samples was measured at the same wavelength. Each experiment was carried out in duplicate and their average values are presented in this work. Removal efficiency was calculated using Equation 1 [28]:

$$\text{Removal efficiency (Y)} = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) * 100 \quad (1)$$

where C_0 and C are initial RhB concentration and final concentration after distinct reaction time, respectively.

C. EXPERIMENTAL DESIGN

In the current investigation, TiO_2 concentration (X_1), pH (X_2) and initial RhB dosage (X_3) were independent variables, while decolorization efficiency of RhB dye was the dependent response variable in the SPC system. The levels and ranges of the independent variables were shown in Table 1. Previous experiments provided insights us to determine the ranges of independent variables. All analytical experiments were carried out in duplicate. Experimental data was represented by using second-order polynomials to provide the best-fit regression equations to obtain well predictions [21].

Table 1. Experimental design levels

Model	Ranges and levels		
	Low(-1)	Medium (0)	High (+1)
TiO ₂ concentration (x_1 , g/L)	0.5	1.5	2.5
pH (x_2)	2	6	10
RhB dosage (x_3 , mg/L)	10	30	50

The integrated effect of the three independent variables with 15 sets of experiments of which 3 are repetitions was evaluated using of BBD. To define model terms and to fit experimental data, a second-order polynomial equation (Equation 2) was used. Table 2 presents the experiment sets, the predicted and observed RhB decolorization. The quadratic response model could be defined as [28]:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{j=2}^k \sum_{i=1}^{j-1} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 \quad (2)$$

Y (%) represented the decolorization efficiency of RhB, β_0 , β_i were the interception coefficient, β_{ii} was quadratic term, β_{ij} was interception coefficient [22].

Minitab Software (v17) was used to perform regression and optimization applications. “Goodness of fit” and analysis of variance (ANOVA) techniques were performed to assess the capacity of designed models. The p value of <0.05 means a significant effect for pH, TiO₂ and initial RhB concentrations on RhB decolorization efficiencies. After all the statistical analysis, three-dimensional (3D) surface plots and two-dimensional (2D) contour plots from validated models were generated using RSM while fixing a variable constant [31]. Consequently, to achieve maximum RhB decolorization, optimum conditions of the process parameters were evaluated.

Table 2. Experimental and predicted responses for decolorization percentage of RhB

Run	Coded Levels			RhB decolorization (%)	
	X ₁	X ₂	X ₃	Experimental	Predicted
1	-1	-1	0	95.5	96.2
2	1	-1	0	87.8	86.6
3	-1	1	0	99.9	101.1
4	1	1	0	98.5	97.8
5	-1	0	0	96.3	95.6
6	1	0	0	92.9	94.1
7	-1	0	1	89.6	88.5
8	1	0	1	76.4	77.1
9	0	-1	-1	98.4	98.4
10	0	1	-1	95.4	95.0
11	0	-1	1	74.4	74.9
12	0	1	1	94.3	94.3
13	0	0	0	94.8	95.2
14	0	0	0	95.1	95.2
15	0	0	0	95.5	95.2

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. DECOLORIZATION OF RHODAMINE B UNDER VARIOUS CONDITIONS

The system was stirred for at least 30 minutes in the dark following the addition of TiO₂ photocatalyst to produce a homogeneous suspension and to allow the system to reach equilibrium in case of adsorption-desorption. As illustrated in Figure 3, the maximum decolorization efficiency of RhB was 8.56% by catalysis at dark conditions that gives an opinion for the adsorbed RhB dye amount in the equilibrium conditions. For comparison, irradiation experiments without adding photocatalyst were also performed and 11.1% of RhB decolorization efficiency was obtained in the presence of ultraviolet irradiation UVA₃₆₅ that is called “photolysis”. Besides, individual ultrasound performance on the

decolorization of RhB dye was attained as 15.4%, suggesting the unsatisfactory treatment capabilities of individual processes. Similar to our findings, [32] stated that 8.2% of RhB was degraded under 40 kHz ultrasonic vibration in the absence of any catalyst. Our results are also in agreement with [33] who stated that RhB solution was decolorized within 2 h of ultrasonic irradiation between 200-500 kHz ultrasonic frequencies that could be explained by the fact that the lifetime of the bubbles produced at low frequencies was longer and the production of radicals was slow, compared to systems using higher frequencies. In addition, especially at low frequencies, the formation of highly hydrophilic intermediates via $\bullet\text{OH}$ attack lead to long sonochemical degradation time in order to achieve complete mineralization [19]. US-TiO₂ showed only 20.5% removal of RhB whereas coupling of US-UV could enhance the decolorization efficiency as 40.3%. The decolorization of RhB in the UV-TiO₂ system showed high removal rates of 86.9% due to the excellent activation capability of TiO₂ under UV irradiation as an efficient photocatalyst [25, 26]. Combination of US with UV and catalyst substantially promoted the decolorization efficiency of RhB (98.51%) basically. Because US conditions help to improve the dispersal of TiO₂ nanoparticles by preventing agglomeration, thus generation of radicals could be increased with higher catalyst active sections exposed [27]. Further, size reduction of photocatalyst particles consequent to particle deaggregation cause to an increase in the surface area and catalytic performance. So, US can enable to increase the photocatalytic reaction rate by the catalytic activity of the catalyst. Also, acoustic cavitation cleans the catalyst surface and mass transfer induced by US is accelerated between the solution and catalyst, which might lead to increase the photocatalytic degradation rate [20].

Besides, the decolorization of RhB was promoted in the US-UV/TiO₂/H₂O₂ depended on the improvement on H₂O₂ activation in hybrid process. The limitations of SPC process was overcome by supporting the process with H₂O₂ due to producing extra $\bullet\text{OH}$ in the presence of US and UV processes [34]. Fundamentally, adding of H₂O₂ regardless of its concentration into the SPC system couldn't improve the decolorization efficiency of RhB substantially, but it maximized the removal efficiency in a short time compared with US/UV-TiO₂ system as shown in Figure 4. Likewise, higher lamp electrical power enhanced the degradation of RhB in a short working period regardless of lamp type.

The synergistic relationship between sonocatalytic and photocatalytic processes is confirmed by various studies [26, 35]. The synergy index that is the ratio of the hybrid SPC rate constant to the sum of the individual processes' rate constants was calculated to present the contributions from UV and UV-TiO₂ processes. The synergy index was calculated as shown in Equation 3 [36]:

$$\text{Synergy (\%)} = \frac{K_{(\text{US-UV/TiO}_2)}}{K_{(\text{US})} + K_{(\text{UV/TiO}_2)}} = 2.42 \quad (3)$$

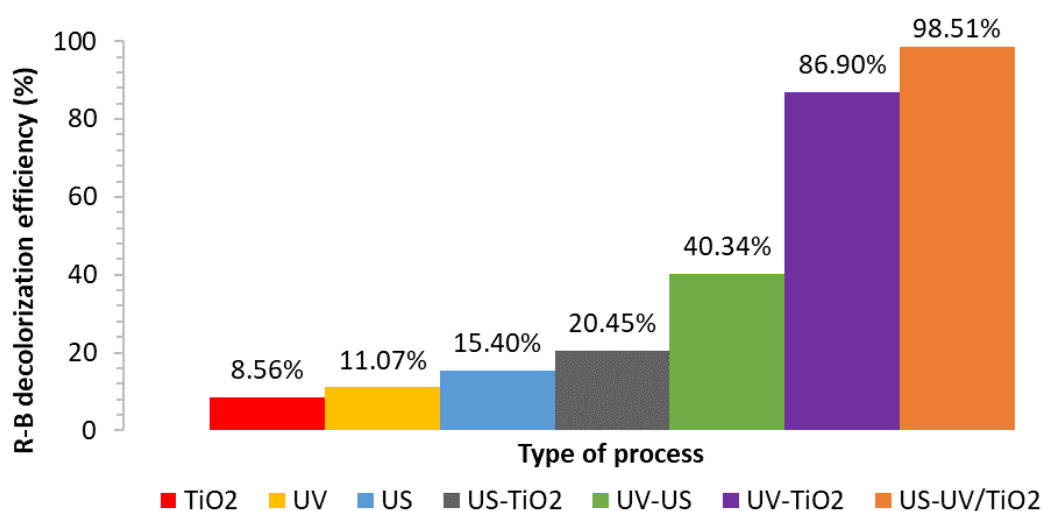


Figure 3. The decolorization performances of RhB using various processes. Experiment conditions: 20 mg/L RhB, 1.5 g/L catalyst concentration, and pH 5

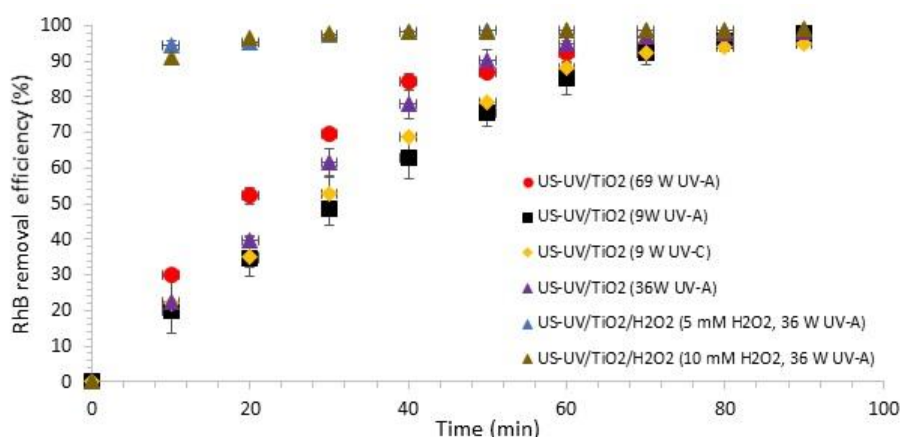


Figure 4. The decolorization of RhB dye in the presence of different lamp type, lamp electrical power and H₂O₂ concentrations. Reaction conditions: 15.25 mg/L RhB, 0.5 g/L catalyst loading, and pH 2

A synergy value >1.0 shows that hybrid SPC method has a synergistic impact on RhB decolorization compared with the individual process [26]. It is thought that the cavitation phenomenon may help higher mass transfer. Surface area and catalytic activity are also increased due to disaggregation of the photocatalyst particles. Hence, the synergistic effect is supported by the contribution of ultrasonic waves [37].

B. BBD ANALYSIS AND STATISTICAL DESIGN

As presented in Table 2, experimental and predicted values are considerably close to each other that demonstrates an interaction between modeled and actual decolorization of RhB dye depend on BBD-RSM strategy [38].

A quadratic polynomial equation was developed to achieve optimum decolorization efficiency of RhB dye owing the individual and collaborative interactions between three independent variables was developed [26]:

Efficiency of RhB decolorization (Y):

$$Y = 101,88 + 0,55 x_1 - 2,514 x_2 + 0,290 x_3 - 0,799 x_1 * x_1 + 0,0654 x_2 * x_2 - 0,01392 x_3 * x_3 + 0,392 x_1 * x_2 - 0,1239 x_1 * x_3 + 0,07147 x_2 * x_3; (R^2=0.9902, p<0.05). \quad (4)$$

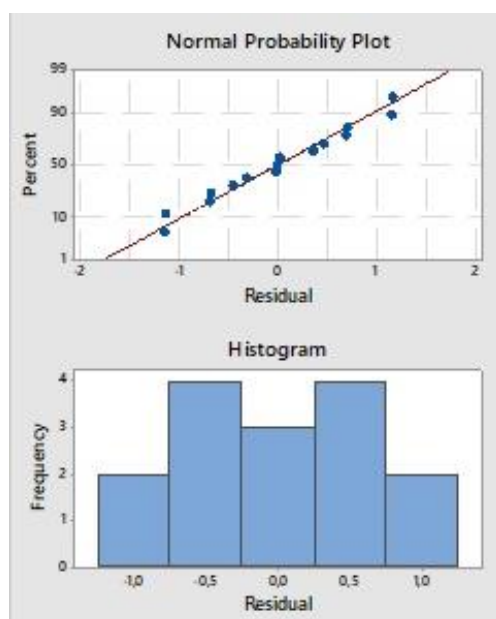
C. ANALYSIS OF VARIANCE RESULTS OF THE MODEL

Probability values (p-values) were used to determine the significance of each factor coefficient as presented in Table 3. $P < 0.05$ means the factor is significant while $p > 0.05$ means non-significance at 95% confidence interval [39]. In this study, the ANOVA results of the second order polynomial equation model was investigated to obtain F and p values which were 56.02, 0.000, respectively. This implies that model is considerably significant ($p < 0.05$). The changes of terms X_1^2 , X_2^2 and X_1X_2 would not significantly affect the decolorization efficiency of RhB, since their p values that were lower than 0.05. In this study, the coefficient of determination is 0.9902 which indicates that the model exhibits the best fit. The adequacy of the model was confirmed based on the close R^2 adjusted (0.9725) and corresponding R^2 values similar to Assassi *et al.* [40]. Lack-of-fit F-value was 22.56 (p value, 4.30%) for the model.

Table 3. ANOVA results of the RhB decolorization (Y)

Source	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F value	p value
Model	791.462	9	87.94	56.02	0.000
x_1 , TiO ₂	82.626	1	82.626	52.64	0.001
x_2 , pH	128.721	1	128.721	82	0.000
x_3 , RhB	291.611	1	291.611	185.78	0.000
x_1^2	2.358	1	2.358	1.5	0.275
x_2^2	4.039	1	4.039	2.57	0.170
x_3^2	114.416	1	114.416	72.89	0.000
x_1x_2	9.86	1	9.86	6.28	0.054
x_1x_3	24.552	1	24.552	15.64	0.011
x_2x_3	130.759	1	130.759	83.3	0.000
Lack of fit	7.848	3	2.541	22.56	0.043
Pure error	0.225	2	0.113		
Total	799.311	14			

$R^2=0.9902$
 $R^2_{(pred)}=0.8468$
 $R^2_{(adj)}=0.9725$

**Figure 5.** Residual plot of model for percentage RhB decolorization

A normal probability plot and histogram of the residual for the decolorization of RhB are illustrated in Figure 5. The obtained results were confirmed by the accuracy of the model to predict RhB dye decolorization and residual independence [41]. The residuals were in the proximity of straight diagonal line that was shown in histogram diagram [21]. Therefore, in the present study, histogram showed normal distribution and the developed model was satisfied due to lower residuals for prediction of the decolorization efficiency of RhB.

D. ANALYSIS OF VARIANCE RESULTS OF THE MODEL

Ultrasonic decolorization of RhB solutions caused to an exponential decrease in the dye decolorization with time. The phenomenon of sonophotocatalytic decolorization of RhB could be expressed in a better way by using a kinetic study based on the Langmuir-Hinshelwood (L-H) reaction in the following equation [42]:

$$r = \frac{dC}{dt} = \frac{k_r KC}{1+KC} \quad (5)$$

where r is the rate of SPC decolorization (mg/minL); C is the RhB concentration at a time t (mg/L); K is adsorption coefficient; and k_r is kinetic constant of the reaction.

The Langmuir–Hinshelwood equation becomes [43]:

$$r = -\frac{dC}{dt} = k_r KC = K_{app} * t \quad (6)$$

The apparent degradation constant (K_{app} (min^{-1})) was calculated from the slope of the line of $\ln(C/C_0)$ as a function of time as shown in Table 4. Further, the half-life times were calculated by the following equation for a pseudo-first-order reaction:

$$t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{K_{app}} \quad (7)$$

Table 4. Kinetic parameters for the RhB degradation

C_0 (mg/L)	r_0 (mg/Lmin)	k_{app} (1/min)	$t_{1/2}$ (min)	R^2	k_c (mg/Lmin)	K_{LH} (L/mg)
10	0.524	0.0524	13.23	0.9831		
15.25	0.72285	0.0474	14.62	0.9528		
30	0.873	0.0291	23.82	0.9806		
50	0.9	0.0180	38.51	0.9941		
					0.941	0.129

E. OPTIMIZATION AND VALIDATION

The 3D response surface and 2D contour plots visualize the synergistic effects between independent variables (X_1 , X_2 and X_3) and responses (Y) [41].

According to quadratic model that was obtained by the relationship between independent variables and response, absolute values of the coefficients in Equation 4 showed the magnitude of the effect, and the “+ and -” signs before the coefficients indicated whether the effect was positive or negative [42]. The negative coefficients for the model components X_2 , X_1^2 , X_3^2 , and X_1X_3 indicated the antagonistic effects on the RhB decolorization. While, the positive coefficients for X_1 , X_3 , X_1X_2 , X_2X_3 and X_2^2 indicated favorable effects on the RhB decolorization. The main individual effects as shown in Figure 6, demonstrated that pH had an adverse effect on the RhB decolorization efficiency, where decolorization increased with the decrease in the pH, whereas the TiO_2 concentration and RhB concentration had a favorable effect on the process, where RhB decolorization was improved with larger values of this parameters. For the model, all the optimum operating conditions were found at lowest values (0.5 g/L, 2 and 15.25 mg/L for TiO_2 concentration, pH and RhB concentration, respectively). For this reason, the highest value of all parameters could limit the decolorization performance. The interactions between the

TiO₂ concentration and pH, RhB concentration and pH had a favorable effect on response, but the interaction between RhB and TiO₂ concentrations had no extensive effect on the decolorization of RhB.

E. 1. PH EFFECT

The plots of response RhB decolorization efficiency as a function of the TiO₂ concentration and pH, while RhB concentration was fixed at 30 mg/L was illustrated in Figure 6(a1) and Figure 6(a2). It indicated that decreasing the TiO₂ concentration and pH leads to increase RhB decolorization efficiency. Acidic pH level supported exceptional decolorization of RhB than basic pH level; the optimum degradation was obtained at pH 2 after 90 min of working period. The physical and chemical properties of solution that affect the bubble dynamic is determined by pH. In higher pH, RhB could exist as ionic form and its diffusion is restricted into bubble-liquid interface. Thus, degradation of RhB could be occurred only in the interface that resulted with reduced decolorization efficiency [43].

Secondly, cationic (RhB⁺) and zwitterionic form (RhB[±]) are two principal forms in polar solvents. When pH value is higher than pKa of RhB (3.7 [44]), the carboxyl group is cationic (RhB⁺) or in zwitterionic form (RhB[±]). The carboxyl group of cationic form (RhB⁺) is deprotonated and the dye is transformed into zwitterionic form (RhB[±]), when the pH value is higher than pKa of RhB [45]. In other words, RhB has positive charge at low pH and negative charge at high pH due to its amphoteric nature [18]. At lower pH conditions, the hydrophilic character of RhB is lowest where the compound is in its cationic form and the degradation rate of RhB is maximum at the low pH. In strong acidic pH, RhB exists in higher concentrations at the bubble interface. Hence, the dye molecule is more exposed to the OH radical attack [47]. Furthermore, [46] supported the findings that the decrease in the degradation for higher pH values than pKa of RhB (3.7) is due to increase in the hydrophilic character of RhB as a result of dissociation of the molecule that lead to retard RhB molecular diffusion into the reaction zone. So, at this bubble interface, the uncombined OH radicals become maximum. For sonication, many researchers have already found that decrease in the solution pH leads to increase the sonochemical degradation rate due to formation of free radical scavengers (i.e. CO₃²⁻) which results in a decrease in the concentration of •OH at higher pH value [20].

E. 2. TIO₂ CATALYST CONCENTRATION EFFECT

It was considered that the nano-sized TiO₂ catalyst concentration could affect the decolorization of dye pollutant via adsorption and oxidation. The synergy of TiO₂ and initial RhB concentrations at a constant pH for RhB decolorization was given in Figure 6(b1) and 6(b2). The decolorization performance of RhB improved at the low level of RhB concentration; but the RhB concentration increased when the RhB decolorization efficiency decreased with increasing TiO₂ concentration. Besides, the synergy between TiO₂ (X₁) and initial RhB concentration (X₃) indicated a negative coefficient, which could indicate an adverse effect of X₁X₃ interaction on RhB decolorization. Increasing RhB dye concentration leads to mass transfer limitations and constant OH⁻ production that resulted with low decolorization efficiency [48].

Photons-embedded light that is emitted from UV light hits the surface of the catalyst and free electrons and protons are generated that are resulted from charge separation of TiO₂. These charge separation enables the degradation of RhB decolorization. Besides, hydroxyl radicals are generated from free electrons that react with oxygen molecules. Likewise, hydroxyl radicals can be generated from water molecules resulted from oxidation of dye molecules [31]. This phenomenon is thought to enhance the SPC decolorization of RhB pollutant in the aqueous media. Besides, the nucleation location of cavitation bubbles increases due to increased nanoparticle concentration. This leads to the increase of RhB degradation [18]. However, TiO₂ concentration of more than optimal 0.5 g/L, the specific activity of the catalyst is decreased due to particle aggregation, light scattering, and screening effects [49]. Similar behavior of the TiO₂ particles, has also been reported [18], dealing with degradation of RhB at the 0.5 g/L of TiO₂. [19] studied on the sonophotocatalysis of RhB decolorization with TiO₂ nanocatalyst in the range of 0.1 to 2 g/L and the optimum catalyst concentration for RhB decolorization was obtained at 0.5 g/L. They explained that the number of catalyst particle would not be sufficient to originate the primary

reaction at low TiO₂ concentration. Hence, 0.5 g/L of TiO₂ concentration was accepted as the optimum catalyst concentration for RhB decolorization by hybrid SPC process.

E. 3. RHB DYE DOSAGE EFFECT

Figures 6(c1) and 6(c2) presents the effect of initial RhB concentration and pH and their synergic relations on the RhB decolorization at TiO₂ concentration of 1.5 g/L. The RhB decolorization efficiency reached a maximum degradation while the pH value and initial RhB concentration approached to 2.0 and 20 mg/L, respectively.

The experiments were conducted for 10, 20, 30, 40, 50 mg/L RhB dye to evaluate the effectiveness of SPC decolorization performance as shown in Figure 6(b1-b2) and Figure 6(c1-c2). The decolorization of RhB dye decreased along with an increase in dye concentration as similar as many studies in the literature [20, 28]. The main reasons of the obtained results are the accumulation of dye molecules at the cavity interface and OH radicals show a great tendency to react with the pollutant molecule [20]. However, when RhB dye concentration increased, limited active sections could be available for the same TiO₂ concentration that resulted with less RhB molecular affection by OH [50]. It was further considered that, as the initial RhB concentration increased, higher concentration of intermediates was formed that competed with RhB for OH radicals. However, at the certain RhB concentration, organic dye molecules adhered to the surface of solid nanoparticles that affected the nucleation of cavitation bubbles, thus degradation efficiency was reduced [18]. Similar results have been reported for the case of ultrasound assisted degradation by [10]. Similar to our findings, [46] showed in their study that increasing initial RhB concentration from 5.95 mg/L to 12.5 mg/L and its intermediates at the bubble-liquid interface could lead to limit RhB degradation by the available interfacial area and OH radicals. [20] showed that almost complete decolorization (94%) of RhB was obtained after 1 h of irradiation under sonication at 10 mg/L of RhB concentration. When RhB concentration was below 10 mg/L, 100% RhB decolorization was achieved, thus optimum RhB dye concentration was accepted as 10 mg/L for RhB decolorization by hybrid SPC process.

According to the obtained results, it can be concluded that considering decolorization efficiency, the optimum values of these parameters for the SPC system were 0.5 g/L TiO₂ concentration, pH 2 and 15.25 mg/L RhB dye concentration. In order to validate the model prediction, the RhB decolorization performance was tested experimentally under optimum conditions. 98.5% of RhB decolorization efficiency was achieved under the optimum operating conditions, which confirmed the results of the developed model (99% decolorization efficiency). As shown in Table 5, the decolorization kinetics of RhB by SPC process is comparable to other advanced oxidation methods that performed almost complete RhB dye decolorization. In this study, levels of the independent variables were chosen at the most extensive ranges due to ease of operation and to get a knowledge about the interaction of different variables in the extensive perspective according to literature review. For instance, [51] already informed that the degradation efficiency of RhB was much slower in basic conditions (pH 8 and pH 10) than at acid medium (pH 6, 4 and 2) by sonocatalytic degradation using TiO₂. However, the necessity of examining the decolorization performances of RhB at higher and lower variable's levels cannot be ignored in the next studies.

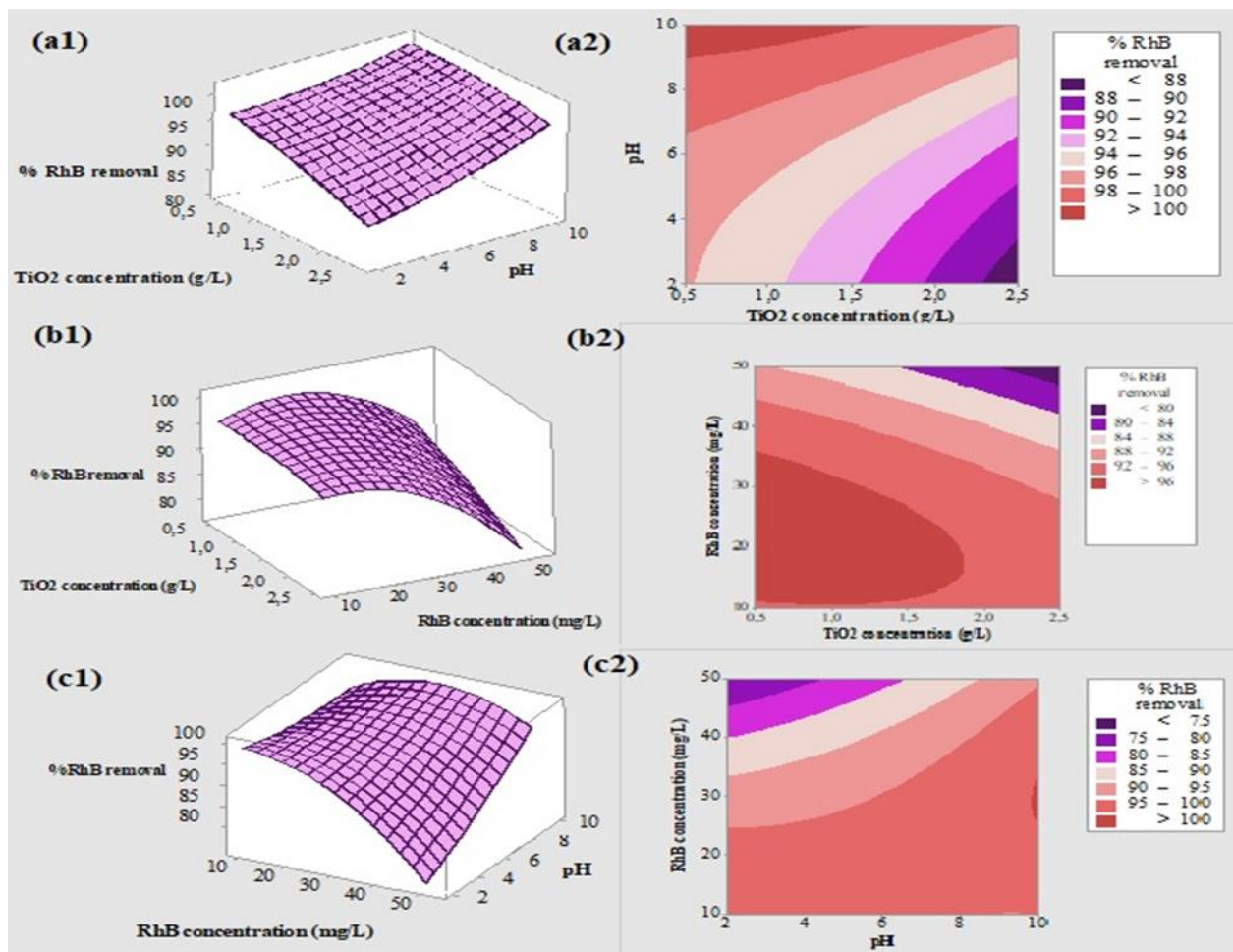


Figure 6. Surface and counter plots for RhB decolorization in 90-min by US-UV/TiO₂ system. Hold values are: a1–a2 [RhB]: 30 mg/L, b1–b2 [pH]: 6, c1–c2 [TiO₂]: 1.5 g/L

Table 5. Comparison of RhB decolorization efficiencies between SPC and other AOPs in the literature

Catalyst dosage	Pollutant concentration	Removal efficiency	Power	Time (min)	Kinetic rate (min ⁻¹)	References
TiO ₂ 0.5 g/L	RhB 10 mg/L	99%	UV=36 W US=120 W	90	0.0174	Present study
ZnO 1 g/L	RhB 100 mg/L	54%	UV=24 W	120	0.007	[52]
Na ₂ S ₂ O ₈ 20mM	RhB 10 mg/L	85%	US=60 W	60	-	[17]
1 wt% Ag doped on TiO ₂ 15mg/L	RhB 10 mg/L	90%	UV=250 W	60	0.036	[53]
TiO ₂ 2 g/L	RhB 10 mg/L	93%	UV=11 W US=1000 W	180	0.0162	[20]
TiO ₂ 0.5 g/L	RhB 20 mg/L	99%	US=300 W	40	-	[18]
TiO ₂ 0.3 g/L	RhB 10 mg/L	85%	UV US=170 W	180	8.6*10 ³	[10]

TiO ₂ NTs 2g/L	RhB 50 mg/L	85%	US=50 W	120	0.015	[54]
------------------------------	-------------	-----	---------	-----	-------	------

IV. CONCLUSION

The key findings of this study could be summarized as:

1) The calculated synergy value (2.42) indicated that the hybrid SPC method had a synergistic impact on RhB decolorization compared with the individual process and hybrid US-UV/TiO₂ system is an efficient and feasible technique to treat a type RhB containing wastewater compared to individual AOPs process;

2) A good compliance between experimental results and predictive values were obtained by the regression analysis for the model with R² value of 0.9902;

3) Based on ANOVA analysis, concentration of RhB stated the most significant effects (F=185.78) followed by pH (F= 82) and TiO₂ concentration (F=52.64) on the model;

4) Adding of H₂O₂ regardless of its concentration into the SPC process maximized the decolorization efficiency in a short time compared with US/UV-TiO₂ system regardless of its concentration. Likewise, higher lamp electrical power enhanced the degradation of RhB in a short working period regardless of lamp type;

5) Optimum parameters were obtained as 0.5 g/L of TiO₂, pH 2 and 10 mg/L of RhB, respectively. Further studies target the investigation of the independent variables effects on decolorization efficiency of RhB dye lower than mentioned optimum values found by SPC method;

6) The polynomial model indicated that decolorization of RhB was predicated as 98.5% at optimum conditions which was also confirmed by the validation study;

7) the Langmuir–Hinshelwood (L-H) model could strongly clarify the SPC process well, where k_c and K_{LH} were 0.941 mg/Lmin and 0.129 L/mg, respectively.

Consequently, less experiments and short time are the fundamental advantages in this approach to attain targeted information. Further studies need to apply this new combined system for pilot scale wastewater treatment.

ACKNOWLEDGEMENTS: This work was partially supported financially by the BAIBU Scientific Research Project Number:2021.09.02.1498. The author Gamze Dogdu contributed to the conception and design, conducting the experiment; acquisition, analysis, and interpretation of the data; and writing of the article. Nazmiye Ebru Şen and Simge Dalkılıç were gratefully acknowledged by the author for their invaluable helps in running experiments.

V. REFERENCES

[1] R. Wang, M. Shi, F. Xu, Y. Qiu, P. Zhang, K. Shen, Q. Zhao, J. Yu and Y. Zhang, “Graphdiyne-modified TiO₂ nanofibers with osteoinductive and enhanced photocatalytic antibacterial activities to prevent implant infection,” *Nature Communications*, vol. 11, pp. 4465, 2020.

- [2] Uludağ İhracatçı Birlikleri Genel Sekreterlikleri Ar-Ge Şubesi. "Türkiye Tekstil Sektörü ve Bursa." https://uib.org.tr/tr/kbfile/turkiye_tekstil_sektoru_ve_bursa_ocak_2020 (accessed Jan. 21, 2020).
- [3] V. B. K. S. Mullapudi, A. Salveru and A. J. Kora, "An in-house UV-photolysis setup for the rapid degradation of both cationic and anionic dyes in dynamic mode through UV/H₂O₂-based advanced oxidation process," *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, pp. 1-17, 2020.
- [4] A. Selim, S. Kaur, A.H. Dar, S. Sartaliya and G. Jayamurugan, "Synergistic effects of carbon dots and palladium nanoparticles enhance the sonocatalytic performance for rhodamine B degradation in the absence of light," *ACS Omega*, vol. 5, pp. 22603–22613, 2020.
- [5] Y. S. Lai, P. Parameswaran, A. Li, A. Aguinaga and B. E. Rittmann, "Selective fermentation of carbohydrate and protein fractions of *Scenedesmus*, and biohydrogenation of its lipid fraction for enhanced recovery of saturated fatty acids," *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 113, pp. 320-329, 2016.
- [6] T. B. T. Dao, T. T. L. Ha, T. D. Nguyen, H. N. Le, C. N. Ha-Thuc, T. M. L. Nguyen, P. Perre and D. M. Nguyen, "Effectiveness of photocatalysis of MMT-supported TiO₂ and TiO₂ nanotubes for rhodamine B degradation," *Chemosphere*, vol. 280, pp. 130802, 2021.
- [7] C. Lops, A. Ancona, K. Di Cesare, B. Dumontel, N. Garino, G. Canavese, S. Hernández and V. Cauda, "Sonophotocatalytic degradation mechanisms of Rhodamine B dye via radicals generation by micro- and nano-particles of ZnO," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 243, pp. 629-640, 2019.
- [8] P. Razaghi, K. Dashtian, F. Yousefi, R. Karimi and M. Ghaedi, "Gold anchoring to CuFe₂F₈(H₂O)₂ oxyfluoride for robust sono-photodegradation of Rhodamine-B," *Journal of Cleaner Production*, vol. 313, pp. 127916, 2021.
- [9] H. Selcuk, "Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes," *Dyes and Pigments*, vol. 64, pp. 217-222, 2005.
- [10] S. P. Hinge, M. S. Orpe, K. V. Sathe, G. D. Tikhe, N. S. Pandey, K. N. Bawankar, M. V. Bagal, V. G. Mohod and R. Parag, "Combined removal of Rhodamine B and Rhodamine 6G from wastewater using novel treatment approaches based on ultrasonic and ultraviolet irradiations," *Desalination and Water Treatment*, vol. 3994, pp. 0-13, 2016.
- [11] P. R. Gogate, M. Sivakumar, and A. B. Pandit, "Destruction of Rhodamine B using novel sonochemical reactor with capacity of 7.5 l," *Separation and Purification Technology*, vol. 34, pp. 130-24, 2004.
- [12] E. Adamek, W. Baran, J. Ziemiańska, and A. Sobczak, "The Comparison of Photocatalytic Degradation and Decolorization Processes of Dyeing Effluents," *International Journal of Photoenergy*, pp. 578191, 2013.
- [13] D. Pratiwi, A. W. Indrianingsih, C. Darsih, and Hernawan, "Decolorization and Degradation of Batik Dye Effluent using *Ganoderma lucidum*," *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 101, pp. 012034, 2017.
- [14] J. A. Ayala, C. O. Castillo and R. S. Ruiz, "Ultrasonic, ultraviolet, and hybrid catalytic processes for the degradation of rhodamine B dye: Decolorization kinetics," *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, vol. 16, 521-529, 2017.

- [15] K. Soutsas, V. Karayannis, I. Poullos, A. Riga, K. Ntampeglitis, X. Spiliotis, and G. Papapolymerou, "Decolorization and degradation of reactive azo dyes via heterogeneous photocatalytic processes," *Desalination*, vol. 250, 345-350, 2010.
- [16] T. Rasheed, M. Bilal, H. M. N. Iqbal, S. Z. H. Shah, H. Hu, X. Zhang, and Y. Zhou, "TiO₂/UV-assisted rhodamine B degradation: putative pathway and identification of intermediates by UPLC/MS," *Environmental Technology*, vol. 39, 1533-1543, 2018.
- [17] P. Zawadzki, "Comparative studies of Rhodamine B decolorization in the combined process Na₂S₂O₈/visible light/ultrasound," *Desalination and Water Treatment*, vol. 213, pp. 269-278, 2021.
- [18] D. Xu and H. Ma, "Degradation of rhodamine B in water by ultrasound-assisted TiO₂ photocatalysis," *Journal of Cleaner Production*, vol. 313, pp. 127758, 2021.
- [19] F. Ahmedchekkat, M.S. Medjram, M. Chiha and A.M. Ali Al-bsoul, "Sonophotocatalytic degradation of Rhodamine B using a novel reactor geometry: effect of operating conditions," *Chemical Engineering Journal*, vol. 178, pp. 244-251, 2011.
- [20] K. P. Mishra and P. R. Gogate, "Intensification of degradation of aqueous solutions of rhodamine B using sonochemical reactors at operating capacity of 7 L," *Journal of Environmental Management*, vol. 92, pp. 1972-1977, 2011.
- [21] P. Singh, A. Dhir and V. K. Sangal, "Optimization of Photocatalytic Process Parameters for the Degradation of Acrylonitrile Using Box Behnken Design," *Desalination and Water Treatment*, 55, 1501-1508, 2015.
- [22] G. E. P. Box, W. G. Hunter and J. S. Hunter, "Statistics for Experiments: An Introduction to Design Data Analysis and Model Building", Wiley: New York, 1978.
- [23] J. Abdi, A. Jamal Sisi, M. Hadipoor, and A. Khataee, "State of the art on the ultrasonic-assisted removal of environmental pollutants using metal-organic frameworks," *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127558, 2022.
- [24] S. Moradi, S. A. Sobhghol, F. Hayati, A.A. Isari, B. Kakavandi, P. Bashardoust and B. Anvaripour, "Performance and reaction mechanism of MgO/ZnO/Graphene ternary nanocomposite in coupling with LED and ultrasound waves for the degradation of sulfamethoxazole and pharmaceutical wastewater," *Separation and Purification Technology*, vol. 251, pp. 117373, 2020.
- [25] S. D. Ayare and P. R. Gogate, "Sonophotocatalytic oxidation based treatment of phthalocyanine pigment containing industrial wastewater intensified using oxidising agents," *Separation and Purification Technology*, vol. 233, pp. 115979, 2020.
- [26] H. Wei, MdH. Rahaman, J. Zhao, D. Li and J. Zhai, "Hydrogen peroxide enhanced sonophotocatalytic degradation of acid orange 7 in aqueous solution: optimization by Box-Behnken design," *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 96, pp. 2647-2658, 2021.
- [27] S.G. Babu, P. Karthik, M.C. John, S.K. Lakhera, M. Ashokkumar, J. Khim and B. Neppolian, "Synergistic effect of sono-photocatalytic process for the degradation of organic pollutants using CuO-TiO₂/Rgo," *Ultrasonic Sonochemistry*, vol. 50, pp. 218-223, 2019.
- [28] G. Dogdu Okcu, T. Tunacan and E. Dikmen, "Photocatalytic degradation of yellow 2G dye using titanium dioxide/ultraviolet A light through a Box-Behnken experimental design: Optimization and kinetic study," *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, vol. 54, pp. 136-145, 2019.

- [29] H. Chaker, N. Ameer, K. Saidi-Bendahou, M. Djennas and S. Fourmentin, "Modeling and Box-Behnken design optimization of photocatalytic parameters for efficient removal of dye by lanthanum-doped mesoporous TiO₂," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, pp. 104584, 2021.
- [30] F. S. Domingues, H. C. L. Geraldino, T. K. F. de Souza Freitas, C. A. de Almeida, F. F. de Figueiredo, and J. C. Garcia, "Photocatalytic degradation of real textile wastewater using carbon black-Nb₂O₅ composite catalyst under UV/Vis irradiation," *Environmental Technology*, vol. 42, pp. 2335–2349, 2021.
- [31] M. Kaur, A. Noonia, A. Dogra and P. Singh Thind, "Optimising the parameters affecting degradation of Cypermethrin in an aqueous solution using TiO₂/H₂O₂ mediated UV photocatalysis: RSM-BBD, kinetics, isotherms and reusability," *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, pp. 1-15, 2021.
- [32] J. Wang, Z. Jiang, Z. Zhang, Y. Xie, X. Wang, Z. Xing, R. Xu, and X. Zhang, "Sonocatalytic degradation of acid red B and rhodamine B catalyzed by nano-sized ZnO powder under ultrasonic irradiation," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 15, pp. 768-774, 2008.
- [33] M. Inoue, F. Okada, A. Sakurai, and M. Sakakibara, "A new development of dyestuffs degradation system using ultrasound," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 13, pp. 313-320, 2006.
- [34] V. Katheresan, J. Kansedo and S.Y. Lau, "Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 6, pp. 4676-4697, 2018.
- [35] S. Rahimi, B. Ayati and A. Rezaee, "Optimization of reaction parameters for the sonophotocatalytic degradation of hydroquinone," *Research on Chemical Intermediates*, vol. 43, pp. 1935-1956, 2017.
- [36] Y. He, F. Grieser and M. Ashokkumar, "Kinetics and mechanism for the sonophotocatalytic degradation of p-chlorobenzoic acid," *The Journal of Physical Chemistry A*, vol. 115, pp. 6582–6588, 2011.
- [37] S. Mosleh, M.R. Rahimi, M. Ghaedi and K. Dashtian, "Sonophotocatalytic degradation of trypan blue and vesuvine dyes in the presence of blue light active photocatalyst of Ag₃PO₄/Bi₂S₃-HKUST-1-MOF: central composite optimization and synergistic effect study," *Ultrasonic Sonochemistry*, vol. 32, pp. 387–397, 2016.
- [38] G. Asgari, A. Shabanloo, M. Salari and F. Eslami, "Sonophotocatalytic treatment of AB113 dye and real textile wastewater using ZnO/persulfate: Modeling by response surface methodology and artificial neural network," *Environmental Research*, vol. 184, pp. 109367, 2020.
- [39] I. Arslan-Alaton, G. Tureli and T. Olmez-Hanci, "Treatment of azo dye production wastewaters using photo-Fenton-like advanced oxidation processes: Optimization by response surface methodology," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 202, pp. 142–153, 2009.
- [40] M. Assassi, F. Madjene, S. Harchouche and H. Boulfiza, "Photocatalytic treatment of Crystal Violet in aqueous solution: Box–Behnken optimization and degradation mechanism," *Environmental Progress and Sustainable Energy*, pp. 1-8, 2021.
- [41] A.H. Jawad, N.N.A. Malek, A.S. Abdulhameed and R. Razuan, "Synthesis of magnetic chitosan-fly ash/Fe₃O₄ composite for adsorption of reactive orange 16 dye: optimization by Box–Behnken design," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 28, pp. 1068–1082, 2020.
- [42] B. Boutra and M. Trari, "Solar photodegradation of a textile azo dye using synthesized ZnO/bentonite," *Water Science and Technology*, vol. 75, pp. 1211–1220, 2017.



- [43] S. Mosleh, M.R. Rahimi, M. Ghaedi, A. Asfaram, R. Jannesar, and F. Sadeghfar, "A rapid and efficient sonophotocatalytic process for degradation of pollutants: Statistical modeling and kinetics study," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 261, pp. 291–302, 2018.
- [42] A. Arslan, E. Topkaya, S. Veli and D. Bingöl, "Optimization of Ultrasonication Process for the Degradation of Linear Alkyl Benzene Sulfonic Acid by Response Surface Methodology," *Clean - Soil, Air, Water*, vol. 46, pp. 1700508, 2018.
- [43] Z. Zhang and H. Zheng, "Optimization for decolorization of azo dye acid green 20 by ultrasound and H₂O₂ using response surface methodology," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 172, pp. 1388–1393, 2009.
- [44] N. Serpone, R. Terzian, H. Hidaka and E. Pelizzetti, "Ultrasonic induced dehalogenation and oxidation of 2-, 3-, and 4-chlorophenol in air-equilibrated aqueous media. Similarities with irradiated semiconductor particulates," *The Journal of Physical Chemistry A*, vol. 98, pp. 2634–2640, 1994.
- [45] S. Woislowski, "The spectrophotometric determination of ionization constants of basic dyes," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 75, pp. 5201–5203, 1953.
- [46] O. Aguilar, C. Ángeles, C. O. Castillo, C. Martínez, R. Rodríguez, R. S. Ruiz, and M. G. Vizcarra, "On the ultrasonic degradation of Rhodamine B in water: kinetics and operational conditions effect," *Environmental Technology*, vol. 35, pp. 1183–1189, 2014.
- [47] S. Merouani, O. Hamdaoui, F. Saoudi and M. Chiha, "Sonochemical degradation of Rhodamine B in aqueous phase: Effects of additives," *Chemical Engineering Journal*, vol. 158, pp. 550-557, 2010.
- [48] D. Dimitrakopoulou, I. Rethemiotaki, Z. Frontistis, N. P. Xekoukoulotakis, D. Venieri and D. Mantzavinos, "Degradation, mineralization and antibiotic inactivation of amoxicillin by UV-A/TiO₂ photocatalysis," *Journal of Environmental Management*, vol. 98, pp. 168–174, 2012.
- [49] S. Bouafia-Chergui, H. Zemmouri, M. Chabani and A. Bensmaili, "TiO₂-Photocatalyzed Degradation of Tetracycline: Kinetic Study, Adsorption Isotherms, Mineralization and Toxicity Reduction," *Desalination and Water Treatment*, 57, 16670–16677, 2016.
- [50] S. J. Jafari, G. Moussavi and H. Hossaini, "Degradation and Mineralization of Diazinon Pesticide in UVC and UVC/TiO₂ Process," *Desalination and Water Treatment*, vol. 57, pp. 3782–3790, 2016.
- [51] Y. L. Pang, S. Bhatia, and A. Z. Abdullah, "Process behavior of TiO₂ nanotube-enhanced sonocatalytic degradation of Rhodamine B in aqueous solution," *Separation and Purification Technology*, vol. 77, pp. 331–338, 2011.
- [52] F. Madjene, M. Assassi, I. Chokri, T. Enteghar and H. Lebig, "Optimization of photocatalytic degradation of rhodamine B using Box – Behnken experimental design: Mineralization and mechanism," *Water Environment Federation*, vol. 93, pp. 112–122, 2021.
- [53] N. Chakinala, P.R. Gogate and A.G. Chakinala, "Photocatalytic degradation of rhodamine-B over mono- & bi-metallic TiO₂ catalysts," *Materials Today: Proceedings*, vol. 43, pp. 3066–3070 Contents, 2021.
- [54] Y.L. Pang, A.Z. Abdullah and S. Bhatia, "Review on sonochemical methods in the presence of catalysts and chemical additives for treatment of organic pollutants in wastewater," *Desalination*, vol. 277, pp. 1–14, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

SPT-N' den Hesaplanan Zeminin Kayma Dalgası (V_s)'nın Eskişehir Zemini için İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

 Ebru CİVELEKLER^{a,*},  Yücel GÜNEY^b

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

^b Yaygın Öğretim Bölümü, Açıköğretim Fakültesi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1044102

Öz

Kayma dalgası hızı (V_s) geoteknik mühendisliği problemlerinin belirlenmesi çalışmalarında önemli parametrelerden biridir. Dinamik saha sınıflandırmasında yüzeyden ilk 30 metre derinlik için kayma dalgası hızı önemlidir. Bu nedenle kayma dalgası hızı (V_s)₃₀ ve SPT-N değeri zemin davranışı, zemin-yapı etkileşimi gibi deprem mühendisliği çalışmaları için gereklidir. Zeminin kayma dalgası hızı arazide sismik kırılma ve kuyu içi sismiği gibi sismik yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir. Ancak bu yöntemler büyük iş gücü gerektiren, zaman alıcı ve ekonomik olmayan yöntemlerdir. Bu nedenle birçok çalışmada SPT-N sayısına bağlı olarak V_s hesabı yapılan ampirik yaklaşımlar kullanılmaktadır. Ancak, bu yaklaşımlar farklı çalışma alanlarında yapılmıştır. Zemin koşullarının farklılık göstermesi nedeniyle bu yaklaşımların Eskişehir zemini için doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Eskişehir'de arazi çalışmaları kapsamında sismik yöntemler kullanılarak belirlenen gerçek V_s değerleri ile Eskişehir zemini temsil eden sondajlardan elde edilen SPT-N değerlerinden hesaplanan V_s değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak en uygun olan yöntem istatistiksel olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayma dalgası hızı, SPT, İstatistiksel Analiz, Eskişehir

Statistical Evaluation of the Shear Wave (V_s) of Soil Calculated from SPT-N for the Eskisehir Ground

ABSTRACT

The shear wave velocity (V_s) is one of the important parameters in the study of determining geotechnical engineering problems. In the dynamic field classification, the shear wave velocity is important for the first 30 meters' depth from the surface. Therefore, the shear wave velocity (V_{s30}) and the SPT-N value are necessary for earthquake engineering studies such as ground behavior, ground-structure interaction. The shear wave velocity of soil can be determined using seismic methods such as seismic refraction and in-downhole seismicity in the field. But, these methods are time-consuming and uneconomical methods, requiring a large workforce. For this reason, many studies use empirical approaches that calculate V_s depending on the number of SPT-N. However, these approaches have been made in different fields of study. Because the soil conditions differ, it is necessary to determine the accuracy of these approaches for the Eskisehir ground. In this study, the real V_s values determined using seismic methods within the scope of land studies in Eskişehir, and the V_s values calculated from the SPT-N

values obtained from drilling operations representing the Eskişehir ground were compared. As a result, most suitable method was determined statistically.

Keywords: Shear wave velocity, SPT, Statistical Analysis, Eskişehir

I. GİRİŞ

Sismik yükler altında yapılara gelen deprem kuvvetlerinin belirlenebilmesi için öncelikle yapıların bulunduğu sahanın dinamik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Yerel zemin özelliklerinin farklılaşması, kuvvetli yer hareketinin etkisinde bazı sahalarda yapıya gelen sismik yüklerin büyümesine, bazı sahalarda ise küçülmesine neden olabilir. Zemin büyütmesi olarak tanımlanan bu olay, üst 30 metre için zeminin ortalama kayma dalgası hızına bağlı olarak hesaplanabilen bir fonksiyondur [1]. Bu nedenle yüzeyden 30 m derinlik içinde kalan zemin tabakalarının dinamik özellikleri önemlidir. Günümüzde kullanılan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'nde önerildiği üzere; zemin yüzeyinden itibaren 30 m içindeki zemin tabakalarının kayma dalgası hızları kullanılarak saha tepki analizleri yapılmakta ve bu analizler sonucunda zeminin tepki spektrumu ve büyütmesi ortaya konmaktadır.

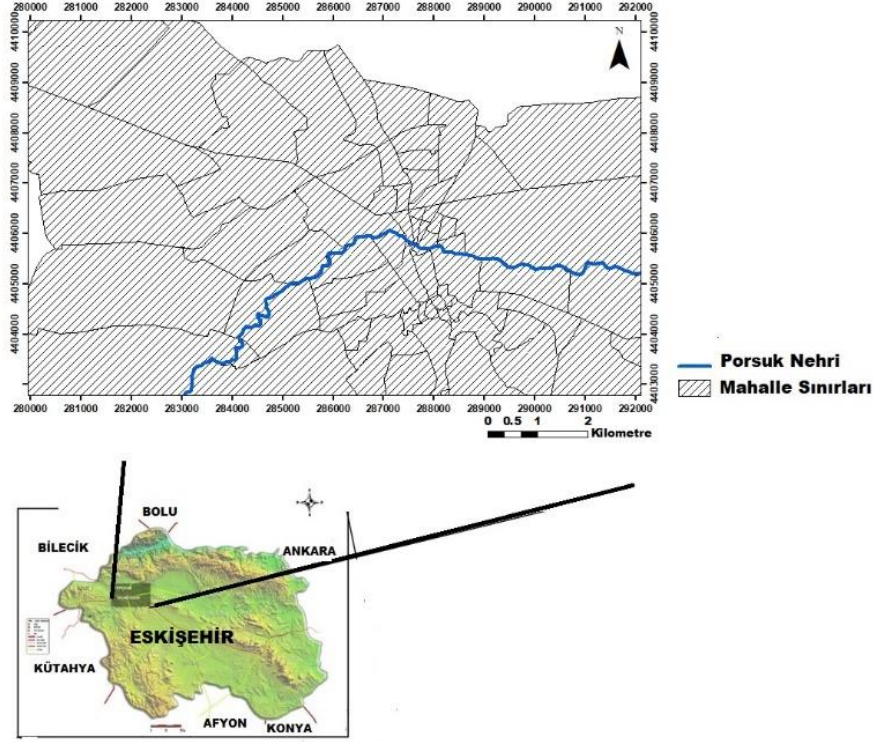
Ayrıca zeminin kayma dalgası hızı değerlerine günümüzdeki deprem yönetmeliklerinde (NEHRP, Eurocode-8, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018), UBC 2000 vb.) zemin sınıflarının belirlenmesi, sıvılaşma, taşıma gücü kaybı, amplifikasyon faktörü ve özellikle zemin davranış analizlerinde ihtiyaç duyulduğundan geoteknik-deprem mühendisliği açısından önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Ancak, zemin- saha koşullarının belirlenmesinde V_{s30} değerinin tek başına temel alınması yanıltıcı olmaktadır. Örneğin ortalama kayma dalga hızı 300 m/s olan bir zeminin kumlu ya da killi olması yüzeydeki davranışı değiştirecektir. Dolayısıyla yalnızca bu parametrenin sahayı temsil yeteneği sorgulanmalıdır.

Arazide zeminin kayma dalgası hızını belirlemek amacıyla sismik kırılma, sismik yansıma, karşıt kuyu (cross hole), aşağı kuyu (down hole) ve SCPT gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler genellikle zaman isteyen, maliyetli ve yapımı sırasında gürültü oluşturduğundan her yerde yapılması uygun olmayan yöntemlerdir. Yaklaşık 50 yıldan fazladır araştırmacılar V_s -SPT arasında ilişki ortaya koyan ampirik yaklaşımlar geliştirdiler. Bu yaklaşımlarda V_s ; SPT-N değişkeninin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT); sahada zeminin sıklığı ve kıvamı hakkında bilgi veren, yerinde ölçümlerle hızlı ve daha düşük maliyetli olan bir arazi deneyidir. Bu nedenle birçok araştırmacının V_s hesabı için dikkatini çeken bir parametre olmuştur. Zeminin SPT-N sayısı ve kayma dalgası hızı değerlerinin artması rijitlik özelliklerinin de arttığının kanıtıdır.

Günümüze kadar Eskişehir ve çevresinde yapılan tektonik çalışmalarda Eskişehir Fay Zonu'nun varlığından söz edilmekte ve bu fayın karakteristiğinin sağ yanal doğrultu atımlı fay olduğu belirlenmiştir [2-7]. Eskişehir ve çevresinin aletsel kayıtlara göre son 100 yılda büyük depremler yaşadığı, bu kayıtlarda en büyük depremin 20 Şubat 1956 (M=6.4)'da olduğu belirlenmiştir. Bu depremin Eskişehir şehir merkezi ve çevresinde büyük hasarlara neden olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada Eskişehir'de arazide 23 farklı lokasyonda sismik kırılma-yansıma çalışmalarından elde edilen zeminin gerçek V_s değerleri ile sondaj çalışmalarından elde edilen SPT-N değerleri kullanılarak önceki çalışmalarda tüm zeminler için önerilen 17 farklı ampirik yaklaşıma göre hesaplanan V_s değerleri karşılaştırılmış ve Eskişehir zemini için istatistiksel olarak bu yaklaşımlardan en doğru yaklaşımın belirlenmesi amaçlanmıştır.

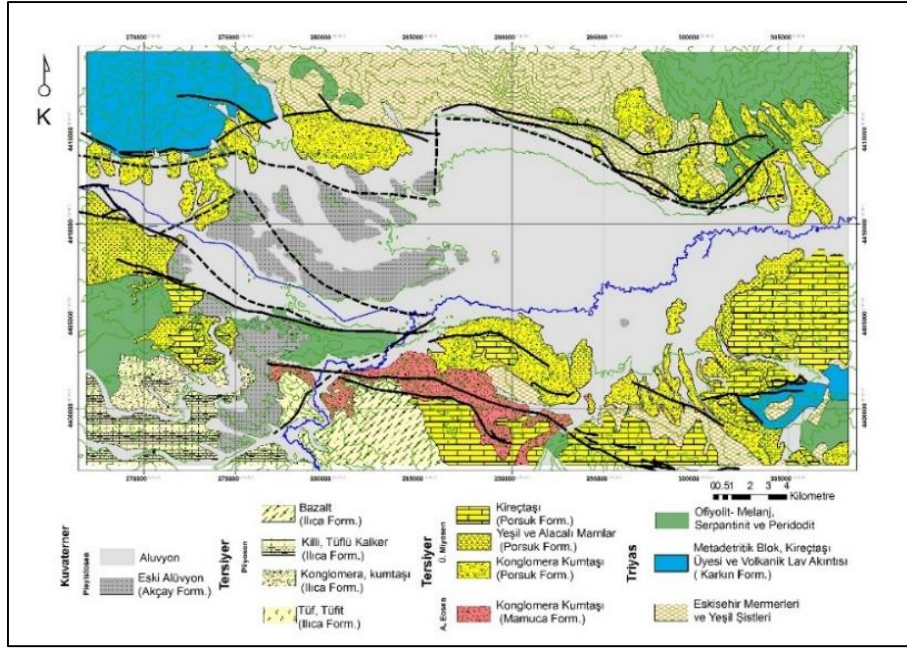
II. ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı, Türkiye'nin kuzey batı kısmında yaklaşık 4385000-4410000 kuzey enlemleri ile 280000-292000 doğu boylamları arasında yer almaktadır. Ayrıca inceleme alanı içerisinde akan Porsuk Nehri bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

Çalışma alanının jeolojisi çalışmaları bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından yapılmıştır. İnceleme alanında daha önce yapılmış çalışmalara göre tabanda, yeşil, mavi-sarı renkte glokofan şist, muskovit şist gibi şistli birimlerin devamında ince kumtaşı, silttaşı arakatlı fillitler olarak üste doğru masif olarak tanımlanan mermerli birimler ile sona eren Triyas yaşlı metamorfik kayalar oluşmaktadır [8, 9] (Şekil 2). Alüvyon zemin şehir merkezinin genelinde yayılım göstermekte ve gevşek silt-kil, çakıl ve kum tanelerinin ardanmasından oluşmaktadır [10-13].



Şekil 2. Eskişehir Jeoloji Haritası (MTA tarafından yapılan haritalardan ve DSİ Eskişehir ve İnönü Ovaları Hidrojeoloji Haritasından geliştirilmiştir (1976)) (Anadolu Üniversitesi'nin 080240 nolu Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında güncellenmiştir)

III. MATERYAL VE METOT

A. MATERYAL

A. 1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) zeminin sıklığı-kıvamı hakkında bilgi veren arazi deneylerindedir. SPT, arazide belirli standart koşullarda bu konuda uzman kişiler tarafından yapılarak, numune alıcının zemin tabakasında 45 cm ilerleyebilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Deney esnasında numune alıcının zeminde son 30 cm'lik ilerlemesinde uygulanan toplam darbe sayısı, zeminin penetrasyon direnci (SPT-N) olarak tanımlanmaktadır. Bu deney, ince daneli killi siltli birimlerden iri daneli kumlu çakıllı seviyelere kadar uygulanabilmektedir [14]. Sondaj çalışmalarında uygulanan SPT deneyinden elde edilen N darbe sayılarından yararlanılarak zeminin yaklaşık sıklığı-kıvamı, taşıma gücü kaybı ve emniyet gerilmesi hesaplanabilmektedir [15].

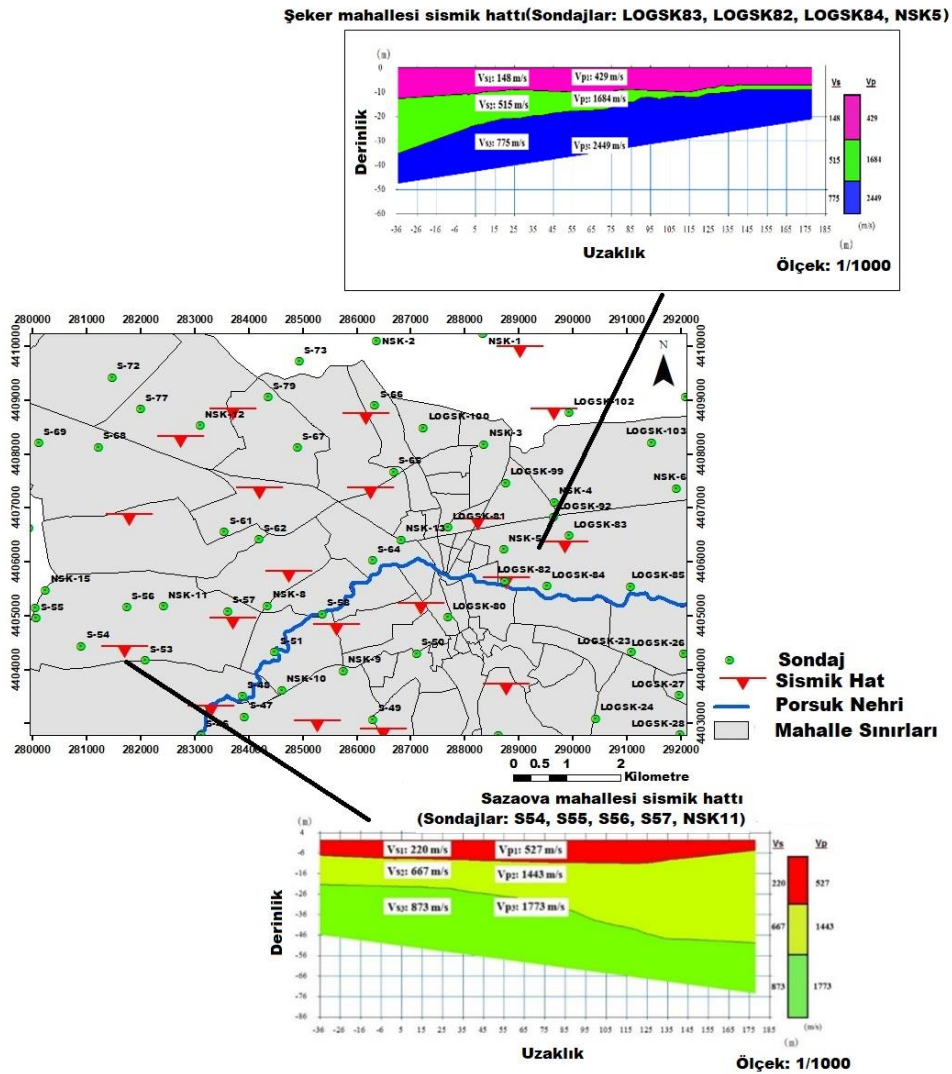
SPT-N değeri ile V_s arasındaki ilişkiyi belirlemek için bu zamana kadar birçok çalışma yapılmıştır. Son zamanlarda, birçok araştırmacı V_s -SPT ve zeminin başka geoteknik özellikleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla ampirik korelasyonlar geliştirmiştir. Bu çalışmalarda, farklı parametreler göz önüne alınarak kayma dalgası hızı tahminleri yapılmıştır. Günümüze en yakın yapılan bazı çalışmalarda jeolojik koşullar, ince dane oranı, yoğunluk, standart penetrasyon testi ve koni penetrasyon testi değerleri kullanılarak tüm zemin sınıfları için ampirik ilişkiler belirlenmiştir [16, 17]. Ayrıca, zemin özelliklerine göre ayrılan (killi topraklar ve kumlu topraklar) V_s ve enerji düzeltilmeli SPT-N (N_{60}) arasında bir ilişki sunan korelasyonlar da vardır [18, 19].

Bu çalışmada 30 m derinliğe sahip 50 adet ayrı lokasyonlarda yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen SPT-N sayılarından, geçmiş çalışmalarda tüm zeminler için SPT-N'den V_s hesabını öneren 17 farklı ampirik yaklaşım dikkate alınarak, tüm sondajlar için V_s hesapları yapılmıştır (Şekil 3). Elde edilen sonuçlar arazide sismik yöntemlerden elde edilen gerçek V_s değerleri ile karşılaştırılarak Eskişehir zemininin V_s değerlerine en yakın yaklaşım belirlenmiştir.

A.2. Kayma Dalgası Hızı Değerleri (V_s)

Zeminin kayma dalgası hızı (V_s) sismik yükler altında saha tepkisinin belirlenmesi ve yapı- zemin etkileşiminin ortaya konması için gerekli olan zeminin dinamik özelliklerinden biridir. Bu çalışmada, arazi çalışmaları kapsamında sondajlarla yakın konumlara sahip alanlarda sismik hatlar atılarak elde edilmiş gerçek V_s değerleri kullanılmıştır (Şekil 3).

Mutlu (2012) ve Güney vd, (2013) çalışmalarında Eskişehir zemini için özellikle yeni alüvyon formasyonunda P Gun yöntemiyle sismik yansıma çalışmaları yapmışlardır [20, 21]. Çalışma sahası için yapılan sismik kırılma-yansıma yöntemi sonucunda toparlanan verilerinin işlenmesiyle, hız kesitlerinde P hızı verilerinin 3 tabakalı modele göre çözümünü elde etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında her bir tabakanın S hızını hız ölçüm aracı (Linear Velocity Line) ile ölçerek belirlemişlerdir. Sismik kırılma-yansıma çalışmalarının yapıldığı 23 farklı lokasyonun hız kesitlerini ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada Mutlu (2012) ve Güney vd, (2013)'in yaptığı çalışmalardan elde edilen zeminin gerçek V_s değerleri kullanılarak analizler yapılmıştır [20, 21]. Çalışma kapsamında örnek olarak 2 mahalleyi (Sazova ve Şeker mahalleleri) temsil eden zeminin kayma dalgası hızı değerleri ve tabakalanma özellikleri Şekil 3'de sunulmaktadır.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan sondajlar, sismik verilerin lokasyon haritası ve Şeker- Sazova mahalleleri sismik kırılma hattı hız kesiti örnekleri

B. METOT

B. 1. Önceki Çalışmalarda Tüm Zeminler için SPT-N'e Bağlı V_s Hesabı Önerilen Ampirik Yaklaşımların İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında çeşitli bilim adamları tarafından SPT-N değerinden zeminin kayma dalgası hızının belirlenebilmesi için önerilen 17 ampirik yaklaşıma göre hesaplanan V_s değerleri ile analizler yapılmıştır (Tablo 1) [22-38]. Bu ampirik yaklaşımlardan 30 m derinlikte 50 farklı sondaja ait SPT-N değerinden V_s hesabı yapılarak ve Eskişehir'de arazide sismik yöntemler kullanarak çalışma alanı zeminini temsil eden 23 ayrı noktada elde edilen gerçek V_s değerleri kullanılarak analizler tamamlanmıştır. Analizler Eskişehir zeminine en yakın yaklaşımı belirlemek amacıyla istatistiksel analiz programı olan SPSS'de yapılmıştır. Bu kapsamda korelasyon ve regresyon analizleri yapılarak regresyon katsayıları belirlenmiştir.

Tablo 1 Geçmiş çalışmalardan elde edilen SPT-N ile V_s arasındaki ampirik korelasyonlar

Tüm Zeminler için V_s (m/sn)	
Kanai (1966)	$V_s=19N^{0.6}$
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s=76N^{0.33}$
Ohba ve Toriumi (1970)	$V_s=84N^{0.31}$
Fujiwara (1972)	$V_s=92.1N^{0.337}$
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s=81.4N^{0.39}$
Imai vd. (1975)	$V_s=89.9N^{0.341}$
Imai (1977)	$V_s=91N^{0.337}$
Ohto ve Goto (1978)	$V_s=85.35N^{0.348}$
Seed ve Idriss (1981)	$V_s=61.4N^{0.5}$
Jinan (1987)	$V_s=116.1(N+0.3185)^{0.202}$
Athanasopoulos (1995)	$V_s=107.6N^{0.36}$
Şişman (1995)	$V_s=32.8N^{0.51}$
İyisan (1996)	$V_s=51.5N^{0.516}$
Jafari vd. (1997)	$V_s=22N^{0.85}$
Kiku vd. (2001)	$V_s=68.3N^{0.292}$
Hasancebeci ve Ulusay (2007)	$V_s=90N^{0.309}$
Dikmen (2009)	$V_s=58N^{0.39}$

IV. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. BULGULAR

A. 1. SPSS Analizi

İstatistiksel analiz çalışmalarında iki veri kümesi arasındaki ilişkiyi ortaya koymanın asıl amacı; doğrudan bu iki veri kümesi hakkında bilgi edinmek değildir. Aynı zamanda veri kümelerinden elde edilen ilişkilerin belirli doğrulukla genellemesi yapılarak değerlendirilmesi, yani bu ilişkiden bir çıkarım yapılabilmesidir. Bu nedenle veri kümeleri arasında yapılan detaylı istatistiklerin (çalışmalarda nitel değişkenlerden nedeniyle oran/yüzde kullanılmakta) hesaplanmasıyla bir araştırmanın tamamlanması çok doğru değildir [39]. Çünkü veri kümeleri arasındaki ilişkinin ortaya konması aynı zamanda bu iki veri kümesini çalışan araştırmacılara betimleyici bilgi sağlamaktır. Bu çalışmalara bilgi sağlamanın yolu ise veri kümeleri arasında nokta, aralık kestirimini veya istatistiksel anlamlılık sınamalarını yapmaktan geçer [40].

A.1.1. Korelasyon

İstatistiksel analizlerde aralıklı ve orantılı düzeyde ölçülmüş iki ya da daha çok veri kümesi arasında ilişki olup olmadığını ve varsa nasıl bir ilişki olduğunu ortaya koyan analiz türü bağıntı olarak tanımlanmaktadır. Bağıntı küçük r harfi ile ifade edilir. Bu değer +1 ile -1 arasında olabilir. Eğer aralarında ilişki aranan iki veri kümesi, aynı oranda artıyor ya da azalıyor ise r değeri artı yönde (pozitif bağıntı), eğer değerlerden biri artarken diğeri azalıyor ise r değeri eksi yönde olmaktadır [41].

Bağıntı katsayısının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını anlamak için p değeri (Sig.) hesaplanır. Günümüzde kullanılan bilgisayar programları bu değeri kolaylıkla hesaplayabilmektedir. Significant (p) değerinin 0.05'ten küçük olması verilerin arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Pearson en çok kullanılan bağıntı katsayısı olup, aralarında ilişki aranan iki değişkenin de ham puan olması koşulunu aramaktadır [41].

Bu çalışmada SPT-N'e bağlı V_s hesabı öneren 17 yaklaşım ile arazide sismik yöntemler kullanılarak belirlenen gerçek V_s değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için SPSS programı aracılığı ile korelasyon ve regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda en yüksek ilişkiyi Jafari vd., (1997) yaklaşımı göstermiştir. Arazide sismik yöntemlerle elde edilen gerçek V_s değerleri ile Jafari'nin SPT-N ile ilişkili V_s yaklaşımı korele edildiğinde verilerin normal dağılım gösterdiği ve Significant değerinin 0.05'ten küçük olması gerçek V_s değerleri ile Jafari yaklaşımının Eskişehir zemini için istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir (Tablo 2).

Tablo 2. SPSS'te V_s30 ve Jafari yönteminden elde edilen değerlerin korelasyon analizi sonuçları

		$V_s 30$	Jafari
$V_s 30$	Pearson Correlation	1	.728(**)
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	23	23
Jafari	Pearson Correlation	.728(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	23	23

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Eskişehir zemininde sismik yöntemlerle belirlenen V_s değerleri ile SPT-N sayısına bağlı olarak hesaplanan Jafari vd. (1997) yaklaşımının arasında pozitif yönde ve anlamlı bir korelasyon (ilişki) bulunmuştur ($r=.728$; $p<0.001$).

A.1.2. Regresyon

Regresyon analizinde ise genellikle bir ya da daha çok sürekli değişkenin belirli bir sürekli değişkeni nasıl yordadığına ilişkin model oluşturulur. Değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya koyan regresyon katsayısı elde edilir [41].

Bu çalışmada lineer regresyon analizi yapılarak arazide sismik yöntemlerle belirlenen zeminin gerçek V_s değerleri ile SPT-N'e bağlı hesabı önerilmiş olan 17 ampirik yaklaşım değerlendirilmiştir. Regresyon analizi sonucunda en iyi ilişkiyi Jafari vd. (1997) yaklaşımı göstermiştir. Jafari vd. (1997) regresyon analizi sonucunda $R=.728$ ve $R^2=.53$ olarak elde edilmiştir. Jafari yönteminden elde edilen V_s değerleri ile Eskişehir zeminine ait gerçek V_s değerleri %53 ilişkilidir (Tablo 3).

Tablo 3. SPSS'te V_{s30} ve Jafari yönteminden elde edilen değerlerin regresyon analizi sonuçları

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.728(a)	.530	.507	106.16823

a Predictors: (Constant), Jafari

B. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında tüm zeminler için önerilen yaklaşımlar Eskişehir zemini için değerlendirilmiş ve SPSS analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda Eskişehir zemini için SPT-N'den V_s hesabı önerilen en iyi yaklaşım belirlenmiştir. Önceki çalışmalarda SPT-N değerine bağlı V_s hesabı önerilen tüm yaklaşımlar Eskişehir zemini için değerlendirilmiş ve istatistiksel analiz çalışmaları kapsamında elde edilen korelasyon ve regresyon analiz sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Önceki bazı çalışmalarda SPT-N'e Bağlı V_s hesapları ve İstatistiksel Analiz Sonuçları

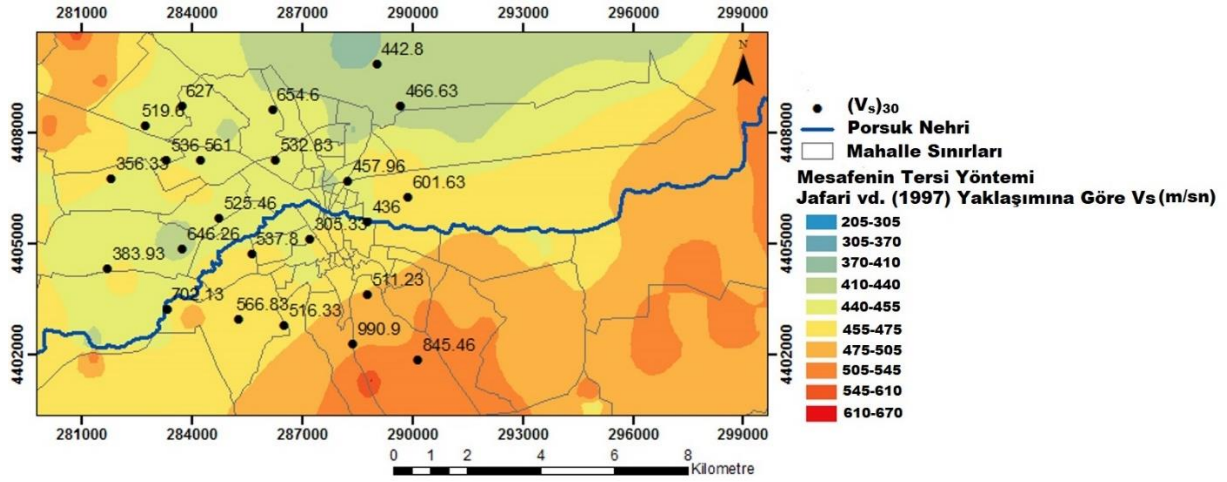
SPT-N'e Bağlı Literatürde Önerilen Tüm Zeminler için V_s Hesabı (m/sn)		İstatistiksel Analiz Sonuçları	
Yöntem	V_s Değerleri Hesabı	Significant (p)	R Square(R^2)
Kanai (1966)	$V_s=19N^{0.6}$	0.264	0.059
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s=76N^{0.33}$	0.274	0.057
Ohba ve Toriumi (1970)	$V_s=84N^{0.31}$	0.248	0.063
Fujiwara (1972)	$V_s=92.1N^{0.337}$	0.224	0.070
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s=81.4N^{0.39}$	0.260	0.060
Imai vd. (1975)	$V_s=89.9N^{0.341}$	0.023	0.224
Imai (1977)	$V_s=91N^{0.337}$	0.273	0.057
Ohto ve Goto (1978)	$V_s=85.35N^{0.348}$	0.263	0.059
Seed ve Idriss (1981)	$V_s=61.4N^{0.5}$	0.274	0.057
Jinan (1987)	$V_s=116.1(N+0.3185)^{0.202}$	0.279	0.055
Athanasopoulos (1995)	$V_s=107.6N^{0.36}$	0.006	0.312
Şişman (1995)	$V_s=32.8N^{0.51}$	0.266	0.058
İyisan (1996)	$V_s=51.5N^{0.516}$	0.071	0.147
Jafari vd. (1997)	$V_s=22N^{0.85}$	0.000	0.530
Kiku vd. (2001)	$V_s=68.3N^{0.292}$	0.261	0.060
Hasancebeci ve Ulusay (2007)	$V_s=90N^{0.309}$	0.022	0.225
Dikmen (2009)	$V_s=58N^{0.39}$	0.305	0.050

Çalışmada yapılan istatistiksel çalışmalar kapsamında gerçek V_s değerleri ve tüm ampirik yaklaşımlardan hesaplanan V_s değerleri SPSS analizi ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, SPT-N'e bağlı olarak zeminin kayma dalgası hızı hesabını öneren ampirik yaklaşımlardan Imai vd. (1975), Athanasopoulos (1995), Jafari vd. (1997) ve Hasancebeci ve Ulusay (2007)'nin pozitif yönde ve anlamlı bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Ancak %53 ile Eskişehir zemini için en yüksek ilişkiyi Jafari vd. (1997) yaklaşımı göstermiştir (Tablo 4). Sazova mahallesinde yer alan örnek S53 sondajı için Imai vd. (1975), Athanasopoulos (1995), Jafari vd. (1997) ve Hasancebeci ve Ulusay (2007)'in formüllerinden hesaplanan V_s değerleri ile araziye özgü sismik ölçümlerle belirlenen V_s değeri fikir vermesi açısından Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 5. S53 Sondajının Anlamlı Korelasyon Gösteren 4 Ampirik Yaklaşımına Göre SPT-N'e Bağlı V_s Sonuçları

Yöntem	Hesaplanan $(V_s)_{30}$ Değerleri (m/sn)	Arazide Ölçümlerle Belirlenen $(V_s)_{30}$ Ortalama Değerleri (m/sn)
Imai vd. (1975)	319.87	624.26
Athanasopoulos (1995)	410.95	
Jafari vd. (1997)	524.58	
Hasancebeci ve Ulusay (2007)	284.22	

Çalışmada, ayrıca belirlenen en iyi yöntem olan Jafari yaklaşımına göre $(V_s)_{30}$ haritası oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu harita Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı ArcGIS 10 yazılımında Mesafenin Tersisi enterpolasyon yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Mesafenin tersi yöntemi, yakındaki bilinen bir noktanın değerini ve uzaklığını kullanarak bilinmeyen noktadaki değerleri tahmin etmektedir [42]. Geoteknik çalışmalar için CBS'de jeostatistiksel analiz yöntemlerinden en sık kullanılanlardan biri Mesafenin Tersisi (IDW) yöntemidir [43]. Bu yöntem kullanılarak oluşturulan harita göz önüne alındığında alüvyon zemin içerisinde Jafari yaklaşımının iyi ilişki gösterdiği görülmektedir. Bazı yerlerde 50- 100 m/sn hassasiyetle V_s değerlerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4. Çalışma alanı 0-30 m derinlik için Jafari vd. (1997) yaklaşımı ile Mesafenin Tersisi yöntemi kullanılarak oluşturulan $(V_s)_{30}$ haritası

V. SONUÇLAR

Zeminin kayma dalgası hızı geoteknik çalışmalarda en önemli dinamik zemin özelliklerinden biridir. Zemin davranış analizlerinde, zemin hakim periyodu, frekansı, zemin büyütme katsayısının hesaplanması için en önemli parametre zeminin kayma dalgası hızı değeridir. Arazide yerinde ölçümler ile zaman alıcı ve insan gücü gerektiren birçok zeminin kayma dalgasını belirleyen yöntem vardır. Ancak bu yöntemlerin çoğu, belirli iş gücü gerektiren, zaman alan ve ekonomik olmayan yöntemlerdir.

Son yıllarda özellikle geoteknik mühendisliği çalışmalarında kullanımı sıklıkla artan istatistiksel analiz yöntemleri ile zeminin mühendislik özellikleri arasındaki ilişki belirlenebilmektedir. Bu zamana kadar araştırmacıların SPT-N sayısına bağlı olarak V_s hesabı öneren birçok yaklaşım bulunmaktadır. Ancak bu yaklaşımların çalışma alanları farklıdır ve bazıları 10 m derinlikteki zemin için elde ettiği gerçek V_s değerleri ile SPT-N değerini korele etmiştir. Bu yaklaşımlar V_s 10-30 ve V_{s30} değerlerinin belirlenmesinde doğruluk göstermemektedir.

Bu çalışmada 17 yaklaşıma göre yapılan istatistik analiz sonuçlarına göre Imai vd. (1975), Athanasopoulos (1995), Jafari vd. (1997) ve Hasancebeci ve Ulusay (2007) 'nın öne sürdüğü yaklaşımların Significant değerlerinin 0.05'ten küçük olması Eskişehir zemini için istatistiksel olarak anlamlı olduklarını göstermektedir. Ancak regresyon analiz sonuçlarına göre V_{s30} değeri için en yüksek ilişkiyi $R=728$ ve $R^2=53$ değerlerinden Jafari vd. (1997) 'nin öne sürdüğü $V_s=22N^{0.85}$ yaklaşımı göstermiştir. Eskişehir zemini için SPT-N'e bağlı kayma dalgası hızının belirlenmesi Jafari yönteminden %53 doğrulukla elde edilmektedir. Ancak R-squared 1'e yakın olmadığından tek başına SPT-N'den zeminin kayma dalgası hızının belirlenmesinde tam doğrulukta iyi bir yöntem olduğunu söyleyemeyiz. Bu nedenle mevcut formüller sahayı temsil etme konusunda yeterli değildir. Çalışma sonucunda inceleme alanı için Jafari vd. (1997) yaklaşımına göre oluşturulan V_{s30} haritası bu konuda çalışma yapan araştırmacılara kullanılabilir bir veri sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma ilk yazar tarafından Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde 2012 yılında tamamlanan yüksek lisan tezi tarafından üretilmiştir. Ayrıca Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no:080240).

V. KAYNAKLAR

- [1] N. Abrahamson, G. Atkinson, D. Boore, Y. Bozorgnia, K. Campbell, B. Chiou, I. M. Idriss, W. Silva, ve R. Youngs, "Comparisons of the NGA ground-motion relations," *Earthquake Spectra*, vol. 24:1, pp.45-66, 2008.
- [2] D. P. McKenzie, "Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: The Aegean Sea and Surrounding Regions," *Geophys. J. Astr. Soc.*, vol. 55, pp. 217-254, 1978.
- [3] A. M. C. Şengör, N. Görür ve F. Şaroğlu, "Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study," In: *Biddle KT*, Christie-Blick N, editors. StrikeSlip Faulting and Basin Formation. Tulsa, OK, USA: SEPM, pp. 227–264, 1985.
- [4] F. Şaroğlu, Ö. Emre ve A. Boray, "Active faults and seismicity in Turkey. " MTA Report No: 8174, Ankara, Turkey: MTA, 1987.
- [5] A. Barka, R. Reilinger, F. Şaroğlu ve A. M. C. Şengör, "The Isparta angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region," Pişkin. Ö, Ergün. M, Savaşçın. M.Y ve Tarcan. G (ed.). *IESCA-1995 Proceedings*, 3-17, 1995.
- [6] E. Altunel ve A. Barka, "Eskişehir Fay Zonu' nun İnönü-Sultandere arasındaki neotektonik aktivitesi," *TJB*, c: 41, no: 2, ss. 41-52, 1998.
- [7] F. Tokay ve E. Altunel, "Neotectonic Activity of Eskişehir Fault Zone around İnönü-Dodurga," *Journal of MTA* c:130, ss.1-15, 2005.
- [8] M.Z. Gözler, F. Cevher ve A. Küçükayman, "Eskişehir civarının jeolojisi ve su kaynakları," *MTA Dergisi*, 103/104, ss. 40-54, Ankara, 1984-1985.
- [9] E. Ölmez, Z. Demirel ve Ö. F. Uzel, "Eskişehir Es-1 Ve Es-2 Sıcaksu Sondajları Kuyu Bitirme Raporu," Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi: Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, 1986.
- [10] B. Yücel, "Eskişehir Sıcaksu Sondajı (ES-3) Kuyu Bitirme Raporu," Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1986.

- [11] S. Azdıken ve E. Çatalyürekli, “Eskişehir Odunpazarı Belediyesi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu,” DSİ III. Bölge Müdürlüğü, 2001.
- [12] T. Sevinçli ve E. Çatalyürekli, “Eskişehir Tepebaşı Belediyesi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu,” DSİ III. Bölge Müdürlüğü, 2001.
- [13] E. Civelekler ve E. Pekkan, “The Application of GIS in Visualization of Geotechnical Data (SPT-Soil Properties): A Case Study in Eskişehir-Tepebaşı, Turkey,” *International Journal of Engineering and Geosciences*, vol: 7, ss. 302-313, 2022.
- [14] O. Sivrikaya ve E. Toğrol, “İnce daneli zeminlerde SPT sonuçlarının düzeltilmesi üzerine bir çalışma,” *İTÜ Dergisi/d*, c.2, s.6, 2010.
- [15] K. Terzaghi ve R.B. Peck, “Soil Mechanics in Engineering Practice,” *John Wiley and Sons Inc.*, N.Y, 1948.
- [16] M. Akın, S. L. Kramer ve T. Topal, “Empirical correlations of shear wave velocity (V_s) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey),” *Eng Geo* vol.119, ss. 1-17, 2011
- [17] P. Anbazhagan, A. Parihar ve HN. Rashmi, “Review of correlations between SPT-N and shear modulus: a new correlation applicable to any region”, *Soil Dyn Earthq Eng* vol.36, ss. 52–69, 2012.
- [18] K. Pitilakis, D. Raptakis, K.T. Lontzetidis, T. Vassilikou ve D. Jongmans, “Geotechnical and geophysical description of Euro-Seistests, using field and laboratory tests, and moderate strong ground motions”, *Journal of Earthquake Engineering* vol.3, ss. 381–409, 1999.
- [19] M. K. Jafari, A. Shafiee ve A. Razmkhah, “Dynamic properties of fine grained soils in south of Tehran”, *J. Seismol. Earthq. Eng.* Vol.4, ss. 25–35, 2002.
- [20] S. Mutlu, “Sismik Kırılma Yöntemi ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Haritalanması,” Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2012.
- [21] Y. Güney, B. Ecevitoglu, E. Pekkan, U. Avdan, M. Tün, O. Kaplan, S. Mutlu, E. Akdeniz ve .. “Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması,” Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Proje No:080240, 2013.
- [22] K. Kanai, “Conf. on Cone Penetrometer The Ministry of Public Works and Settelement,” Ankara, Turkey, presented by Y Sakai, 1968.
- [23] T. İmai ve Y. Yoshimura, “Elastic Wave Velocity and Soil Properties in Soft Soil,” *Tsuchito-Kito*, vol. 18, no.1, pp. 17-22, (in Japanese), 1970.
- [24] S. Ohba ve I. Toriumi, “Dynamic response characteristics of Osaka Plain,” *In: Proceedings of the annual meeting AIJ (in Japanese)*, 1970.
- [25] T. Fujiwara, “Estimation of ground movements in actual destructive earthquake,” *Proceeding of Fourth European Symposium on Earthquake Engineering*, London, pp. 125-132, 1972.
- [26] Y. Ohsaki ve R. Iwasaki, “On dynamic shear moduli and Poisson's ratio of soil deposits,” *Soil Found* 13, pp. 61-73, 1973.

- [27] T. İmai, H. Fumoto ve K. Yokota, "The relation of mechanical properties of soil to P and S-wave velocities in Japan," *Proceedings of 4th Japan Earthquake Engineering Sym*, 89-96 (in Japanese), 1975.
- [28] T. İmai, "P and S wave velocities of the ground in Japan," *Proceeding of IX International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 127-132, 1977.
- [29] Y. Ohta ve N. Goto, "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indexes," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 6, pp. 167-187, 1978.
- [30] H. B. Seed ve I. M. Idriss, "Evaluation of liquefaction potential sand deposits based on observation of performance in previous earthquakes," *ASCE National Convention (MO)*, pp. 481-544, 1981.
- [31] Z. Jinan, "Correlation between seismic wave velocity and number of blow of SPT and depth," *Selected Papers from the Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, pp. 92-100, 1987.
- [32] G. A. Athanasopoulos, "Empirical correlations V_s -N SPT for soils of Greece: a comparative study of reliability," Akmak. A. S. Ç, (Ed), *Proceedings of 7th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering (Chania, Crete)*, Computational Mechanics, Southampton, pp. 19-36, 1995.
- [33] H. Şişman, "Sismik Dalga Hızları ile SPT ve Pressiometre Deney Sonuçları Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1995.
- [34] R. İyisan, "Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı İle Penetrasyon Deney Sonuçları Arasındaki Bağlılıklar," *İMO Teknik Dergi*, 1996. Yazı 89, pp.1187-1199, 1996.
- [35] M. K. Jafari, A. Asghari ve I. Rahmani, "Empirical correlation between shear wave velocity (V_s) and SPT-N value for south of Tehran soils," *In: Proceedings of the 4th International Conference on Civil Engineering*, Tehran, Iran, 1997.
- [36] H. Kiku, N. Yoshida, S. Yasuda, T. Irisawa, H. Nakazawa, Y. Shimizu, A. Ansal ve A. Erkan, "In-situ penetration tests an soil profiling in Adapazari, Turkey," *Proceeding of the ICSMGE/TC4 Stallite Conference on Lessons Learned From Recent Strong Earthquakes*, pp. 259-265, 2001.
- [37] N. Hasancebi ve R. Ulusay, "Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol.66, no.2, pp. 203-213, 2007.
- [38] Ü. Dikmen, "Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils," *Journal of Geophysics and Engineering*, vol.6, pp. 61, 2009.
- [39] N. Çömlekçi, "*Bilimsel araştırma yöntemi ve istatistiksel anlamlılık sınamaları*," Ankara: Bilim Teknik Yayınevi, 2001.
- [40] Y. Karagöz ve S. Ekici, "Sosyal Bilimlerde Yapılan Uygulamalı Araştırmalarda Kullanılan İstatistiksel Teknikler ve Ölçekler," *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c.5, s.1, Sivas, 2004.
- [41] Y. Akbulut, "*Sosyal Bilimlerde SPSS Uygulamaları*," 1. Baskı, İdeal Kültür Yayıncılık, İstanbul, 2010.

[42] E. Akdeniz, "Eskişehir Zeminini İçin Kayma Dalgası Hızı (V_s) ile Standart Penetrasyon (SPT) Sayısı Arasındaki İlişkinin Modellenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2012.

[43] E. Civelekler, D. V. Okur ve K. B. Afacan, "Eşdeğer Analiz Yöntemi ile Belirlenen Zemin Büyütme Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Haritalanması: Eskişehir Örneği", 7. Uzaktan Algılama- CBS Sempozyumu (UZAL CBS 2016), Eskişehir, Türkiye, 18-21 Eylül 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Duvar Bloklarında Boşluk Geometrisinin Isı Transferine Etkisinin İncelenmesi

 Ersin HAYDARASLAN ^{a,*},  Burhan ÇUHADAROĞLU ^b

^a Elektrik ve Enerji Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

^b Makine Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.1002564

ÖZ

Boşluklu bloklar, hafif ve yüksek ısı dirençleri sayesinde, binalarda yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu blokların kullanım koşullarına göre bloktaki hava boşluğunun oranı, geometrisi ve sayısının ısı akısına ve sıcaklık dağılımına etkilerinin incelenmesi gerekir. Bu amaçla çalışmada bir sıra iki boşluklu ve iki sıra iki boşluklu toplam sekiz farklı içyapı formunda bloğun, sabit sınır koşullarında ve zamandan bağımsız ısı analizleri yapılmıştır. Bloklarda boşluk oranı arttıkça, boşluklardaki hava hızının arttığı ve sıcak havanın kaldırma kuvvetleri etkisiyle üst taraflarda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu durum iç yüzey sıcaklığını düşürürken dış yüzey sıcaklığını yükseltmiş ve yaklaşık %29 fazla ısı akısına neden olmuştur. Boşluk sayısının ısı akısına etkisi incelendiğinde, çalışmada kullanılan sınır koşullarında boşluk sayısının ısı geçişi doğrultusu boyunca fazla olmasının ısı akısını yaklaşık %29 oranında düşürmekte olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bloklarda boşluk oranı fazla veya boşluk sayısı az olsa bile, kaldırma kuvvetleri etkilerinin azaltılabilmesi için, boşluğun ısı akısı doğrultusunda boyutunun az olması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boşluklu blok, Blok içyapı formu, Isıl analiz, Doğal taşınım, Kaldırma kuvvetleri etkisi

Analysis of the Effect of Hollow Geometry of Wall Blocks on Heat Transfer

ABSTRACT

Hollow blocks have widespread use on building envelopes thanks to their lightweight and high thermal resistance. According to the usage conditions of these blocks, the effects of the ratio, geometry and number of the cavities in the block on the heat flux and temperature distribution should be examined. For this purpose, thermal analyses of the block in the form of eight different inner forms with one row of two cavities and two rows of two cavities in the market and literature were carried out under fixed boundary conditions and steady-state. It was observed that as the hollow ratio increased in the blocks, the air velocity in the cavities increased and the hot air clustered on the upper sides due to the buoyancy forces. This situation caused the inner surface temperature to decrease, the outer surface temperature increased, and %29 more heat flux. When the effect of the number of cavities on the heat flux was examined, it was found that, under the boundary conditions used in the study, the higher the number of cavities along the heat transfer direction, 29% reduced the heat flux. It was determined that the size of the cavity in the direction of the heat flux should be small to reduce the effects of the buoyancy forces, even if the hollow ratio is high or the number of cavities is low in the blocks.

Keywords: Hollow block, Block inner form, Thermal analysis, Natural convection, The buoyancy effect

I. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil kaynaklara dayalıdır. Fosil kaynak kullanımı iklim değişikliğine neden olan sera gazları salınım miktarını artırmakta ve buna bağlı olarak özellikle gelişmiş ülkeler bu soruna çözüm bulmak için ortak çalışmalar yürütmektedir [1-3]. Avrupa'daki enerji kullanım dağılımlarına bakıldığında kentsel binaların nihai enerji kullanımının %60'ından sorumlu olduğu görülmektedir [4]. Ayrıca AB tarafından 2018 yılında binaların enerji performansının artırılması konusunda hazırlanan direktifte AB ülkelerinde tüketilen enerjinin %50'sinin binaların ısıtılması ve soğutulması için harcandığı belirtilmiştir [5]. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2018 yılında yayınladığı rapora göre ise, dünyada enerji tüketimi ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarındaki artış nedeni ile 2010 yılından bu yana iki katına çıkmıştır [6]. Binalarda kullanılan enerjideki bu artış, geniş ölçüde önlemler alınması gerektiğini göstermektedir. Bu önlemlerden bir tanesi bina kabuklarında yapılacak iyileştirmelerdir. Bilindiği gibi bina kabuğunda yapılan ısı iyileştirme sayesinde enerji kullanımında tasarruf sağlanabilir.

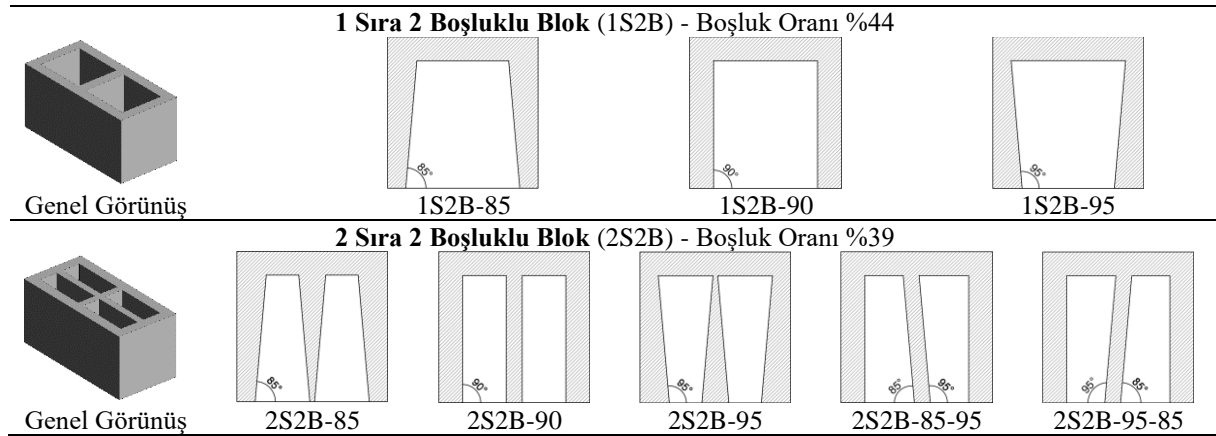
Bina kabuğunda (dış duvarlarında) kullanılmakta olan boşluklu bloklar, hafif yapıları ve yüksek ısı dirençleri nedeniyle yaygın bir kullanıma sahiptir. Piyasada belirli formlarda ve iç boşluk geometrisine sahip boşluklu bloklar üretilmektedir. Bloklardaki hava boşlukları bu blokların ısı direncinin artmasını sağlar. Ancak bloktaki hava boşluk oranı, geometrisi ve sayısının; ısı akısına ve sıcaklık dağılımına olan etkilerinin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir [7-12]. Bu amaçla yapılan çalışmalardan olan Flack vd. [13]'nin yaptığı çalışmada üçgen yapıdaki boşluklarda doğal taşınım hızının tahmini ve ölçümü yapılmıştır. Çalışmada 30°, 45° ve 60° taban açıları referans alınarak incelemeler yapılmıştır. Çalışmadan elde edilmiş olan bulgulara göre; her bir açıda etki eden farklı kaldırma kuvvetlerinden dolayı ısı transferi de değişmektedir. Türkoğlu ve Yücel [14]; iki ve ikiden fazla boşluklu bloklarda ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada; boşluk sayısı arttıkça Rayleigh sayısı ve ortalama Nusselt sayısının arttığı görülmüştür. Artan Rayleigh sayısı ile taşınım olan ısı transferinin de arttığı belirtilmiştir. Al-Hazmy [9] katı bir bloğu referans alarak, içerisinde tek sıra üç kare boşluk bulunan bir blokta ısı analiz yapmıştır. Çalışmada; boşluklarda hava ve ısı yalıtım malzemesinin bulunduğu durumlar incelenmiştir. Katı bloğa göre içerisinde hava boşluğu bulunan blokta %63, boşluklarda ısı yalıtım malzemesi olması durumunda %73 daha düşük ısı akısı elde edilmiştir. Al-Tamimi vd. [15]; on iki farklı blok formunda ısı geçişini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada yapılmış olan simülasyon sonuçları, içi boş blokların optimum tasarlanmış geometrisinin, piyasada bulunan geleneksel içi boş bloklardan daha iyi ısı performansına sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmadan elde edilmiş olan deneysel bulgular ise optimum geometriye sahip yeni bloğun, diğer içi boş blok tasarımlarına kıyasla ısı transferini %71'e kadar düşürdüğünü göstermiştir. Alhazmy [16] boşluklu bloklarda, boşluk geometrisinin ısı akısına etkisini sayısal incelemiştir. Çalışmada boşluk içerisinde farklı sayılarda katlanmış tabakalar koyularak üçgen hücreler oluşturulmuştur. Çalışmada üçgen hücrelerin sayısı arttıkça doğal taşınım olan ısı transferinin düşmekte olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre hücreler ısı akısını, bölme sayısına ve malzemelere bağlı olarak %37-42 oranında düşürebilmektedir. Sun ve Fang [17] yetmiş bir adet boşluklu blok için sayısal bir ısı analiz yapmıştır. Çalışmada doğal taşınım etkileri dikkate alınarak boşluk boyutlarının ısı geçişine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre; ısı geçişine paralel yönde boşluk sayılarının artması ile ısı transferi %25'e kadar düşmektedir Alghamdi ve Alharthi [11]; üç farklı geometrideki boşluğa sahip bloklarda, boşluk geometrisinin ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan geometriler dikdörtgen, köşegen ve altıgen yapıda oluşturulmuştur. Çalışmada boşluk şeklinin bloğun x ve y yönlerindeki ısı transferini önemli ölçüde değiştirmedikleri bulgusuna ulaşılmıştır. Z yönündeki ısı transferinin ise köşegen formda %6, altıgen formda %8 azaldığı belirlenmiştir. Antar ve Baig [18]; boşluklu bloklarda iletim ve taşınım olan ısı transferinin birleşik etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada blok boyutları sabit kalmak üzere, boşluk oranının değişmesi ile bloğun ısı direncinin değişebileceği görülmüştür. Boşluk oranı artırıldıkça daha düşük Rayleigh sayıları ile doğal taşınım etkilerinin azalmakta olduğu, bu sayede boşluklarda ısı yalıtım malzemesinin kullanıldığı durumdaki ısı dirence yaklaşıldığı belirlenmiştir.

Bu çalışmada literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınarak, boşluklu blokların içyapı formlarının ısı transferine etkileri incelenmiştir. Bu inceleme piyasada ve literatürde yer alan bir sıra iki boşluklu ve iki sıra iki boşluklu bloklar için yapılmıştır. Bu iki bloğun içyapı formlarında değişiklikler yapılarak toplam sekiz farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller oluşturulurken literatürde yer alan formlardan farklı olarak blok içerisindeki boşluğun, bloğun alt yüzeyinden üst yüzeyine doğru veya üst yüzeyinden alt yüzeyine doğru daralan-genişleyen formda (açıda) olması ile literatüre yeni bir blok içyapı formu kazandırılması amaçlanmıştır ve çalışmanın özgün değerini oluşturmuştur. Boşluklu bloklarda sıcaklık dağılımları, ısı akıları ve boşluklardaki hava hareketine ait hız alanları Ansys Fluent 2020 R1 kodu ile elde edilmiştir. Elde edilen sıcaklık dağılımları ve ısı akıları boşluk oranı, geometrisi ve sayısı açısından değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında belirli bir sınır koşulunda ve zamandan bağımsız (daimi) durum için ısı performans açısından en uygun içyapı formu belirlenmiştir.

II. METOD

A. BLOK ÖRNEKLERİ

Çalışma için boşluklu blok içyapı formları piyasada ve literatürde yaygın olarak kullanılanlar arasından seçilmiştir [15, 19-22]. Bu formlardaki boşluk oranı, boşluk sayısı ve boşluk geometrisinin ısı transferine etkileri incelenmiştir. Çalışmada; en, boy ve yüksekliği 190x390x190 mm olan sekiz farklı içyapı formuna sahip boşluklu blok kullanılmıştır. Blok içyapı tasarımları ve boşluk oranları Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Boşluklu blok formları ve boşluk oranları.

B. MATEMATİKSEL MODEL

Çalışmada boşluklu bloklardaki ısı akısı ve sıcaklık dağılımını elde etmek üzere, zamandan bağımsız, sabit ısı özellik kabulü ile üç boyutlu enerji ve momentum denklemleri kullanılmıştır. Çözümlemede Şekil 2’de görülen koordinat sistemi kullanılmıştır. Sadece boşlukların içerisindeki hava yoğunluğunun sıcaklığa bağlı değiştiği kabul edilmiştir. Bu sayede boşlukların içerisindeki havanın doğal taşınım ile hareketi incelenmiştir. Bloklardaki ısı iletimi denklemi:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

Boşluklardaki hava için süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

x, y ve z doğrultularındaki momentum denklemi:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u \quad (3)$$

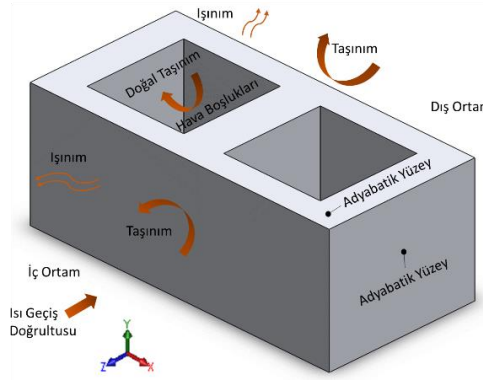
$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v + g\beta(T - T_c) \quad (4)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w \quad (5)$$

Enerji denklemi:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{k}{\rho C_p} \nabla^2 T \quad (6)$$

Burada T sıcaklık (K), u, v, w hız bileşenleri (m/s), p basınç (N/m²), k ısı iletim katsayısı (W/mK), C_p sabit basınçta özgül ısı (J/kgK), ρ yoğunluk (kg/m³), β ısı genleşme katsayısı (1/K) ve ν kinematik viskozitedir (m²/s). Yukarıda yer alan temel denklemler Ansys Fluent 2020 R1 programı kullanılarak çözülmüştür.



Şekil 2. Blok üzerinde koordinat sistemi ve sınırların perspektif görünüşü.

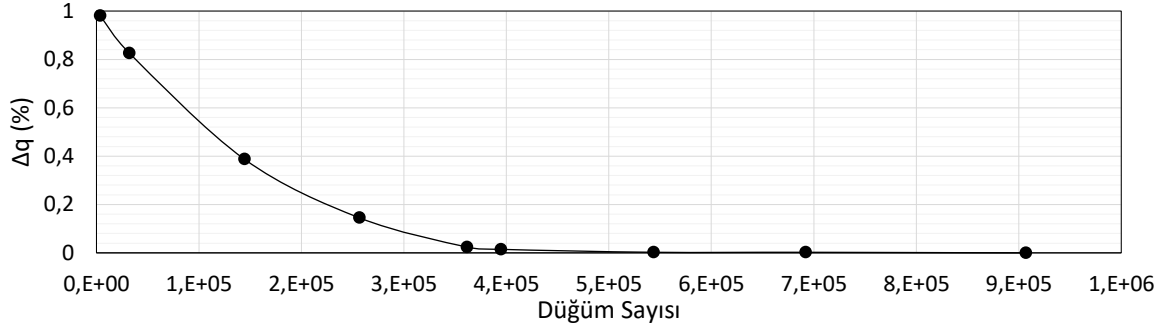
C. SAYISAL BENZEŞİM

Havadan olan ısı transferinin, blok malzemesinin ısı iletiminden daha düşük olduğu durumlarda, boşluklu bloklardaki ısı transferi daha fazla hava boşluğu kullanılarak düşürülebilir. Ancak blok içerisindeki boşluk oranı arttıkça doğal taşınım etkilerinden dolayı her zaman ısı transferi azalmayabilir. Bu amaçla Şekil 1'de görülen boşluklu bloklarda belirli sınır koşulları için ısı akısı ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Çözümleme zamandan bağımsız yapılmıştır ($\partial T/\partial t = 0$). Boşluklu blokların boyutları bu çalışmada bir inceleme parametresi olmadığı için bütün boşluklu bloklar için standart boyutlar göz önüne alınarak modellenme yapılmıştır. Bu sayede boşluk oranı ve boşluk geometrisinin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Sayısal çalışmalarda sonuçlar ağ yapısı ve ağ boyutlarına göre farklılık gösterebildiği için, yapılan bir ön çalışma ile çözümlerin ağdan bağımsız olması sağlanmıştır. Boşluklu bloklara 3600 ile 910000 aralığında düğüm noktası sayısı ile ağ atanarak ısı akıları elde edilmiştir. Elde edilen ısı akıları aralarındaki bağıl farklar (7) nolu eşitlik ile verilmiş olan Δq (%) ile hesaplanarak ağdan bağımsız çözümü veren düğüm sayısı belirlenmiştir.

$$\Delta q (\%) = \left[\frac{q_i - q_\infty}{q_\infty} \right] \times 100 \quad (7)$$

Burada q_i değişken düğüm sayısındaki ısı akısı, q_∞ ise 910000 düğüm sayısındaki ısı akısıdır. Hesaplanan değerlerin düğüm sayısına göre olan değişimleri Şekil 3'te verilmiştir. Değişim grafiğinden de görüldüğü gibi; düğüm sayısı 500000'den sonra Δq %0.01'den küçük olduğu için sonuçların ağıdan bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Bu düğüm sayısı için blokta 0.007 m, hava boşluğunda 0.003 m boyutlarına sahip yapılandırılmamış ağ kullanılmıştır.



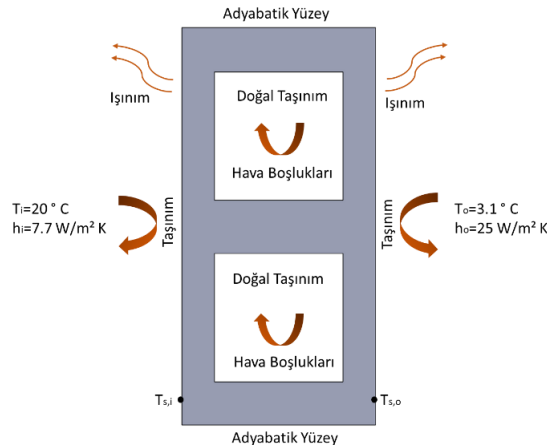
Şekil 3. Δq için ağ bağımsızlık incelemesi.

Sayısal çalışmada blok malzemesi için pomza özellikleri, boşluklarda ise hava özellikleri tanımlanmıştır. Pomza [19] ve hava [23] için gerekli olan fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Tabloda görülen hava yoğunluğu ortalama değer olup, çalışmada yoğunluğun sıcaklıkla olan değişimi göz önüne alınmıştır.

Tablo 1. Malzeme özellikleri.

	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (J/kg K)	Isı İletkenliği (W/m K)
Pomza (Blok)	1000	1000	0.280
Hava	1.225	1006.43	0.0242

Çalışmada dış ortam sıcaklık sınır koşulu için İstanbul dış hava sıcaklığı (3.1 °C) kullanılmıştır. İç ortam sıcaklığı (20 °C), iç ortam ısı taşınım katsayısı (7.7 W/m² K) ve dış ortam ısı taşınım katsayısı (25 W/m²K) Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kurallarında (TS 2164) yer alan değerler olarak kullanılmıştır [24]. Blok kısmında ısı iletimi, boşluklarda ve blokların dış yüzeylerinde ısı taşınım tanımlanmıştır. Bir duvarda bloklar üst üste ve yan yana koyulduğu için bloğun alt, üst ve yan yüzeyleri adyabatik olarak tanımlanmıştır (Şekil 4).

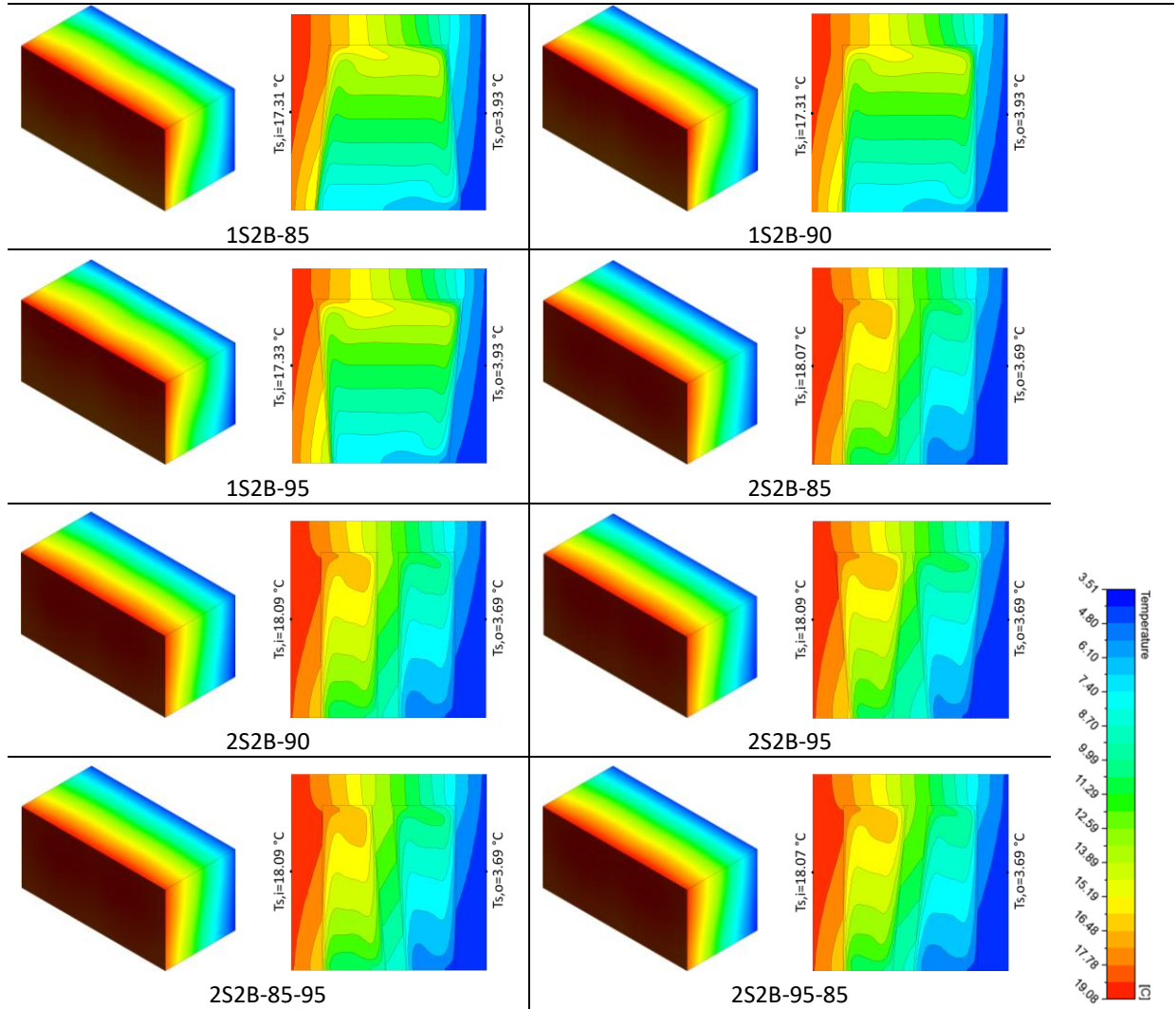


Şekil 4. Çalışmada kullanılan bloklara ait sınır koşulları.

Çalışmadaki temel denklemlerin ayrıklaştırılmasında Patankar [25] tarafından önerilen ayrıklaştırma yöntemi kullanılmıştır. Denklemlerdeki sabit terimler, birinci dereceden implicit yöntem benimsenerek ayrıklaştırılmış ve SIMPLE [25] algoritması kullanılmıştır. Momentum ve enerji denklemlerindeki difüzyon terimlerini ve taşınım terimlerini ayrıklaştırmak için ikinci dereceden doğrulukla enterpolasyon yapılmıştır [26]. Ek olarak ışınım ısı transferi için DO (Discrete Ordinates) radyasyon modeli kullanılmıştır [27]. Boşluklu bloğun içindeki sıcak yüzeyin yanında doğal taşınım sınır tabakasında $Ra \cong 10^5 < 10^9$ olduğundan, viskoz kuvvetleri hesaplamak için laminer model kullanılmıştır. Bunun yanında, $Gr_L/Re_L^2 > 1$ olduğundan hesaplarda kaldırma kuvveti etkileri dikkate alınmıştır [28]. Analizlerde yakınsama kriteri süreklilik ve momentum denklemleri için literatürde en az 10^{-5} , enerji denklemi için en az 10^{-6} olarak önerildiğinden [26,29] çalışmada da bu değerler yakınsama kriteri olarak kullanılmıştır. Al-Hazmy [9]; bu çalışmada kullanılan algoritmayı de Vahl Davis [30] tarafından yapılmış olan karşılaştırmalı ve sayısal çözümlü çalışma ile doğrulamıştır.

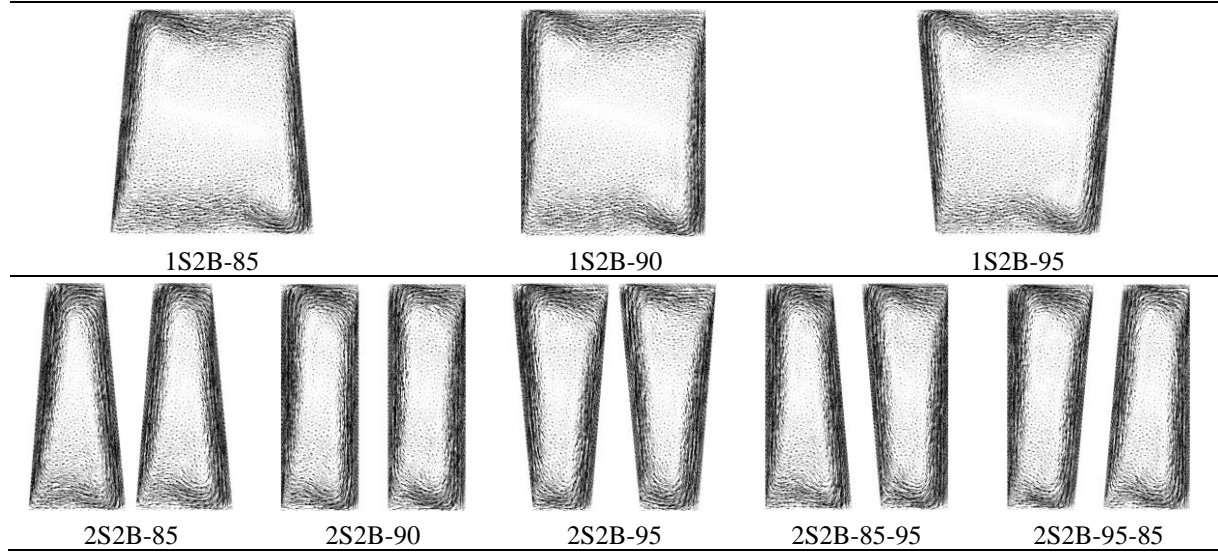
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada farklı içyapı formlarında sekiz adet boşluklu blok için ısı analizler yapılmıştır. Bloklarda hesaplanmış olan sıcaklık değerlerine göre blokların perspektif ve kesit görünüşleri üzerinde eş sıcaklık dağılımları elde edilmiştir. Elde edilen iç/dış yüzeylerdeki ortalama sıcaklıklar Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Bloklarda sıcaklık eşeğrileri.

Bloklardaki boşluk oranları 1S2B modellerinde %44, 2S2B modellerinde %39'dur. Bloklarda boşluk oranı ile sıcaklık dağılımı ve ısı akısı arasındaki ilişkiye bakıldığında; 1S2B modellerinde ortalama iç yüzey sıcaklıkları ($T_{s,i}$) 17.31 °C ile 17.33 °C aralığında, ortalama dış yüzey sıcaklıkları ($T_{s,o}$) 3.93 °C olurken, 2S2B modellerinde bu sıcaklıklar iç yüzeyde 18.07 °C ile 18.09 °C aralığında, dış yüzeyde 3.69 °C olmuştur. Aynı boşluk oranlarında fakat farklı içyapı formlarında olan 1S2B modellerinde yüzey sıcaklıkları farkı 10^{-3} 'ten daha düşük olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu 2S2B modelleri için de aynıdır. Yüzey sıcaklıklarındaki değişim az olsa da ısı akıları farklılık göstermiştir. Boşluk oranı ve boşluk geometrisinin ısı akısına etkilerini görebilmek amacıyla bloklardaki boşluklarda hava hareketine ait hız alanları çizdirilmiştir (Şekil 6).



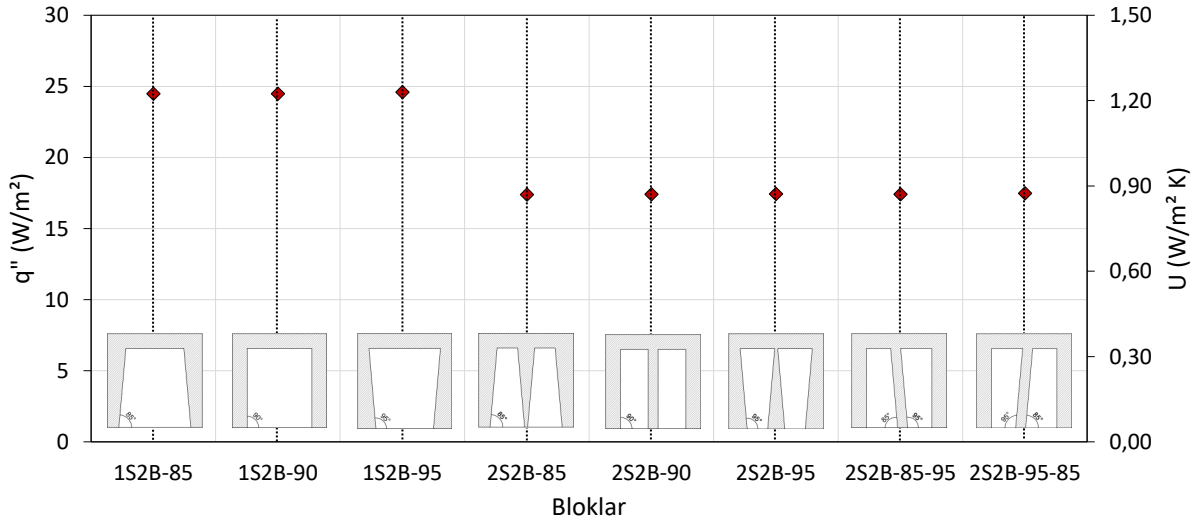
Şekil 6. Bloklardaki boşluklarda hız alanları.

Hız alanları incelendiğinde boşluk oranı arttıkça havanın boşluk içerisindeki hızının arttığı görülmüştür. Ayrıca 1S2B ve 2S2B modellerinde 85° forma kıyasla 90° ve 95° formlarda hava hızı artmaktadır. Hava hızının artması ile ısı akısının da arttığı görülmüştür. Ayrıca eşsıcaklık eğrilerinden de görüldüğü gibi boşluk oranı arttıkça sıcak havanın kaldırma kuvvetleri etkisiyle üst taraflarda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu yoğunlaşma 85° forma kıyasla 90° ve 95° formlarda daha fazla olmakta ve buna bağlı olarak daha yüksek ısı akısına neden olmaktadır. Bu davranış iç yüzey sıcaklığını düşürürken dış yüzey sıcaklığını yükseltmiştir. ısı akısı %44 boşluk oranına sahip 1S2B modellerine kıyasla, %39 boşluk oranına sahip 2S2B modellerinde yaklaşık %29 oranında düşmüştür. Literatürde boşluk oranı arttıkça ısı akısının azaldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Al-Hazmy'nin [9] çalışmasında kullanılan blok malzemesinin ısı iletim katsayısı ($k=1$ W/mK) bu çalışmada kullanılan ($k=0.28$ W/mK) farklıdır. Dolayısıyla elde edilen bulgular; bloklarda boşluk oranının yanı sıra, blok malzemesi ısı iletim katsayısının da ısı akısı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Ancak bloklarda boşluk oranı artırılabilir kaldırma kuvvetlerinin etkilerinin azaltılabilmesi için, boşluğun ısı akısı doğrultusundaki boyutunun az olması gerektiği görülmüştür. Çünkü blokların içindeki doğal taşınımı bastırmak, blokların ısı direncini artırmaktadır [16]. Bu bulgu ile Sun ve Fang'ın [17] yaptığı çalışmanın bulguları benzerlik göstermiştir. Diğer bir yandan, Al-Tamimi vd. [15] çalışmalarında boşluk oranını artırarak bloğun katı kısımlarını azaltmış ısı analizleri yapmıştır. Boşluk oranını artırarak bloğun katı kısımlarını azaltılması ile, katı kısımlarda iletimle olan ısı transferinin azaldığını belirtmişlerdir. Çalışmada optimum tasarıma sahip bir blok ile ısı transferi %71'e kadar düşürülmüştür. Literatürde yer alan ve bu çalışmada elde edilen bulgular, bloklarda boşluk oranının, bloktaki ısı transferi açısından önemli olduğunu göstermiştir.

1S2B-90 modelinde ısı geçişi doğrultusunda bir adet (blok içerisinde toplam iki adet), 2S2B-90 modelinde ise iki adet (blok içerisinde toplam dört adet) boşluk bulunmaktadır. Bu iki modelin boşluk oranları aynı olmasa da kaldırma kuvvetlerinin etkilerindeki farklılık açık bir şekilde görülmektedir. 1S2B-90 modeline kıyasla ısı geçiş doğrultusu boyunca kaldırma kuvvetlerinin bastırıldığı 2S2B-90

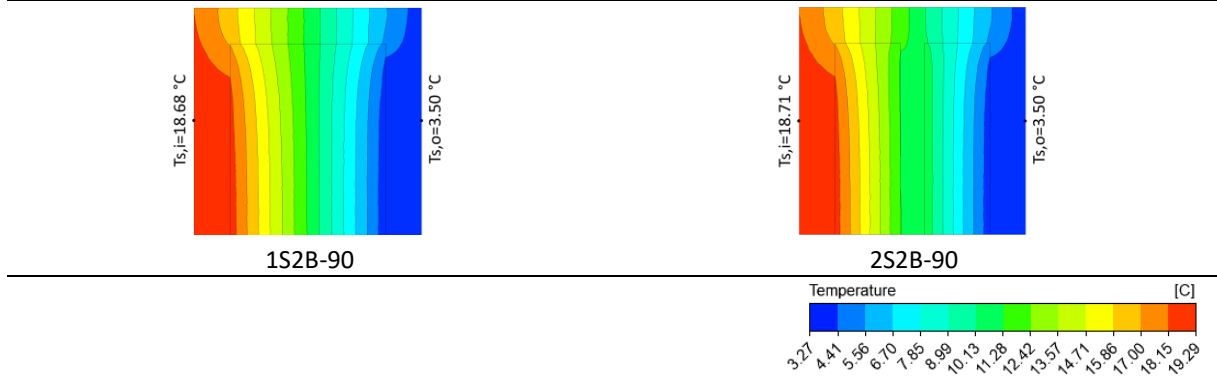
modelinde, ısı geçişi yaklaşık %29 oranında düşmektedir. Bu bulgu boşluk sayısının ısı transferine etkisini inceleyen Sun ve Fang'ın [17] yaptığı çalışmadaki bulgular ile benzerlik göstermiştir. Sun ve Fang çalışmasında boşluk sayılarını artırarak ısı transferinde %0.0049 ile %22.50 aralığında azalma olduğunu belirtmiştir. Bunun yanında Al-Tamimi vd. [15] boşluk sayısını çok fazla artırmanın blok içerisindeki ısı köprülerini artırdığını ve buna bağlı olarak ısı transferinin arttığını belirtmiştir. Bu nedenle boşluk sayısının bloğun içyapı formuna bağlı olarak optimum sayıda olması ısı transferi açısından önemlidir.

2S2B-85-95 ve 2S2B-95-85 modelleri aynı boşluk oranına sahip olup, ilk modelde ısı geçişinin y yönünde daralan formdan genişleyene, diğerinde ise genişleyen formdan daralana doğru olması sağlanmıştır. Bu sayede Şekil 4'te görülen sınır koşullarındaki ısı geçiş yönünün ısı transferine etkisi incelenmiştir. Isı ilk olarak daralan forma girdiğinde (2S2B-85-95) üst taraftaki sıcak hava yoğunlaşması, 2S2B-95-85 modeline göre daha az olmuştur. Ayrıca ilk modelde iç yüzeye yakın boşluk içindeki havanın hızı diğer modele kıyasla daha azdır. Bu sayede 2S2B-85-95 modelinde ısı akısı 2S2B-95-85 modeline kıyasla %0.3 daha düşük olmuştur. Bu bulgular aynı boşluk oranına sahip bloklarda boşluk geometrisinin ısı transferini etkilediğini göstermektedir. Sonuç olarak, Şekil 4'te verilen sınır koşulları için hesaplanmış olan bloklardaki ısı akıları (q'') ve toplam ısı geçirme katsayıları (U) Şekil 7'deki diyagram üzerinde verilmiştir. Bu sonuçlara göre en düşük ısı akısı ve U değerine sahip olan blok 2S2B-85 olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Bloklarda hesaplanan ısı akıları ve toplam ısı geçirme katsayıları.

Bu çalışmada belirlenen sınır koşullarında $Gr_L/Re_L^2 > 1$ olduğu için doğal taşınım ile olan ısı transferinin ihmal edilmesi elde edilen sonuçlarda hata oranının fazla olmasına neden olmaktadır. Ancak doğal taşınım etkilerinin göz ardı edilmesi durumunda, boşluk oranı ve ısı akısı arasındaki ilişkinin nasıl olacağı da çalışmada incelenmiştir. Şekil 4'te verilmiş olan sınır koşullarında 1S2B-90 ve 2S2B-90 modelleri için yeniden hesaplama yapılmıştır. Elde edilen sıcaklık dağılımları Şekil 8'de verilmiştir. Doğal taşınım kaynaklı kaldırma kuvveti etkileri göz ardı edildiğinde boşluk içerisinde sıcak hava yoğunlaşmasının olmadığı gözlemlenmiştir. %44 boşluk oranına sahip 1S2B-90 modelinde ısı akısı 10.22 W/m² olurken, boşluk oranı %39 olan 2S2B-90 modelinde bu değer 9.90 W/m²'ye düşmüştür. Doğal taşınım etkilerinin göz ardı edilmediği modellerdeki sonuçlara göre ise ısı akısı yaklaşık %50 daha düşmektedir. Boşluk oranı ve ısı akısı arasındaki ilişki, doğal taşınımın göz ardı edilmediği modellerle paralel çıkmıştır. Bu sonuçta blok malzemesinin ısı iletim katsayısının az olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 8. Doğal taşınım etkileri göz ardı edilen 1S2B-90 ve 2S2B-90 modellerinde sıcaklık eş eğrileri.

IV. SONUC

Fosil kaynakların yakın gelecekte tükeneceğinin ön görülmesi, enerjinin kullanımının azaltılması ve korunumun artırılması konusunda çalışmaların önemini artırmıştır. Dünyada kullanılan toplam enerji içerisinde binalarda kullanılan enerji payının yüksek olması ise bu alana daha fazla odaklanılması gerektiğini göstermektedir. Binaların enerji kullanımları incelendiğinde, ısı geçişlerinin en fazla olduğu yapı bileşenlerinin bina kabukları olduğu görülmektedir. Bina kabuklarında ise yaygın olarak duvar blokları kullanılmaktadır. Duvar bloklarında yapılan ısı iyileştirmeler, doğrudan binaların enerji kullanımını etkilemektedir. Bu doğrultuda çalışmada duvar bloklarında yapılabilecek ısı iyileştirmeler üzerine çalışılmıştır. Farklı içyapı formlu boşluklu bloklarda doğal taşınımlı ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Bloklarda boşluk oranı arttıkça, kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle havanın boşluk içerisindeki hızının arttığı görülmüştür. Hava hızının artmasıyla, iç yüzey sıcaklığı azalmakta, dış yüzey sıcaklığı artmaktadır. Bu durumda ısı akısı daha yüksek olmaktadır. Çalışmada boşluk oranının azalması ile ısı akısı yaklaşık %29 oranında azalmıştır.
- Çalışmadan elde edilen bulgular literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırıldığında, bloklarda boşluk oranının yanı sıra, blok malzemesi ısı iletim katsayısının da ısı akısı üzerinde etkili olduğu görülmüştür.
- y yönünde genişleyen formdaki (85° forma kıyasla 90° ve 95° formlarda) boşluklarda da hava hızının arttığı ve sıcak havanın kaldırma kuvvetleri etkisiyle üst taraflarda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu yoğunlaşma daha yüksek ısı akısına neden olmuştur.
- Çalışmada boşluk sayısının ısı transferine etkisi incelenmiştir. Boşluk sayısının ısı geçişi doğrultusu boyunca fazla olmasının ısı transferini düşürmekte olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Çalışmada kullanılan sınır koşullarında, boşluk sayısının artırılması ile ısı akısı yaklaşık %29 azalmıştır.
- Bloklardaki boşluk oranı ve sayısından bağımsız olarak, kaldırma kuvvetleri etkilerinin azaltılabilmesi için, boşluğun ısı akısı doğrultusundaki boyutunun az olması gerektiği belirlenmiştir.
- Doğal taşınımdan kaynaklı kaldırma kuvveti etkileri göz ardı edildiğinde, boşluk içerisinde sıcak hava yoğunlaşmasının olmadığı gözlenmiştir. Bu durum ısı akısını düşürmekte ancak doğal taşınımla olan ısı transferinin göz ardı edilmesi bu çalışmada belirlenen sınır koşullarındaki hesaplar için hata oranının fazla olmasına neden olmaktadır.
- Çalışmada kullanılan boşluklu bloklardan 2S2B-85 diğer bloklara kıyasla yaklaşık %30 daha düşük ısı akısı ile en iyi ısı performansını gösteren blok olmuştur.

Sonuç olarak boşluklu blok tasarımlarının boşluğun kullanılacağı koşullara bağlı olarak belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Bu sayede bloklardan daha yüksek ısı performansını elde edilerek enerjinin korunumu artırılabilir. Buna bağlı olarak da binalarda kullanılan enerji miktarı azaltılabilir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: FDK-2021-9298).

V. KAYNAKLAR

- [1] T. Gerden, "The Adoption of the Kyoto Protocol of the United Nations Framework Convention on Climate Change," *Contributions to Contemporary History*, vol. 58, no. 2, pp. 160-188, 2018.
- [2] Anonymous, "World Energy Outlook 2020," International Energy Agency, Paris, France, 2020.
- [3] Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of Council of 11 Dec 2018 on energy efficiency (2018, Dec). *Official Journal of the European Union*, 2018. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu>.
- [4] Anonymous, "Energy Technology Perspectives 2019," International Energy Agency, Paris, France, 2019.
- [5] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of Council of 30 May 2018 on the energy performance of buildings (recast) (2020, June). *Official Journal of the European Union*, 2019. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu>.
- [6] Anonymous, "Global Energy CO2 Status Report 2018," International Energy Agency, Paris, France, 2020.
- [7] J. J. del Coz Díaz, P. J. García Nieto, C. Betegón Biempica, and M. B. Prendes Gero, "Analysis and optimization of the heat-insulating light concrete hollow brick walls design by the finite element method," *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, pp. 1445-1456, 2007.
- [8] H. Syiemiong, C. Marthong, "Effect of mortar grade on the uniaxial compression strength of low-strength hollow concrete block masonry prisms," *Materials Today: Proceedings*, vol. 28, no. 2, pp. 842-845, 2020.
- [9] M. M. Al-Hazmy, "Analysis of coupled natural convection–conduction effects on the heat transport through hollow building blocks," *Energy and Buildings*, vol. 38, pp. 515-21, 2006.
- [10] M.P. Morales, M.C. Juárez, P. Muñoz, J.A. Gómez, "Study of the geometry of avoided clay brick using non-rectangular perforations to optimise its thermal properties," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 2494-98, 2011.
- [11] A. A. Alghamdi, H. A. Alharthi, "Multiscale 3D finite-element modelling of the thermal conductivity of clay brick walls," *Construction and Building Materials*, vol. 157, pp. 1-9, 2017.
- [12] J. J. Zhang, C. H. Yang, J.S. Zhang, "Thermal characteristics of aluminium hollowed bricks filled with phase change materials: Experimental and numerical analyses," *Applied Thermal Engineering*, vol. 155, pp. 70-81, 2019.
- [13] R. D. Flack, B. Klaus "Measurement and prediction of natural convection velocities in triangular enclosures," *International Journal Heat and Fluid Flow*, vol. 16, no. 2, pp. 106-113, 1995.


- [14] H. Türkoğlu, N. Yücel, "Natural convection heat transfer in enclosures with conducting multiple partitions and side walls," *Heat and Mass Transfer*, vol. 32, pp. 1-8, 1996.
- [15] A. S. Al-Tamimi, O. S. B. Al-Amoudi, M. A. Al-Osta, M. R. Ali, A. Ahmad, "Effect of insulation materials and cavity layout on heat transfer of concrete masonry hollow blocks," *Construction and Building Materials*, vol. 254, pp. 119300, 2020.
- [16] M. M. Alhazmy, "Numerical investigation on using inclined partitions to reduce natural convection inside the cavities of hollow bricks," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 49, pp. 2201-2210, 2010.
- [17] J. Sun, L. Fang, "Numerical simulation of concrete hollow bricks by the finite volume method," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 52, pp. 5598-5607, 2009.
- [18] M. A. Antar, H. Baig, "Conjugate conduction-natural convection heat transfer in a hollow building block," *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, pp. 3716-3720, 2009.
- [19] Kâgir ve kâgir mamulleri-Isıl özelliklerinin tayini yöntemleri, TS EN 1745, Türk Standartları Enstitüsü, 2012. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://intweb.tse.org.tr/Standard>
- [20] Anonim. (2021, Şubat). İzolasyonlu Hafif Yapı Elemanları Kataloğu [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.teknobims.com.tr/katalog.pdf>
- [21] Anonim. Denge Bims (2021, Şubat). Bims Özellikleri Kataloğu [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.dengebims.com.tr/katalog.pdf>
- [22] Anonim. Blok Bims (2021, Ocak). Bims Özellikleri Kataloğu [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.blokbims.com.tr/katalog/blok-bims-katalog.pdf>
- [23] Anonymous. Ansys Fluent 2020 R1 (2020, Şubat). User's Guide [Online]. Available: <https://ansyshelp.ansys.com>
- [24] *Kalorifer tesisatı projelendirme kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, TS 2164, 1983.
- [25] V. S. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, USA, Taylor and Francis, 1980, pp. 197.
- [26] Y. Gao, F. He, X. Meng, Z. Wang, M. Zhang, H. Yu, W. Gao, "Thermal behavior analysis of hollow bricks filled with phase-change material (PCM)," *Journal of Building Engineering*, vol. 31, pp. 101447, 2020.
- [27] X. Meng, J. Du, Y. Wang, Y. Gao, "Thermal performance optimization of building floors under air-conditioning intermittent operation by numerical simulation," *Journal of Building Physics*, vol. 43, pp. 99-120, 2019.
- [28] T. L. Bergman, A. S. Lavine, F. P. Incropera, D. P. DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th ed., USA, John Wiley and Sons, 2011, pp. 1070.
- [29] E. M. Alawadhi, "Thermal analysis of a building brick containing phase change material," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 351-57, 2008.
- [30] G. D. V. Davis, "Natural convection of air in a square cavity: A benchmark numerical solution," *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 3, pp. 249-64, 1983.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Dispersiyon Tekniklerinin Elektroğirilmiş Karbon Nanotüp/ Termoplastik Poliüretan Nanokompozitlerin Elektromekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi

 Abdulkadir ŞANLI *

Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Türk-Alman Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

** Sorumlu yazarın e-posta adresi: sanli@tau.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.1009022

ÖZ

Bu çalışmada, elektroğirilmiş karbon nanotüp (KNT)/ termoplastik poliüretan (TPU) nanokompozitinin manyetik karıştırma (MK), ultrasonik banyo (UB) ve ultrasonikasyon (S) gibi farklı dispersiyon yöntemlerinin morfolojik ve elektromekanik özellikleri üzerindeki etkisi hakkında detaylı bir araştırma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar KNT’de uygulanan dispersiyon yönteminin, numunelerin fiziksel, elektromekanik ve sensör özelliklerinde çok önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Mikroskopik incelemeler, ultrasonik kuvvetin pozitif etkisi sayesinde S numunelerin daha iyi dağılmış lifli yapılar verdiğini göstermektedir. Ayrıca özellikle S-örneklerinde, TPU çözeltisine KNT’lerin eklenmesiyle iletkenliğin lifli yapının daha iyi dağılmasına bağlı olarak yaklaşık 10 kat arttığı görülmüştür. Mekanik testlerden S numunelerinde kopma uzamasının MK numunelerine göre %31.6 ve çekme dayanımının ise yaklaşık %56 arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında, çekme gerinim testinden, tüm numunelerin iki lineer bölgede gerinime duyarlı tepkiler verdiği ve S numunelerinde MK ve UB numunelerine oranla daha yüksek sayıdaki nanofiber ağlardan dolayı daha hassas tepki verdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar KNT dispersiyon tekniğinin, numunelerin sadece fiziksel özellikleri değil, aynı zamanda elektromekanik ve sensör özelliklerini de ciddi oranda etkilediğini gösterirken özellikle yüksek hassasiyetli, esnek gerinim sensörleri üretiminde KNT’lerin dağılımını kontrol etmenin önemine dair yeni bakış açıları kazandırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Karbon nanotüp, Elektroğirme, Gerinim sensörü, Termoplastik poliüretan, Nanokompozit*

Experimental Investigation of The Effects of Different Dispersion Techniques on The Electromechanical Properties of Electrospun Carbon Nanotube/ Thermoplastic Polyurethane Nanocomposites

ABSTRACT

In this study, a detailed investigation on the influence of different dispersion methods that are magnetic stirring (MK), ultrasonic bath (UB), and ultrasonication (S) of the electrospun CNTs/ TPU nanocomposite on their morphological and electromechanical properties was conducted. Obtained results suggest that the dispersion method of the CNTs plays a significant role in their physical electromechanical and sensory properties tremendously. Microscopic investigations show that ultrasonicated samples give better dispersed fibrous structures owing to the positive effect of the ultrasonic force. It is also seen that especially for the S-samples, by addition of CNTs to the TPU solution conductivity increases almost 10 times which is attributed to the better dispersion of the fibrous structure. From the mechanical tests, it was observed that the elongation at break in S-samples increased

by 31.6%, and the tensile strength increased by approximately 56% compared to MK-samples. Subsequently, from the tensile strain test, it is observed that all probes give strain-sensitive responses in two linear regions and S-samples are the most sensitive among others that are due to higher total amount of nanofiber networks. All the results prove that the importance of good CNTs dispersion that affects not only physical properties but also their electromechanical and sensory properties. Results obtained from this study can shed a light on the importance of controlling the dispersion of the CNTs for fabricating highly sensitive, flexible strain sensors through electrospinning technology.

Keywords: Carbon nanotube, Elektrospinning, Strain sensor, Thermoplastic polyurethane, Nanocomposite

I. GİRİŞ

Son zamanlarda, insan hareketi izleme, rehabilitasyon, kişiselleştirilmiş sağlık izleme, yapısal sağlık izleme, insan-makine arayüzü ve eğlence teknolojisi vb. gibi çeşitli uygulamalar için esnek gerinim sensörleri büyük ilgi görmüştür [1]-[11]. Bu uygulamalar için yüksek mekanik özellikli, yüksek hassasiyetli, dayanıklı ve düşük üretim maliyetine sahip gerinime duyarlı sensörler gereklidir. Çözüm amaçlı kullanılan ticari gerinim sensörleri tipik olarak sadece küçük gerilimi (<%5) algılamakla birlikte, sınırlı hassasiyete (hassasiyet faktörü ~2), düşük esneklik ve yüksek maliyete sahiptirler [12]-[14]. Bu kısıtlamalar, yüksek iletkenlikte karbon tabanlı nano malzemelerinin kullanımına ilişkin taleplerin artmasına neden olur. Bu karbon tabanlı nanomalzemeler arasında, karbon nanotüpler (KNT) (ing. carbon nanotubes), diğer nanodolgulara oranla yüksek en boy oranları sayesinde çok düşük KNT yoğunluklarında bile nanokompozit ağ içinde iletken yolların oluşmasını sağladıkları için yaygın olarak kullanılmaktadırlar [15]-[17]. Bununla birlikte, KNT'lerin yüksek yüzey alanı ve aralarındaki güçlü Van der Waals etkileşimleri nedeniyle, polimer matrislerinde aglomerasyon veya kümelenme oluşturma eğiliminde olduklarından KNT tabanlı nanokompozitlerin üretilmesi oldukça zordur [18]. Bu nedenle, KNT/ polimer matrislerdeki aglomerasyonlar nanokompozitin mekanik, elektriksel ve sonuç olarak sensör özelliklerini önemli ölçüde bozduğundan etkili nanokompozit sentezinin yanı sıra KNT'ler için etkili, KNT'lerin yapısına zarar vermeyen bir dispersiyon tekniği gereklidir.

Literatürde gerinime duyarlı nanokompozitlerin üretimi için süzme yöntemi [19-20], baskı teknolojisi [21-22], aktarma ve mikro kalıplama yöntemleri [23], kaplama teknikleri [24-25], sıvı faz karışımı [26] ve kimyasal sentez [27-28] yöntemlerini içeren çalışmalar bulunmaktadır. Üretilen esnek yapıdaki gerinim sensörlerinin performans bakımından geniş bir algılama aralığı ve iyi esneklik gibi özelliklere ulaşmalarına rağmen üretim safhalarındaki karmaşıklık ve yüksek maliyet gereksinimleri bu sensörlerin geniş ölçekli uygulamalarındaki kullanımlarını büyük ölçüde kısıtlamıştır. Yukarıda belirtilen üretim yöntemlerinin yanında esnek, kuvvete duyarlı sensör üretim için alternatif bir imalat yöntemi olan elektroçirme tekniği son yıllarda göze çarpmaktadır. Elektroçirme, geniş bir yüzey alanı ve yüksek gözenekliliğe sahip iletken nanoliflerden oluşan bağlantısız polimer katmanlarının üretimi için geliştirilmiş basit ve çok yönlü bir yöntemdir [29]-[32]. Bu yöntemde elektroçirilmiş lifler genel olarak rastgele ya da tek biçimli matlar formunda topraklanmış döner ya da sabit bir toplayıcı üzerinde toplanmaktadır. Bu özelliklerdeki lifli yapılar, bu tekniğin ilaç taşınımı [33], yara örtüsü [34], filtrasyon [35] ve elektronik cihazlar [36] gibi uygulamalarında temel üretim yöntemi olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bu teknik ayrıca lif ağ katmanları içeren piezorezistif kuvvet sensör üretimi için de uygulanmıştır [37]-[43]. Literatürde Yin vd. [37]'nin yaptığı çalışmada, indirgenmiş grafen oksit (ing. reduced GO (rGO)) ile dokunmuş kumaş tabanlı gerinim sensörünün % 57'ye kadar esneklik ve 3667'ye kadar yüksek bir hassasiyet faktörü gösterdiği gözlemlenmiştir. Liu vd. [39] çalışmalarında koagülasyon ve sıkıştırma kalıplama yöntemi kullanarak ayarlanabilir hassasiyette piezorezistif gerinim sensörü geliştirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan altlık için TPU, dolgu malzemesi olarak ise karbon nanotüp (KNT) ve grafen kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre grafen tabakaların aglomere yapıdaki KNT'lerin dağıtılmasına katkıda bulunmasının yanında KNT'lerin grafen tabakaları arasındaki geniş boşlukları bağlayıcı bir köprü görevi gördüğü gözlemlenmiştir. KNT tabanlı iletken ağların, gerinim sensörlerine düşük süzülme eşiği (ing. percolation threshold), iyi tersinirlik ve tekrarlanabilirlik sağladığını göstermiştir. Ren vd. [40]'nin çalışmalarında ise dikey ve paralel yönlerde hizalanmış, kıvrımlı yapıdaki elektroçirilmiş yatay-KNT/ TPU lifli yapıda yüksek bir esnekliğe sahip gerinim

sensörü geliştirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, dikey yönde üretilen KNT/TPU lifli matların çok geniş bir gerinim aralığına (%0-900), hızlı tepki süresine (70 ms), düşük algılama sınırına (%0.5), yüksek bir kararlılık ve tekrarlanabilirliğe (%200 gerinimde 10.000 döngü) eriştikleri gözlemlenmiştir. Yakın bir zamanda, Wang vd. [42] farklı kolektör hızlarında üretilen elektroğirilmiş karbon karası/TPU kompoziti ile ayarlanabilir hassasiyet ve hızlı tepki süresine sahip yüksek dayanıklı sensör elde etmişlerdir. Li vd. [43] çalışmalarında elektroğirilmiş TPU numunesinin, KNT çözeltisine daldırılmasından sonra polyamid altlık üzerinde birbirine geçirilmiş elektrotlar (ing. interdigitated electrodes) üzerine uygulanmasıyla basınca duyarlı piezorezistif sensör üretmişlerdir. Ancak, bilgim dahilinde farklı dispersiyon tekniklerinin, elektroğirilmiş, esnek ve gerinime duyarlı sensörlerin morfolojik ve elektromekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştıran bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, -COOH fonksiyonlaştırılmış KNT/TPU nanokompozitinde, farklı KNT dispersiyon tekniklerinin elektroğirilmiş gerinime duyarlı esnek sensörlerin morfolojik ve elektromekanik özellikleri üzerindeki etkisinin detaylı bir araştırması yapılmıştır. Burada gerinime duyarlı numuneler, elektroğirilmiş KNT/TPU matının iki PDMS altlıkları arasına sandviçlenmesi ile üretilmiştir. -COOH fonksiyonlaştırılmış KNT/TPU numunelerindeki KNT'ler, manyetik karıştırma (MK), ultrasonik banyo (UB) ve ultrasonikasyon (S) olmak üzere üç farklı dispersiyon teknikleri ile hazırlanmışlardır. Numunelerin detaylı mikroskobik incelemesinden sonra, numunelerin elektromekanik özellikleri, piezoresistif özellikleri ve elektroğirilmiş sandviç yapıdaki KNT/TPU gerinim sensörünün çalışma mekanizması incelenmiştir.

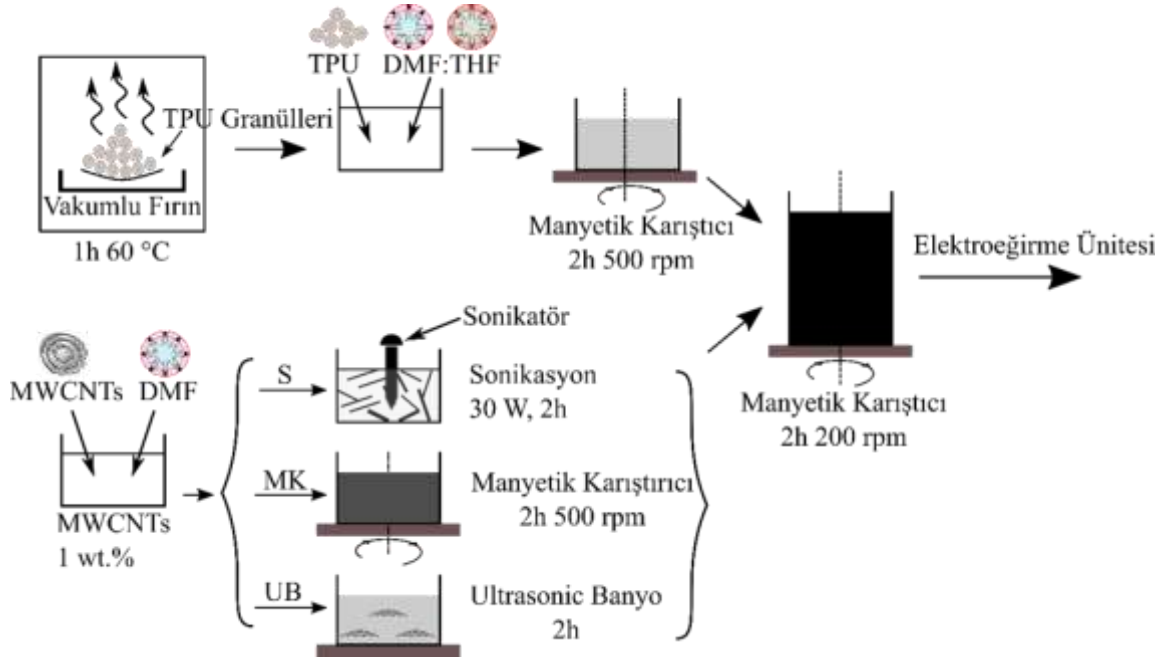
II. MATERYAL ve METOT

A. MATERYALLER VE KİMYASALLAR

%92'den fazla saflığa, 8-15 nm dış çapa ve <1µm uzunluğa sahip endüstriyel -COOH Fonksiyonlu KNT'ler Molchem Technologies (Londra, İngiltere)'den satın alınmıştır. Termoplastik poliüretan (TPU) (Ellastolan 1185A10) ise Biesterfeld GmbH (İstanbul, Türkiye)'den granül halinde, N,N-Dimetilformamid (DMF) ve Tetrahidrofuran (THF) Labor Teknik'ten, Polidimetilsiloksan (PDMS) (Dowsil Sylgard 184 Silikon Elastomer) ise C3 Teknoloji Bilişim Elektronik San. (İstanbul, Türkiye)'den temin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm kimyasallar başka bir işleme tabi tutulmadan temin edildiği gibi kullanılmıştır.

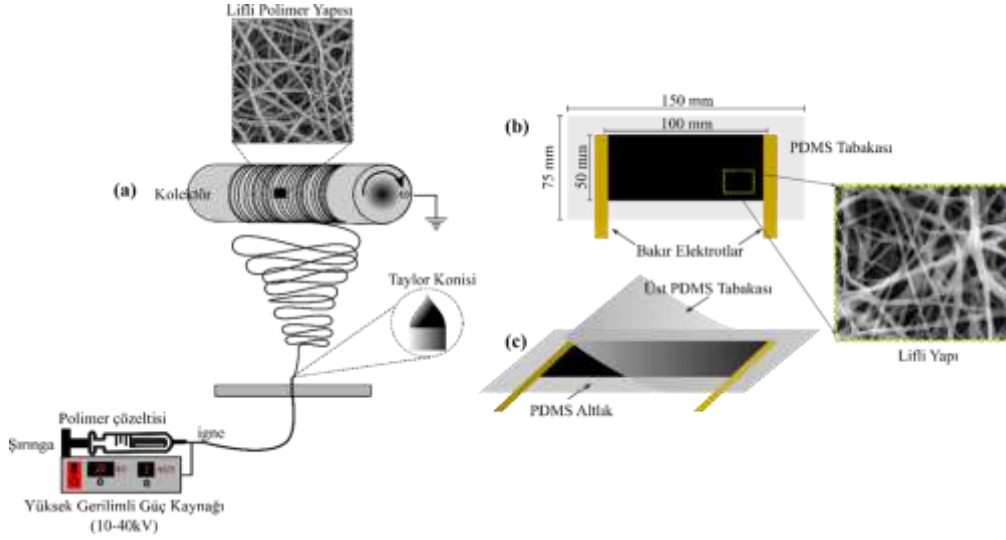
B. ELEKTROEĞİRİLMİŐ NANOKOMPOZİTİN ÜRETİMİ

Şekil 1'de gösterilen üretim sürecinin ilk adımı olarak, TPU granülleri, kullanımdan önce emilen nemi uzaklaştırmak için 1 saat boyunca 60 °C'de bir vakumlu fırında kurutulmuştur. Daha sonra, ağırlıkça %10'luk bir ağırlık konsantrasyonuna sahip 1 g TPU granülleri, 10 ml DMF:THF çözücüsü içinde çözündürülmüştür. Burada DMF/THF'nin kütle oranı 2:3 olarak seçilmiştir. Karışım tam çözünme ve homojen bir elektroğirme çözeltisi sağlamak için oda sıcaklığında 2 saat manyetik karıştırıcısı yardımıyla karıştırılarak herhangi partikül katkı maddeleri olmadan saf TPU çözeltisi hazırlanmıştır.



Şekil 1. Farklı dispersiyon teknikleri kullanarak üretilen elektroğirilmiş KNT/TPU numunelerin şematik gösterimi.

Bu çalışma, temel olarak farklı KNT dispersiyon tekniklerinin elektroğirilmiş nanokompozitlerin elektromekanik özellikleri üzerinde etkilerini karşılaştırmayı amaçladığından, ağırlıkça %1 yoğunluğuna sahip KNT ilk olarak DMF çözeltisi içerisinde manyetik karıştırıcı (2h, 500 rpm), ultrasonik banyo (2h) ve sonikasyon (2h, 30W) olmak üzere üç farklı dispersiyon tekniği ile dağıtılmıştır. Daha sonra, elektroğirilmiş KNT/TPU lifli yapıdaki film üretimi için, hazırlanan KNT/TPU karışımı 10 ml şırınga içerisine çekildikten sonra şırınga pompasına yerleştirilmiştir. Besleme hızı ve besleme süresi sırasıyla 1.6 mL/h ve 4 saat olarak ayarlandıktan sonra ortam sıcaklığı 21 ± 2 °C olarak ölçülmüştür. Elektroğirilmiş lifli yapının oluşumu için şırınga ucuna 32 kV'lık bir yüksek bir DC gerilim uygulanmıştır. Yüksek gerilim ile yüklenmiş çözelti bir alüminyum folyo tabakası ile kaplanmış ve topraklanmış 280 rpm dönme hızındaki döner kolektöre doğru toplanmıştır. Son olarak, elde edilen numuneler manyetik karıştırıcı (MK), ultrasonik banyo (UB) ve sonikasyon (S) olarak etiketlenmiştir. Elektroğirme işleminden sonra KNT/TPU'lu lifli yapı, alüminyum folyodan büyük bir özenle kesilip 100×50 mm boyutlarındaki küçük membranlara bölünmüştür. Bu çalışmada, gerinime duyarlı esnek sensörün imalatı için, esnek ve ince tabakalı polidimetilsiloksan (PDMS) polimeri kullanılmıştır. PDMS bir elastomerdir ve oluşum sırasında PDMS ön polimerinin ve sertleştirme maddesinin farklı karışım oranları ile ayarlanabilen yüksek yalıtkanlık sabitine ve ayarlanabilir bir esnekliğe sahiptir [44]. Bu çalışmada, Sylgard 184 silikon elastomer baz ve kütleme ajanı ile birlikte gönderilen ürün, 10:1 (baz: çapraz bağlama kütleme maddesi) oranında manuel olarak karıştırılıp ortalama 2 saatlik kütleme süresinden sonra Şekil 2'de gösterildiği üzere alüminyum folyodan $100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ boyutlarındaki kesilen elektroğirilmiş tabakalar $150 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$ boyutlarındaki PDMS altlığına uygulanmıştır. Daha sonra, elektriksel ölçüm için ince bakır elektrotlar sensör tabakasının her iki tarafına gelecek şekilde yapıştırılmıştır. Elektriksel ölçümler için elektrotların üzerine bağlantı kabloları uygulandıktan sonra numuneler ikinci bir PDMS polimer tabakası ile kapsüllenip kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 1. (a) Elektroegirme ünitesi ve elektroegirilmiş gerinime duyarlı lifli yapının PMDS altlıkları arasına sandviçlenmesinin (b) üstten ve (c) yandan görünümü.

C. KARAKTERİZASYON TEKNİKLERİ

Farklı dispersiyon tekniklerinin elektroegirilmiş KNT/TPU karışımının dağılım kalitesi ve homojenliği üzerine etkilerinin gözlemlenmek için, elektroegirilmiş nanokompozit numuneler silikon disk üzerinde uygulandıktan sonra taramalı elektron mikroskobu (ing. scanning electron microscope (SEM)) tablası üzerine monte edilmiştir. Numuneler daha sonra analiz sırasında yüklenmeyi önlemek için ince bir iletken tabakayla kaplanmıştır. Bu çalışmada Zeiss - Evo -MA10 taramalı elektron mikroskobu kullanılmış, SEM görüntüleri yüksek vakumda ve 10 kV hızlanma voltajında daldırma modlu lens detektörü aracılığıyla elde edilmiştir. Üretim kapsamında hazırlanan solüsyonların viskoziteleri DV-E model Brookfield Economic Viscometer ile ölçülmüştür. Çözelti iletkenlikleri, WTW Profiline Cond 3110 İletkenlik Ölçer ile ölçülmüştür. Çözelti iletkenliği, Set 1 Tetracon 325 Elektrot ile ölçülmüştür. Numunelerin hacim dirençleri, bir özdirenç test kiti (Keithley 8009) yardımıyla incelenmiştir. Elektriksel ölçümler için 10 cm x 10 cm boyutlarındaki numuneler kesilerek ölçüme hazırlanmıştır. Nanoliflerin direnci, -5V ve +5V voltajlı çok işlevli dijital bir test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Piezorezistif testler için ise numunelerin çekme gerinimi deneyleri, 30 mm/dk çekme hızında evrensel çekme test makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

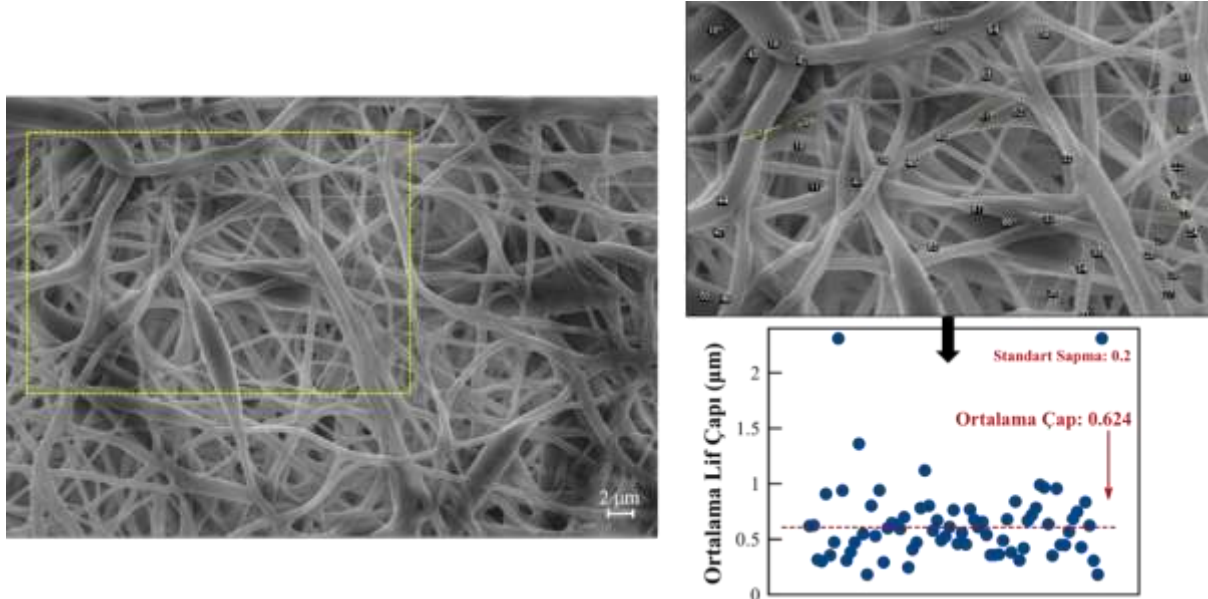
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı dispersiyon teknikleri ile üretilmiş elektroegirilmiş sandviç yapıdaki KNT/ TPU numunelerine ait mikroskobik testler, elektromekanik ve piezorezistif analizlerinin sonuçları aşağıda sunularak analiz edilmiştir.

A. DISPERSİYON KALİTESİNİN MORFOLOJİK İNCELENMESİ

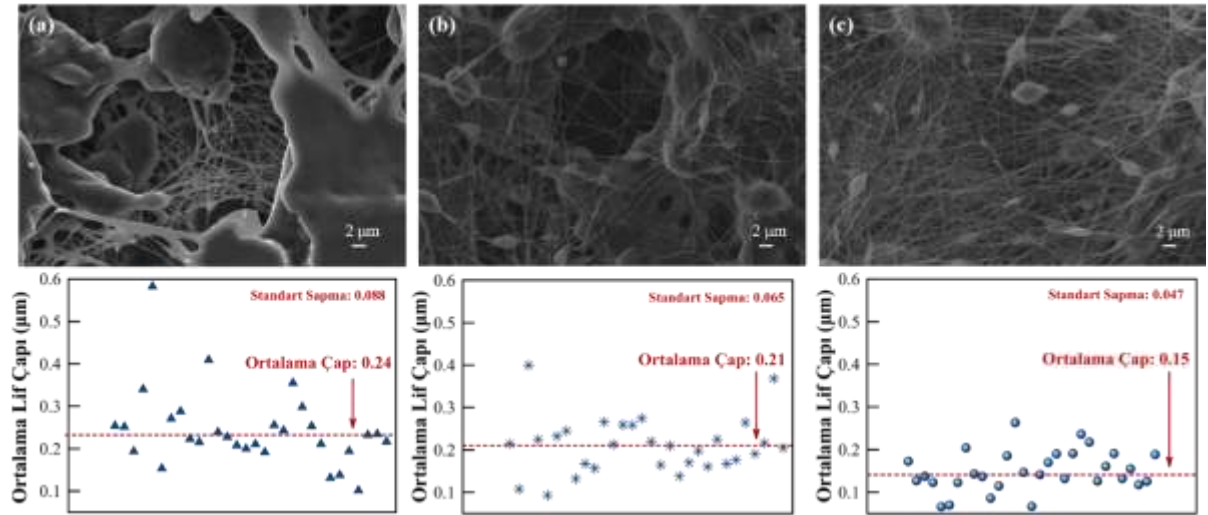
Şekil 3'te TPU için alınan SEM görüntülerinden, elektroegirilmiş saf TPU liflerinin ortalama 0.624 µm çapında rastgele ve homojen bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Farklı dispersiyon tekniklerinin nanolif dağılımı, ortalama kalınlık ve lifli yapının genel homojenliği üzerindeki etkisini görmek için, aynı ölçekte SEM görüntüleri alınarak ImageJ [45] yazılımı yardımıyla lif çapları ve standart sapmaları hesaplanmıştır.

Şekil 4'te gösterilen SEM görüntülerinden MK numuneleri için dağılım kalitesinin düşük olduğu görülürken (Şekil 4a), UB numuneleri (Şekil 4b) ve S numuneleri (Şekil 4c) için bu dağılımın daha düzgün ve homojen hale geldiği görülmektedir.



Şekil 2. Elektroğirilmiş saf TPU çözeltisinin SEM görüntüsü ve hesaplanan ortalama lif çapı.

Bu sonuç nanotüpler arasındaki bağ kuvvetlerini kolayca yenebilen ve tüpleri ayıran ses dalgalarının baskın etkisine bağlanabilir. Yang vd. [46] ve Arrigo vd. [47] çalışmalarında ultrasonuz karbon nanotüp aglomeralarının partikül boyutunun ultrasonlu karbon nanotüp aglomeralarından daha büyük olduğunu göstererek ultrasonik salınımın karbon nanotüplerin dağılımı üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca manyetik karıştırma işlemine tabi tutulan numunelerin SEM görüntülerinden (Şekil 4a) elde edilen ortalama lif kalınlığı ve standart sapmanın $0.24 \mu\text{m}$ ve $0.088 \mu\text{m}$ olduğu görülürken, sonikasyon işleminde bu değerlerin $0.15 \mu\text{m}$ ve $0.047 \mu\text{m}$ 'ye düştüğü (Şekil 4b) görülmektedir. Dolayısıyla sonikasyonlu numunelerde lifli yapıların daha homojen dağıldığını göstermektedir.

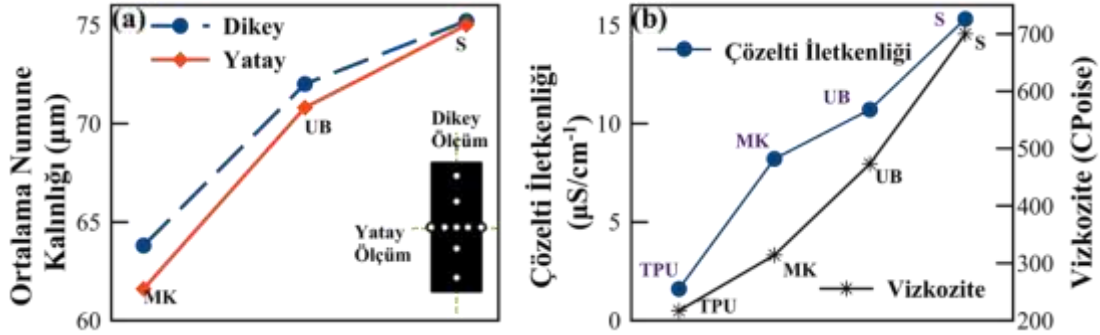


Şekil 3. Farklı dispersiyon teknikleri (a: Manyetik Karıştırıcı (MK), b: Ultrasonik Banyo (UB) ve c: Sonikasyon (S)) ile dağıtılan KNT'lerin elektroğirilmiş KNT/TPU numunelerinin SEM görüntüleri ve ortalama lif çapları.

B. FARKLI DİSPERSİYON TEKNİKLERİNİN ELEKTROĞİRİLMİŞ KNT/TPU NUMUNELERİNİN ELEKTROMEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

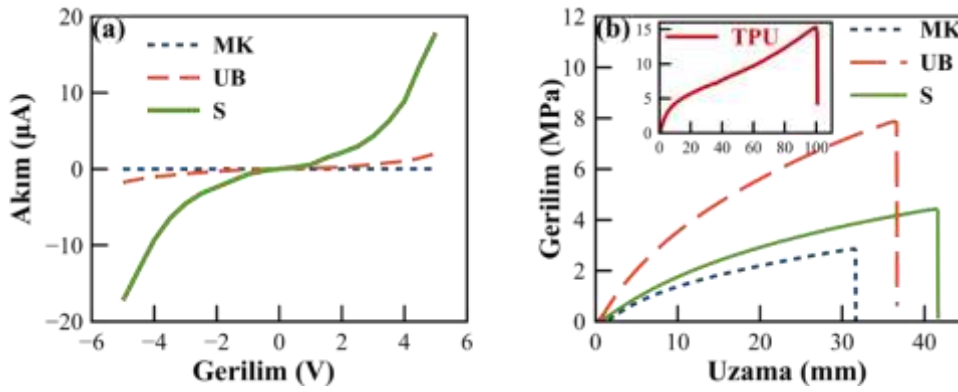
Farklı dispersiyon tekniklerinin numunelerin kalınlığı ve elektrokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini görmek için elektroğirilmiş numunelerin kalınlıkları hem yatay hem de dikey olarak 5 farklı noktadan ölçülmüştür. Şekil 5a'da görüldüğü gibi MK numuneleri dikey ölçümlerde $63 \mu\text{m}$ civarında

kalınlık verirken, S numuneleri için bu kalınlık 74 μm 'ye çıkmaktadır. Ayrıca, S numunelerinde dikey ve yatay kalınlık ölçümlerinin hemen hemen aynı olduğu görülebilir, bu da daha homojen lif dağılımına işaret etmektedir. Bunun dışında, farklı sonikasyon tekniklerinin elektroğirilmiş KNT/ TPU numunelerinin elektromekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin analiz etmek için tüm numunelerin çözelti iletkenliği ve viskoziteleri ölçülmüştür.



Şekil 4. MK, UB ve S numunelerin (a) yatay ve dikey kalınlık ölçümleri, (b) çözelti iletkenlik ve viskozite değerleri.

Şekil 5b'de, saf TPU numunesi için çözelti iletkenliği ve viskozitesinin sırasıyla 1.6 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ve 217 CPoise olarak ölçülmüştür. KNT'lerin eklenmesiyle her iki parametrelerin de değerleri artmıştır. Özellikle S numuneleri için çözelti iletkenliğinin yaklaşık 10 kat arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç S numunelerinin daha iyi dağıldığını ve dolayısıyla daha yüksek çözelti iletkenliğinin yanı sıra daha iyi viskoziteye neden olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu bulgular Şekil 6a'da gösterilen elektriksel ölçümlerle de kanıtlanmıştır. Hacimsel öz direnç ölçümlerinden, S numunelerinin en düşük direnç değerleri, MK numunelerinin ise en yüksek direnç değerlerini gösterdiği görülmektedir. Bu sonuç, S numunelerinde KNT'lerin daha iyi dağıldığını ve dolayısıyla daha homojen KNT/ TPU nanolif ağ yapısının elde edildiğini göstermektedir. Bunun yanında, nanolifli numunelerin mekanik özelliklerini incelemek için saf TPU ve KNT/ TPU'nun gerilim-uzama eğrileri incelenmiştir (bkz. Şekil 6b). Tüm numunelerin tipik elastomer davranışı gösterdikleri görülmektedir. Şekil 6b'den elde edilen kopma uzaması ve çekme dayanımı değerleri Tablo 1'de listelenmiştir.



Şekil 5. MK, UB ve S numunelerin (a) Akım-gerilim eğrileri ve (b) Gerilim- uzama grafikleri.

Tablo 1. Saf TPU ve farklı dispersiyon teknikleri ile üretilmiş KNT/ TPU nanoliflerinin kopma uzaması ve çekme dayanımı değerleri.

Üretim Yöntemi	Kopma Uzaması (mm)	Kopma Uzaması (%)	Çekme Dayanımı (MPa)
Saf TPU	100.75	907	15
Manyetik Karıştırıcı (MK)	31.66	224	2.8

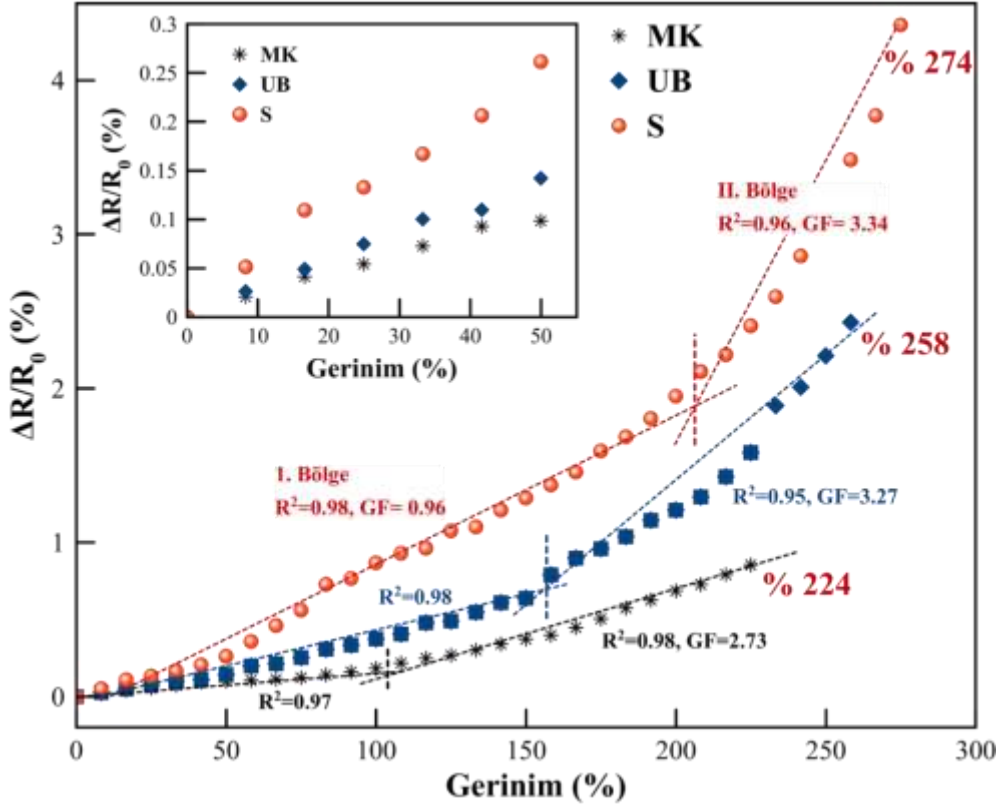
Ultrasonik Banyo (UB)	36.6	258	7.8
Sonikatör (S)	41.66	274	4.37

Elektroğirilmiş saf TPU numunesinin çekme dayanımı, 100.75 mm'lik kopma uzamasında yaklaşık 15 MPa olarak ölçülmüştür (bkz. Şekil 6b). Bunun yanında, MK, UB ve S Numunelerinin çekme dayanımları ve kopma uzamaları sırasıyla yaklaşık 2.8 MPa – 31.6 mm, 7.8 MPa – 36.6 mm ve 4.37 MPa – 41.2 mm olarak saptanmıştır. S numunelerindeki kopma uzamasının MK numunelerine oranla %31.6, çekme dayanımının ise yaklaşık %56'ya kadar arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, S numunelerinin görece daha yüksek esnekliğe sahip olduğunu göstermektedir. Saf TPU numunesi gerildiğinde, TPU zincirleri maksimum oranda moleküller arası etkileşim ile uzama yönüne doğru yönlendirilir. Kopma uzamasının KNT ile belirgin bir şekilde düşmesinin temel nedeni saf TPU'daki moleküler yapılanmanın KNT katkılanması ile bozulmasıdır [48]. Bu bozulma özellikle düşük KNT dağılım kalitesindeki numunelerde (bkz. MK numuneleri) daha belirgin olduğu görülmektedir.

B. FARKLI DİSPERSİYON TEKNİKLERİNİN ELEKTROĞİRİLMİŞ KNT/TPU NUMUNELERİNİN PİEZOREZİSTİF ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Bu çalışmanın son etabı olarak, elektroğirilmiş KNT/ TPU nanolif numunelerinin piezorezistif tepkilerinin incelemek için numuneler kopma noktasına varıncaya kadar oda sıcaklığında çekme testine tabi tutulmuştur. Şekil 7'de gösterilen elektroğirilmiş KNT/ TPU nanolif numunelerinin bağıl direnç değişimlerinden, tüm numunelerin gerinim altında iki farklı doğrusal tepki gösterdiği gözlemlenmektedir. Yani birinci lineer bölgelerin S, UB ve MK numuneleri için sırasıyla yaklaşık %200, %150 ve %100'e kadar olduğu saptanmıştır. Bunun yanında, bu çalışmada üretilen esnek KNT/ TPU nanolif numunelerin, ticari metalik gerinim pullarına kıyasla (Hassasiyet Faktörü: 2 [10]) çok daha yüksek gerinim aralığının yanı sıra daha hassas tepki verdiği gözlemlenmiştir. Esneklik (veya maksimum gerinim) açısından, S numuneleri diğer iki tekniğe kıyasla en yüksek gerinim aralığını (%224) gösterirken, Şekil 6b'deki mekanik testlerden de gösterildiği üzere bu durum KNT'lerin KNT/TPU fiber ağlarında daha iyi dağılmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, MK ve UB numuneleri ile karşılaştırıldığında, S numunelerinin her iki bölgede de daha yüksek hassasiyet gösterdiği görülmüştür. Bu bulgu, S numunelerinde KNT'lerin daha homojen dağılıma sahip olduğunu göstermektedir.

Elektroğirilmiş KNT/ TPU nanolif numunelerinin piezorezistif mekanizması her iki bölgeler için şu şekilde açıklanabilir: I. bölgede numuneler harici yük ile çekme gerinimine bırakıldıklarında, iletken KNT/ TPU fiber ağları değişmeye başlar ve bağlanma noktaları arasında rastgele yönlendirilmiş ve hizalanmamış fiberler yönlenmeye başlar. II. bölgede, çekme gerilimi artmaya devam ettiğinde, lifler uzar, inceler ve dolayısıyla iletken KNT/ TPU numunesindeki fiber ağları arasındaki mesafeler artarak direncin artmasına neden olur [36], [40], [43]. Şekil 4'te de görüldüğü gibi, S numunelerindeki homojen fiber ağlarının sayısı, MK ve UB numunelerindeki toplam fiber ağ sayısından daha fazladır ve bu da gerinim duyarlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genel olarak, gerilebilir gerinim sensörlerinin hassasiyeti hassasiyet ya da gösterge faktörü (ing. gauge factor (GF), $GF = (\Delta R/R_0)/\epsilon$) ile değerlendirilir ve dirençteki nispi değişimin mekanik zorlanmaya oranı olarak tanımlanır [49]. Numunelerin hassasiyet faktörleri incelendiğinde S numunelerinin MK ve UB numunelerine kıyasla II. lineer bölgede 3.34 hassasiyet faktörü ile en yüksek duyarlılığa sahip olduğu görülmektedir. Son olarak, S numunelerinde, %258'in üzerinde uygulanan çekme gerinimi ile iletken ağların bozulmaya başladığı ve dolayısıyla numunelerin kopup yalıtkan hale geldiği görülmektedir.



Şekil 7. Farklı dispersiyon teknikleri ile üretilmiş KNT/TPU nanoliflerinin çekme gerinimi altındaki bağıl direnç değişimleri. Ek şekil, numunelerin %50 gerinime kadarki bağıl direnç değişimlerini göstermektedir.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı sonikasyon teknikleri ile dağıtılan KNT'lerin, PDMS altlıkları arasında sandviç yapıdaki elektroğirilmiş KNT/TPU lifli yapısının mikroskobik ve elektromekanik özellikleri üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Tomografik görüntüler, KNT'lerin sonikasyon yoluyla dağıldığı numunelerin, ultrasonik kuvvetin pozitif etkisi sayesinde daha iyi dağılmış lifli yapılar verdiğini göstermektedir. Ayrıca kalınlık ve viskozite ölçümlerinden, S numuneleri için hem dikey hem de yatay ölçümlerin hemen hemen aynı olduğu gözlemlenirken, bu bulgunun homojen lif dağılımına işaret ettiği gözlemlenmiştir. Özellikle S numunelerinde TPU çözeltisine KNT'lerin eklenmesiyle iletkenliğin lifli yapının daha iyi dağılmasına bağlı olarak yaklaşık 10 kat arttığı görülmüştür. Mekanik testler S numunelerindeki kopma uzamasının MK numunelerine oranla %31.6, çekme dayanımının ise yaklaşık %56'a kadar arttığı göstermiştir. Bunun yanında, çekme gerinim testinden, tüm numunelerin iki lineer bölgede gerinime duyarlı yanıtlar verdiği ve S numunelerinde homojen olarak dağılmış daha yüksek fiber ağ miktarı nedeniyle MK ve UB numunelerine oranla daha hassas tepki verdiğini göstermiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular KNT'lerin dağılım kalitesinin, numunelerin sadece fiziksel özellikleri değil, aynı zamanda elektromekanik ve sensör özelliklerini de önemli ölçüde etkilediğini gösterirken, elde edilen sonuçların elektroğirme teknolojisi ile yüksek hassasiyete sahip, giyilebilir, esnek gerinim sensörlerinin üretilmesine ışık tutabileceğine inanılmaktadır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Türk-Alman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2019BM016). Bu çalışmada Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, Tekstil Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Muhammet Uzun ve Öğr. Gör. Kübra Yıldız taramalı elektron mikroskobu testlerinin planlanmasında katkılar sunmuşlardır.

V. KAYNAKLAR

- [1] I. Kang, M.J. Schulz, J.H. Kim, V. Shanov V, D. Shi, “A carbon nanotube strain sensor for structural health monitoring,” *Smart materials and structures*, vol.15, no.3, pp.737, 2016.
- [2] H. Jo, J.W. Park, B.F. Spencer, H.J. Jung, “Development of high-sensitivity wireless strain sensor for structural health monitoring,” *Smart Structures and Systems*, vol.11, no.5, pp. 477-496, 2013.
- [3] A. Sanli, O. Kanoun, “Electrical impedance analysis of carbon nanotube/epoxy nanocomposite-based piezoresistive strain sensors under uniaxial cyclic static tensile loading,” *Journal of Composite Materials*, vol.54, no.6, pp. 845-855, 2020.
- [4] A. Sanli, “Investigation of temperature effect on the electrical properties of MWCNTs/epoxy nanocomposites by electrochemical impedance spectroscopy,” *Advanced Composite Materials*, vol.29, no.1, pp.31-41, 2020.
- [5] A. Sanli, A. Benchirouf, C. Müller, O. Kanoun, “Piezoresistive performance characterization of strain sensitive multi-walled carbon nanotube-epoxy nanocomposites,” *Sensors and Actuators A: Physical*, vol.254, pp.61-68, 2017.
- [6] A. Sanli, C. Müller, O. Kanoun, C. Elibol, M.F.X.Wagner, “Piezoresistive characterization of multi-walled carbon nanotube-epoxy based flexible strain sensitive films by impedance spectroscopy,” *Composites Science and Technology*, vol.122, pp.18-26, 2016.
- [7] A. Sanli, R. Ramalingame, O. Kanoun, “Piezoresistive pressure sensor based on carbon nanotubes/epoxy composite under cyclic loading,” *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, Houston, TX, USA, pp.14-17, 2018.
- [8] Y. Wang, L. Wang, T. Yang, X. Li, X. Zang, M. Zhu, ... & H. Zhu, “Wearable and highly sensitive graphene strain sensors for human motion monitoring,” *Advanced Functional Materials*, vol.24, no.29, pp.4666-4670, 2014.
- [9] T. Yamada, Y. Hayamizu, Y. Yamamoto, Y. Yomogida, A. Izadi-Najafabadi, D.N. Futaba, K. Hata K, “A stretchable carbon nanotube strain sensor for human-motion detection,” *Nature nanotechnology*, vol.6, no.5, pp.296-301, 2011.
- [10] O. Kanoun, C. Müller, A. Benchirouf, A. Sanli, T.N. Dinh, A. Al-Hamry, ... & A. Bouhamed, “Flexible carbon nanotube films for high performance strain sensors,” *Sensors*, vol.14, no.6, pp.10042-10071, 2014.
- [11] Y. Qin, M. Qu, Y. Pan, C. Zhang, D.W. Schubert, “Fabrication, characterization and modelling of triple hierarchic PET/CB/TPU composite fibres for strain sensing,” *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol.129, pp.105724, 2020.
- [12] N. Hu, H. Fukunaga, S. Atobe, Y. Liu, J. Li, “Piezoresistive strain sensors made from carbon nanotubes based polymer nanocomposites,” *Sensors*, vol.11, no.11, pp.10691-10723, 2011.
- [13] J.J. Park, W.J. Hyun, S.C. Mun, Y.T. Park, O.O Park, “Highly stretchable and wearable graphene strain sensors with controllable sensitivity for human motion monitoring,” *ACS applied materials & interfaces*, vol.7, no.11, pp. 6317-6324, 2015.

- [14] L. Cai, L. Song, P. Luan, Q. Zhang, N. Zhang, Q. Gao, ... & W. Zhou, "Super-stretchable, transparent carbon nanotube-based capacitive strain sensors for human motion detection," *Scientific reports*, no.3, pp.3048, 2013.
- [15] J.K.W. Sandler, S. Pegel, M. Cadek, F. Gojny, M. Van Es, J. Lohmar, ... & M.S.P. Shaffer, "A comparative study of melt spun polyamide-12 fibres reinforced with carbon nanotubes and nanofibres," *Polymer*, vol. 45, no.6, pp.2001-2015, 2004.
- [16] D.S. McLachlan, C. Chiteme, C. Park C, K.E. Wise, S.E. Lowther, P.T. Lillehei, ... & J.S. Harrison, "AC and DC percolative conductivity of single wall carbon nanotube polymer composites," *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, vol. 43, no.22, pp.3273-3287, 2005.
- [17] R. Karşlıoğlu, "MWCNT Oranının MWCNT ile güçlendirilmiş Al₂O₃ Matrisli Nanokompozitlerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7, no.3, pp.1922-1930.
- [18] K. A. Narh, L. Jallo, K.Y. Rhee, "The effect of carbon nanotube agglomeration on the thermal and mechanical properties of polyethylene oxide," *Polymer Composites*, vol. 29, no.7, pp.809-817, 2008.
- [19] C. Yan, J. Wang, W. Kang, M. Cui, X. Wang, C.Y. Foo, ... & P.S. Lee, "Highly stretchable piezoresistive graphene–nanocellulose nanopaper for strain sensors," *Advanced materials*, vol. 26, no.13, pp.2022-2027, 2014.
- [20] H. Eom, J. Lee, A. Pichitpajongkit, M. Amjadi, J.H. Jeong, E. Lee, ... & I. Park, "Ag@ Ni core–shell nanowire network for robust transparent electrodes against oxidation and sulfurization," *Small*, vol. 10, no.20, pp.4171-4181, 2014.
- [21] S. Yao, Y. Zhu, "Wearable multifunctional sensors using printed stretchable conductors made of silver nanowires," *Nanoscale*, vol. 6, no.4, pp. 2345-2352, 2014.
- [22] H. Lee, B. Seong, H. Moon, D. Byun, "Directly printed stretchable strain sensor based on ring and diamond shaped silver nanowire electrodes," *Rsc Advances*, vol. 5, no.36, pp.28379-28384, 2015.
- [23] D.J. Cohen, D. Mitra, K. Peterson, M.M. Maharbiz, "A highly elastic, capacitive strain gauge based on percolating nanotube networks," *Nano letters*, vol. 12, no.4, pp.1821-1825, 2012.
- [24] W. Obitayo, T. Liu, "Effect of orientation on the piezoresistivity of mechanically drawn single walled carbon nanotube (SWCNT) thin films," *Carbon*, vol. 85, pp.372-382, 2015.
- [25] N. Hu, T. Itoi, T. Akagi, T. Kojima, J. Xue, C. Yan, ... & Y. Liu, "Ultrasensitive strain sensors made from metal-coated carbon nanofiller/epoxy composites," *Carbon*, vol. 51, pp.202-212, 2013.
- [26] C.S. Boland, U. Khan, C. Backes, A. O'Neill, J. McCauley, S. Duane,... & J.N. Coleman, "Sensitive, high-strain, high-rate bodily motion sensors based on graphene–rubber composites," *ACS nano*, vol. 8, no.9, pp.8819-8830, 2014.
- [27] Y. Wang, L. Wang, T. Yang, X. Li, X. Zang, M. Zhu, ... & H. Zhu, "Wearable and highly sensitive graphene strain sensors for human motion monitoring," *Advanced Functional Materials*, vol. 24, no.29, pp.4666-4670, 2014.
- [28] S.H. Bae, Y. Lee, B.K. Sharma, H.J. Lee, J.H. Kim, J.H. Ahn, "Graphene-based transparent strain sensor," *Carbon*, vol. 51, pp.236-242, 2013.

- [29] Y. İköz, "Effect of Process Parameters on Morphology of Electrospun PVA Nanofibers," *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 15, , no.3, pp.363-369, 2009.
- [30] F.C. Çalhoğlu, H.K. Güler, "Production of essential oil-based composite nanofibers by emulsion electrospinning," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 26, no.7, pp.1178-1185, 2020.
- [31] N. Bhardwaj, S.C. Kundu, "Electrospinning: a fascinating fiber fabrication technique," *Biotechnology advances*, vol. 28, no.3, pp.325-347, 2010.
- [32] M. Bognitzki, W. Czado, T. Frese, A. Schaper, M. Hellwig, M. Steinhart, ... & J.H. Wendorff JH, "Nanostructured fibers via electrospinning," *Advanced materials*, vol. 13, no.1, pp.70-72, 2001.
- [33] G. Liu, Z. Gu, Y. Hong, L. Cheng, C. Li, "Electrospun starch nanofibers: Recent advances, challenges, and strategies for potential pharmaceutical applications," *Journal of Controlled Release*, vol. 252, pp.95-107, 2017.
- [34] G.H. Kim, H. Yoon, "A direct-electrospinning process by combined electric field and air-blowing system for nanofibrous wound-dressings," *Applied Physics A*, vol.90 , no.3, pp.389-394, 2008.
- [35] X.H. Qin, S.Y. Wang, "Filtration properties of electrospinning nanofibers," *Journal of applied polymer science*, vol. 102, no.2, pp.1285-1290, 2006.
- [36] Y. Wang, J. Cheng, Y. Xing, M. Shahid, H. Nishijima, W. Pan, "Stretchable Platinum Network-Based Transparent Electrodes for Highly Sensitive Wearable Electronics," *small*, vol. 13, no.27, pp.1604291, 2017.
- [37] B. Yin, Y. Wen, T. Hong, Z. Xie, G. Yuan, Q. Ji, H. Jia, "Highly stretchable, ultrasensitive, and wearable strain sensors based on facilely prepared reduced graphene oxide woven fabrics in an ethanol flame," *ACS applied materials & interfaces*, vol. 9, no.37, pp.32054-32064, 2017.
- [38] Y. Jia, X. Yue, Y. Wang, C. Yan, G. Zheng, K. Dai, ... & C. Shen, "Multifunctional stretchable strain sensor based on polydopamine/reduced graphene oxide/electrospun thermoplastic polyurethane fibrous mats for human motion detection and environment monitoring," *Composites Part B: Engineering*, vol. 183, pp.107696, 2020.
- [39] H. Liu, Y. Li, K. Dai, G. Zheng, C. Liu, C. Shen, ... & Z. Guo, "Electrically conductive thermoplastic elastomer nanocomposites at ultralow graphene loading levels for strain sensor applications," *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 4, , no.1, pp. 157-166, 2016.
- [40] M. Ren, Y. Zhou, Y. Wang, G. Zheng, K. Dai, C. Liu, C. Shen, "Highly stretchable and durable strain sensor based on carbon nanotubes decorated thermoplastic polyurethane fibrous network with aligned wave-like structure," *Chemical Engineering Journal*, vol. 360, pp. 762-777, 2019.
- [41] F. Fang, H. Wang, H. Wang, X. Gu, J. Zeng, Z. Wang, ... & M. Chen, "Stretchable MXene/ Thermoplastic Polyurethanes based Strain Sensor Fabricated Using a Combined Electrospinning and Electrostatic Spray Deposition Technique," *Micromachines*, vol. 12,no.3, pp. 252, 2021.
- [42] X. Wang, X. Liu, D.W. Schubert, "Highly sensitive ultrathin flexible thermoplastic polyurethane/carbon black fibrous film strain sensor with adjustable scaffold networks," *Nano-micro letters*, vol. 13, no.1, pp.1-19, 2021.

- [43] S. Li, R. Li, O.G. González, T. Chen, X. Xiao, “Highly sensitive and flexible piezoresistive sensor based on c-MWCNTs decorated TPU electrospun fibrous network for human motion detection,” *Composites Science and Technology*, vol. 203, pp. 108617, 2021.
- [44] G. Liu, Y. Chen, M. Gong, X. Liu, Z.K. Cui, Q. Pei, ... & Q. Zhuang, “Enhanced dielectric performance of PDMS-based three-phase percolative nanocomposite films incorporating a high dielectric constant ceramic and conductive multi-walled carbon nanotubes,” *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 6, , no.40, pp. 10829-10837, 2018.
- [45] C.A. Schneider, W.S. Rasband, K.W. Eliceiri, “NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis,” *Nature Methods*, vol. 9, , no.7, pp. 671–675, 2012.
- [46] K. Yang, Z. Yi, Q. Jing, R. Yue, W. Jiang, D. Lin D, “Sonication-assisted dispersion of carbon nanotubes in aqueous solutions of the anionic surfactant SDBS: The role of sonication energy,” *Chinese science bulletin*, vol. 58, no. 17, pp. 2082-2090, 2013.
- [47] R. Arrigo, R. Teresi, C. Gambarotti, F. Parisi, G. Lazzara, N.T. Dintcheva, “Sonication-induced modification of carbon nanotubes: Effect on the rheological and thermo-oxidative behaviour of polymer-based nanocomposites,” *Materials*, vol. 11, no.3, pp.383, 2018.
- [48] J.T. Choi, D.H. Kim, K.S. Ryu, , H.I. Lee, H.M. Jeong, C.M. Shin, ... & B.K. Kim, “Functionalized graphene sheet/polyurethane nanocomposites: effect of particle size on physical properties,” *Macromolecular Research*, vol. 19, , no. 8, pp. 809-814, 2011.
- [49] H. Liu, Q. Li, S. Zhang, R. Yin, X. Liu, Y. He , ... & Z. Guo, “Electrically conductive polymer composites for smart flexible strain sensors: a critical review,” *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 6, , no. 45, pp.12121-12141, 2018.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Binaların Deprem Risk Durumlarının Çok Faktörlü Bir Modelle Belirlenmesi

Ercan ÖZGAN ^a, Hüseyin BAYRAKTAR ^b, Sinan GÜL ^{*c}

^aMimarlık Bölümü, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^bMimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Kaynaşlı MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^cLisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık ABD, Düzce Üniversitesi

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

DOI: 10.29130/dubited.1033710

ÖZ

Bu çalışmada, Sakarya İli, Akyazı ilçe merkezinde 1967-1999 depremleri arasında yapılan 12 eski binanın deprem risk durumları çok faktörlü bir model ile belirlenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak yerinde inceleme ve gözlem yapılarak öncelik sırasına göre riskli olduğu düşünülen binalar tespit edilmiştir. İkinci aşamada, bu yapılar çok faktörlü P-25 metodu ile değerlendirilmiş ve yapıların ilk deprem risk puanları oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada ise riskli olduğu belirlenen yapıların mimari ve statik projeleri de incelenerek puanlandırılmış ve toplam risk puanları elde edilmiştir. Buna göre binaların yaklaşık %8' inin düşük riskli, %58'nin orta riskli ve %34'ünün de yüksek riskli olduğu, orta ve yüksek riskli binaların ise toplamda %92 oranında olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar dikkate alınarak Akyazı ilçesinde kentsel dönüşüm çalışmalarına riskli olan binaların olduğu alanlardan başlanması, olası bir depremde can ve mal kayıplarını önlenmesi, bu çalışmanın deprem bölgelerinde örnek olarak uygulanması, benzer yerleşim alanlarındaki yapıların muhtemel Deprem Risk durumlarının tespit edilerek bu yerler için kentsel dönüşüme katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: : Deprem riski, Kentsel dönüşüm, P25 Metodu, Akyazı

Determination of Earthquake Risk with A Multi Factor Model

ABSTRACT

In this study, 12 buildings which were built between 1967 and 1999 earthquakes in Akyazi district center have been determined with a multi-factor model. With this purpose, firstly, the buildings which are considered riskier have been determined through investigation on site and observation in accordance with the order of priority. Secondly, these buildings have been evaluated with multi-factor P-25 Method and the earthquake risk scores have been calculated for these buildings. As a third step, the buildings which are determined risky have been graded by working on their architectural and static projects and the total risk scores have been displayed. Accordingly, it is displayed that, 8% of the buildings are at low risk group, 58% are at medium risk group, 34% are at high risk group and medium and high risk buildings constitute the 92% of these buildings in total. Considering the results reached in this study, it is aimed to start the urban transformation works in Akyazi District in the areas where these risky buildings are located, prevent potential loss of life and property, apply this study in other earthquake zones as an example and contribute to the urban transformation of the buildings in similar settlements after determining their potential earthquake risk status.

Keywords: Earthquake risk, Urban transformation, P25 Method, Akyazi

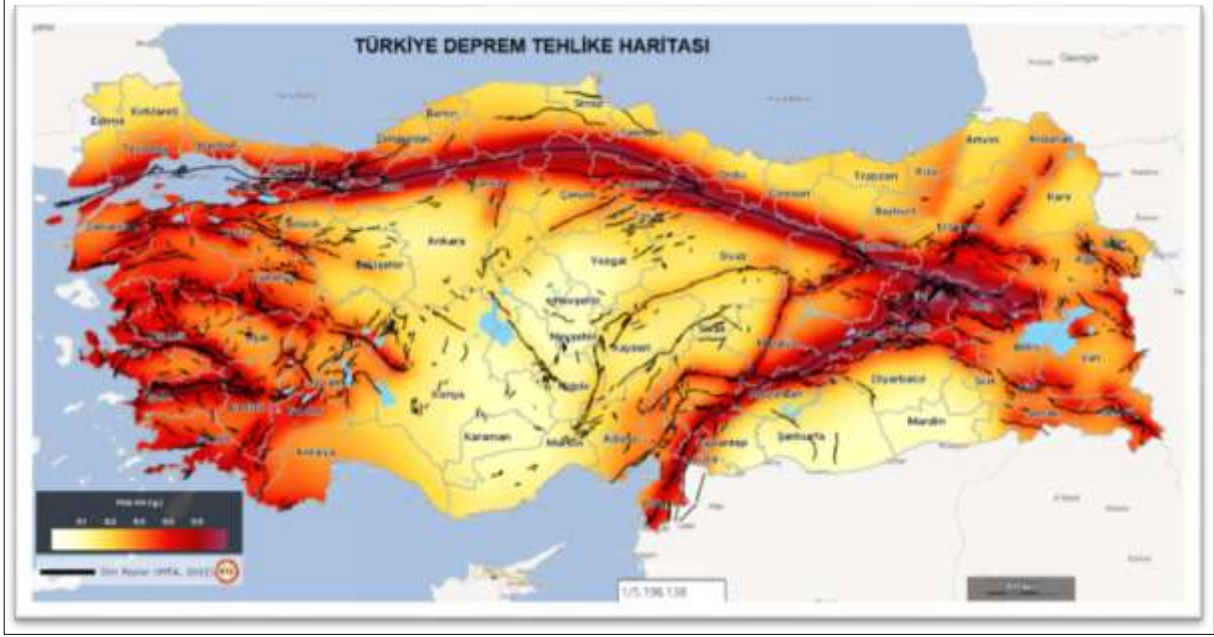
Geliş: 07/10/2021, Düzeltme: 20/02/2022, Kabul: 24/02/2022

*Bu çalışma Akyazı İlçe Merkezinin Kentsel Dönüşüm Bağlamında Yapılar Açısından Afet Riskinin İncelenmesi isimli yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

GİRİŞ

Sanayi devriminden sonra hızla artan insan nüfusu, gelişen teknoloji ve buna bağlı olarak yaygınlaşan yeni yapım-üretim teknikleri sayesinde çok katlı yapılardan oluşan modern kentler; doğanın bir parçası olarak büyümesi ve sayılarının artması sonucunda doğa, insan ve teknolojik sebeplerden kaynaklı afetlerle karşı karşıya kalmıştır. Kentlerin gerek doğal, gerek insan kaynaklı, gerekse teknolojik kaynaklı afetlere maruz kalması ve bu ihtimalin sürekli mevcut olması, kentlerin ve kentlilerin güvenliği açısından risk meydana getirmiş ve bu soruna çözüm arayışları afet riski kavramını ortaya çıkarmıştır. Afet riski, belirli bir tehlikenin gelecekte belirli bir zaman süresi içerisinde meydana gelmesi halinde, insanlara, insan yerleşmelerine ve doğal çevreye, bunların zarar veya hasar görebilirlikleri ile orantılı olarak oluşturabileceği kayıpların olasılığı olarak tanımlanmıştır. Afet risklerinin belirlenmesi, gerekli ve etkili çözümlerim önerilmesi, kentlerin korunması ve kent sakinlerinin can ve mal güvenliğinin güvence altına alınması, modern kentlerin en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Öngörülen afet risklerinin muhtemel sonuçları, afet gerçekleşmeden önce belirlenerek engellenmesi veya en aza indirilmesi olarak tanımlanan afet yönetimi tezlerini ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda bir yöntem olarak kentsel dönüşüm uygulamaları da, afet yönetimi ve önleme yöntemlerinden biridir. Kentsel dönüşüm uygulamaları yenileme, sağlıklılaştırma, koruma, yeniden canlandırma, düzenleme, temizleme, boşlukları doldurarak geliştirme ve tazeleme olmak üzere dokuz farklı uygulama biçiminden oluşmaktadır. [1] Türkiye’de çeşitli sebeplerle 1940’lı yıllarda başlayan hızlı nüfus yığılmaları ile artan konut talebi plansız ve jeofizik, geoteknik açıdan uygun olmayan bölgelerde de yapılaşmaya sebep olmuştur. Plansız yapılaşma denetimden uzak olduğundan söz konusu yapıların pek çoğu mühendislik hizmeti de almamıştır. [2] Çeşitli yıllarda çıkarılan imar affi yasaları ile nitelik bakımından zaten yetersiz olan bu yapılar mühendislik hizmetlerinden de yoksun kaldığından kentsel dönüşüm ve afet yönetimi daha da önemli hale gelmiştir.

Türkiye, Dünya’nın önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp Himalaya Kuşağı üzerinde, diğer bir deyişle “Akdeniz Deprem Kuşağı”nda yer almaktadır. Karmaşık jeolojik yapısı ve jeodinamik konumundan dolayı çok sayıda aktif fay hattına sahip olup, depremlerin yoğun yaşandığı ülkelerden biridir. Türkiye ve yakın çevresinin depremselliği, Afrika ve Arabistan levhalarının Avrasya levhasına göre kuzey yönlü hareketliliğinden kaynaklanmaktadır. Zira bu kuzey yönlü hareket Anadolu levhasının, sırasıyla sağ ve sol yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay hatları boyunca batıya doğru yaklaşık 24 mm/yıl bir hızla ve saat yönünün tersinde dönerek hareket etmesine neden olmaktadır. Türkiye’de üç adet önemli fay hattı bulunmaktadır. Bunlar; Kuzey Anadolu Fay Hattı, Batı Anadolu Fay Hattı ve Doğu Anadolu Fay Hattı’dır. [3] Depremlerin yıkıcı etkileri, ülkemizde geçmişten günümüze kadar önemli can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Ülkemiz sınırları içerisinde doğuda Bingöl içerisinden başlayarak batıya kadar uzanan Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) ve Hatay’dan başlayarak Bingöl’e kadar devam eden Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS), yüksek sismik aktivitesi ve ürettiği depremler göz önüne alındığında Türkiye’nin çok büyük bir kısmını olası depremler ile tehdit etmektedir. [4] Deprem Bölgeleri haritaları gerek deprem mühendisliği ve mühendislik sismolojisindeki gelişmeler, gerekse aktif tektonik ve sismotektonik bulguların, tarihsel ve aletsel dönemde hasara neden olmuş depremler hakkındaki bilgilerin ve depremlere ait kayıtların artması nedeniyle beş kez değiştirilmiştir. Değişiklikler 1945, 1947, 1963, 1972 ve 1996 yıllarında Bakanlar Kurulu kararı ile yapılmıştır. [5] En son 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiş, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanarak 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Şekil 1) [6].



Şekil 1. Türkiye deprem tehlike haritası.

Ülkemizde kentsel dönüşüm uygulamaları 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun 73. Maddesi [7] ve 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun [8] kapsamında yapılmaktadır. Bu çalışmada Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) etkisinde kalan Akyazı İlçesi, Ömercikler Mahallesi sınırları içindeki yaklaşık 43 dönümlük alan üzerinde çoğu deprem öncesinde inşa edilen 12 yapı deprem riski açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçların sadece çalışma alanında değil Akyazı İlçesinin tamamında, benzeri il ve ilçelerde de tatbik edilebilmesi amaçlanmıştır.

II. YÖNTEM (METHOD)

Binaların deprem risk analizlerinin yapılması deprem anında can ve mal kaybının oluşmaması ya da en aza indirilmesini sağlayabilir. Kent merkezlerinin muhtemel deprem risklerine karşı deprem oluşmadan korunması (sakınım) için Ampirik, Analitik, P-24 ve P-25 gibi bazı yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle geniş alanlarda hızlı sonuç veren P25 Metodu ülkemizin muhtelif yerlerindeki yapı stoklarının incelenmesi için yayımlar halinde önerilmiştir. Yöntemin kendisi "Betonarme Binaların Göçme Riskinin Hızlı Değerlendirme Yöntemleri İle Belirlenmesi: P25 Puanlama Yöntemi" [9] adı altında yayın haline de getirilmiş ve "P25 Metodu ile Kahramanmaraş Yapı Stokunun İncelenmesi" [10] gibi yayımlar ile yöntem tatbik edilmiştir. Bu çalışmada ise belirlenen kapsam alanındaki binaların deprem risk durumları belirlenmiştir. Söz konusu binaların deprem risk durumları P25 Metodundaki adımlar ve metodun öngördüğü esaslara göre incelenmiştir. Yöntemde nasıl bir yol izlendiği, mevcut binaların hangi değişkenlerinin nasıl ele alındığı ve elde edilen verilerin hesaplarda nasıl kullanıldığı 4. Bölümde açıklanmış ve elde edilen sonuçlar tablolar halinde gösterilmiştir.

III. AKYAZI'NIN MİMARİ VE KENTSEL ÖZELLİKLERİ

Sakarya'nın bir ilçesi olan Akyazı'nın nüfusu yaklaşık 91000 olup 648 km² yüzölçümü ile Sakarya'nın en büyük ilçesidir. İlçe merkezinde 9, merkez dışında 64 olmak üzere toplam 73 mahallesi mevcuttur.

Akyazı'da, 17 Ağustos 1999 Marmara Depreminden önce yapılar 3-4 katlı iken 2002 yılında kat adedi 2'ye indirilmiş ancak 2015 yılında ise kat adedi 1 kat artırılarak tekrar 3'e çıkarılmıştır. Akyazı Belediyesi Kent Bilgi Sistemi [11] ve Adres Kayıt Sisteminden [12] elde edilen verilere göre; ilçe merkezindeki toplam 8256 adet yapının 4546 âdeti ruhsatlı iken 3710 adedi ise ruhsatsız olarak inşa edilmiştir. Ruhsatsız yapıların 197 adedi 1983 tarihinde, 494 adedi de 1984 tarihinde imar affından yararlanmışlardır. Ruhsatlı yapıların 50 adedi 22 Temmuz 1967 Adapazarı-Mudurnusuyu Vadisi Depreminden önce, 1908 adedi 22 Temmuz 1967 ile 17 Ağustos 1999 depremleri arasında, 2588 adedi ise 17 Ağustos 1999 depreminden sonra inşa edilmiştir. İlçe merkezindeki yapılar 2015 yılında 3 katlı ve bina yüksekliği konut alanlarında 10 metre, ticaret alanlarında 11,00 metre olarak değiştirilmiştir. Yapılar genellikle bahçeli ve 1-3 katlı iken şehir merkezi iş alanında 4-5 katlı binalar da mevcuttur. 2015 yılında onaylanan revize nazım ve uygulama imar planlarında büyük imar adaları oluşturularak kentsel dönüşüme uygun, yaşam alanları olan toplu konutların yapılmasına imkân sağlanmak istenmiştir.

A. AKYAZI'NIN DEPREMSELLİĞİ

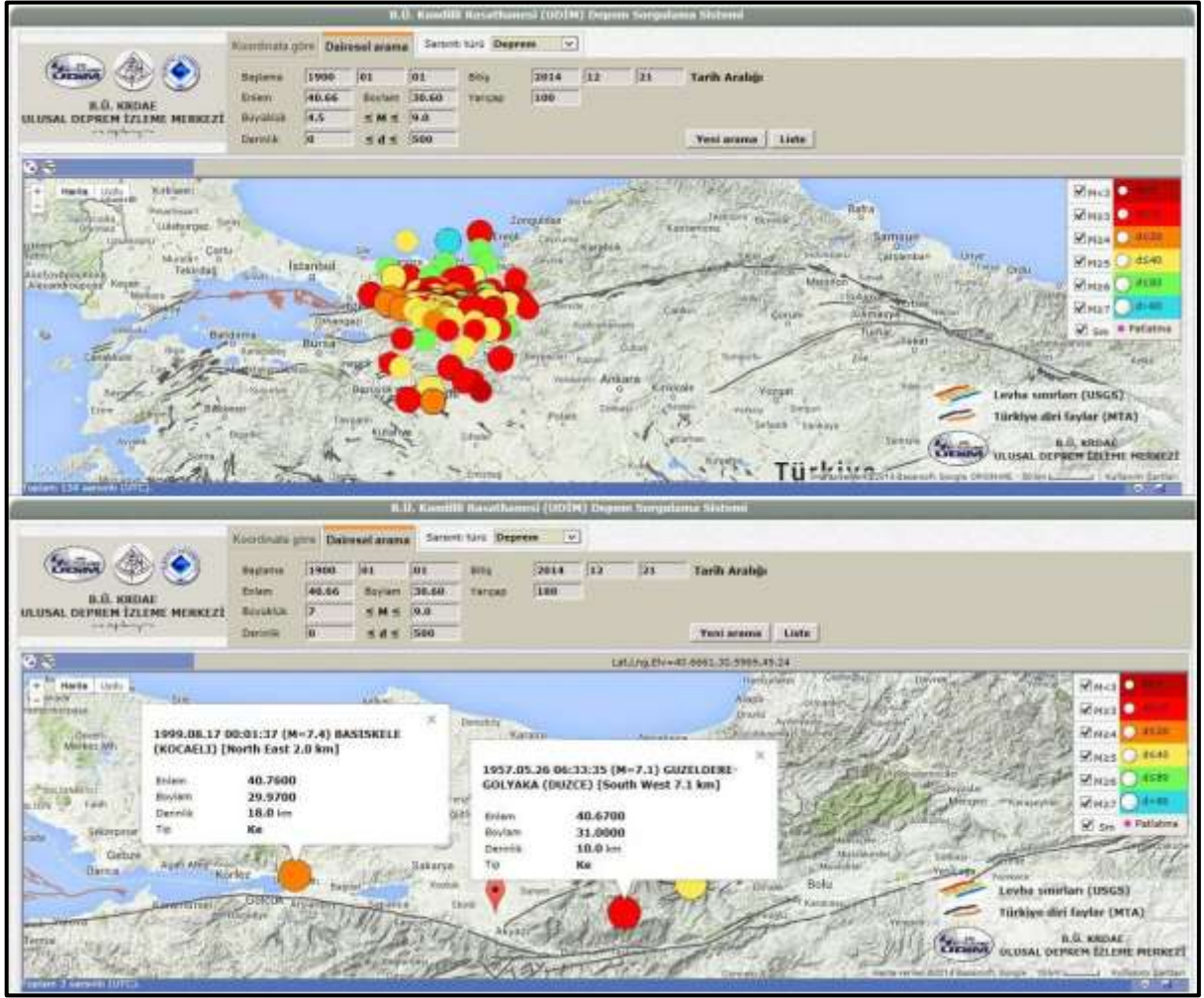
Akyazı İlçesi; Marmara Bölgesinin Doğu Marmara alt bölgesinde yer aldığından Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) etkisinde kalmaktadır. KAFZ'nun üç kol halinde uzanması ve önemli fay kayma hızlarına sahip olması Marmara Bölgesi'nde gerek aletsel gerekse tarihsel dönemde yüksek bir deprem etkinliğine neden olmuştur. Tarihi kaynaklara göre bölgede M.S. 400 yılından sonra meydana gelmiş büyüklüğü $M \geq 6.8$ olan 42 adet deprem tespit edilmiştir. Tarihi depremlerden bazılarının izlerine 1999 İzmit depremi sonrasında yapılan paleosismolojik çalışmalarda da rastlanılmıştır. KAFZ'nun kolları üzerinde çukurlar açılması sahildeki paleo-taraça sedimentlerinden örnekler alınması ve Marmara Denizi ve Sapanca Gölü tabanındaki sediment tabakalarından karotlar çıkarılması yoluyla yapılan paleosismolojik çalışmalarda birçok depremin bulgusuna rastlanılmıştır. Tarihteki bu büyük depremlerin bir kısmı Marmara Denizi'nde tsunami oluşumlarına da neden olmuştur. M.S. 400 yılından sonra çeşitli kaynaklar tarafından Marmara Denizi'nde rapor edilen 24 adet tsunami listelenmiştir. Marmara Denizi ve çevresi tarih boyunca depremlerden defalarca zarar görmüş bir yerleşim bölgesidir. İstanbul ve yakın çevresinde M.S.32 ile 1900 yılları arasında 100'den fazla yıkıcı büyüklüklerde deprem meydana gelmiştir. 1900 yılından sonra ise Marmara bölgesinde İstanbul ve yakın çevresini etkileyebilecek büyüklüklerde ($M \geq 6,0$) 21 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremler İstanbul'u MSK ölçeğine göre VI ile X arasında değişen şiddetlerde etkilemiştir. (Tablo 1)

Tablo 1. 1900–2014 yılları arasında olan depremlerin magnitüdüleri ve tekrar sayıları.

Magnitüd Aralıkları	Oluşum Sayıları
$4.5 \leq M < 5.0$	81
$5.0 \leq M < 5.5$	32
$5.5 \leq M < 6.0$	15
$6.0 \leq M < 6.5$	1
$6.5 \leq M < 7.0$	2
$7.0 \leq M < 7.5$	3

Deprem odak merkezlerinin dağılımı jeolojik ve jeofizik çalışmalarla belirlenen fayların sismik bakımdan etkin olabildiklerini göstermektedir. Bölgede etkili olan en büyük şiddet değerleri MSK ölçeğinde VI-VII arasında değişmektedir. Bölgede oluşabilecek en büyük depremin büyüklüğü yaklaşık $M=7,5$ 'tir. Magnitüdü 6,0–6,5 olan bir depremin meydana gelmesi ihtimali oldukça büyüktür. Kuzey Anadolu Fay Sisteminin ana hattı üzerinde bulunan Sakarya ili tarihsel dönem depremlerden büyük hasar görmüştür. 1943 yılında $M=6.6$ Hendek, 1957 yılında $M=7.1$ Abant, 1967 yılında $M=6.0$ Akyazı, 1967 yılında $M=7.2$ Adapazarı ve 2000 yılında $M=5.2$ Akyazı depremleri bölgede son yüzyılda hasar yapan depremlerdir. 1999 yılında $M=7.4$ İzmit ve $M=7.2$ Düzce depremleri de Sakarya'da büyük hasar ve can kaybına neden olmuştur. [13] Bölgede meydana gelen depremler aşağıdaki haritada gösterilmiştir (Şekil 2) [14].

Şekil 2. Akyazı merkezinden itibaren 100 km yarıçaplı alanda meydana gelmiş depremler.



Sakarya İli Bakanlar Kurulu'nun 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı kararı ile yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlikesi Haritasına göre 1. derecede tehlikeli deprem bölgesindedir. Temmuz 2010 tarihli TBMM Araştırma Komisyon Raporunda [15] 17/08/1999 Marmara Depreminden etkilenen Bolu, Bursa, Eskişehir, İstanbul, Kocaeli, Gölcük, Sakarya ve Yalova illerimizde hasar durumları tespit edilmiştir. Sakarya iline ait hasar tespit durumu aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. TBMM Araştırma Komisyonunun Sakarya ilindeki hasar tespit raporu.

17 Ağustos Depremi Kesin Hasar Tespit Durumu						
Durum	Yıkık-Ağır Hasarlı		Orta Hasarlı		Az Hasarlı	
	Konut	İşyeri	Konut	İşyeri	Konut	İşyeri
Sakarya	19.043	4.068	12.200	1.963	18.712	1.675
Toplam	66.441	10.901	67.242	9.927	80.160	9.712

17 Ağustos 1999 depreminde Sakarya genelinde 77342 konut + işyerinin “yıkılmış ya da ağır hasarlı” olduğu, 77169 konut + işyerinin “orta hasarlı” olduğu ve 89872 konut + işyerinin ise “az hasarlı” olduğu tespit edilmiştir.

Akyazı ilçesinde ise, Akyazı Kaymakamlığı 2002 yılındaki Afet Acil Yardım Planı Raporuna [16] göre; Akyazı İlçesinde 1005 adet konutun “yıkıldığı ya da ağır hasarlı” olduğu, 798 konutun “orta hasarlı” olduğu, 1417 konutun “az hasarlı” olduğu ve 552 işyerinde çeşitli derecelerde hasar aldığı belirtilmiştir. Aynı raporda Akyazı da 74 kişinin hayatını kaybettiği ve 220 kişinin ise yaralandığı

belirtmiştir. Akyazı ilçesi sismik etkinliği yüksek deprem fay hattına yakın olduğu için her an deprem olma riski bulunmaktadır. Olası depremlerde ilçe merkezinde bulunan ve çoğu 1967-1999 yılları arasında yapılmış olan binaların yeni bir depremde yıkılma riski çok yüksektir. Özellikle 1999 depremine maruz kalmış olan bu eski yapıların yeni bir depreme dayanma ihtimalleri oldukça zayıf olup çok fazla can ve mal kayıplarına neden olabilecekleri açıktır. Bu çalışmada, Akyazı ilçe merkezinde bulunan eski binaların Deprem Risk durumları çok faktörlü P-25 Metodu ile belirlenmiştir. Bu metotta Akyazı ilçe merkezinde bulunan eski binaların deprem risk durumları saha çalışmaları, mimari ve statik projelerin verileri ile birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler çok faktörlü değerlendirme işlemlerinden sonra her bina için deprem risk puanı oluşturulmuştur. Böylece ilçe merkezinde bulunan eski binaların deprem risk puanlarına göre yıkılarak sosyal donatıları ve yaşam alanlarının olduğu depreme dayanıklı yeni binaların yapılmasına katkı sağlanmak istenmiştir. Elde edilen sonuçların ilçe merkezinde kentsel dönüşüm çalışmaları için referans olması, deprem risk durumlarının azaltılması ve muhtemel kayıpların önlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın yapıldığı Akyazı ilçe merkezindeki eski binaların olduğu alan aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Sakarya ili Akyazı İlçe Merkezinde eski yapıların olduğu alan.

IV. ÇOK FAKTÖRLÜ P-25 METODUNUN UYGULANMASI

Akyazı ilçe merkezinin en eski yapılarının bulunduğu alanda yer alan binaların Deprem risk durumlarının belirlenmesi amacı ile arşiv kayıtlarından mimari ve statik projelerine ulaşılabilen 12 adet binaya çok faktörlü P-25 metodu uygulanarak binaların Deprem risk puanları hesaplanmış ve incelenen binalar öncelikli risk durumlarına göre sınıflandırılmıştır. Çok faktörlü P-25 Metodunun uygulanma aşamaları ve binaların Deprem risk puanlarının hesaplamaları aşağıda belirtilen konu başlıklarında açıklanmıştır.

A. BİNA KİMLİK BİLGİLERİNİN TESPİTİ VE KRİTİK KATIN BELİRLENMESİ

Akyazı ilçe merkezinde eski binaların bulunduğu alanda arşiv kayıtlarından mimari ve statik projelerine ulaşılabilen 12 binanın deprem risk durumları çok faktörlü P-25 Metodu ile belirlenmiştir. Bu binalardan 11 tanesinin 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden önce 1 tanesinin ise sonra yapıldığı görülmüştür. Çalışma kapsamında incelenen 12 adet binaya kod numaraları verilmiş (AKY-2288-2-B: Akyazı-Adres Kodu-2 Katlı-Betonarme) binaların ada, parsel numaraları, yapısal sistemleri, kat adetleri, ruhsat ve iskân onay tarihleri ile arşiv kayıtlarından elde edilen dokümanlar veri haline getirilerek bina kimlik bilgileri oluşturulmuştur. İncelenen binaların zemin katları ile zemin üstü

katlarında tasarım farklılıklarının olduğu görülmüştür. Zemin katlardaki iş yerlerinden dolayı bölme duvarların yok denecek düzeyde olduğu ve bu nedenle zemin katların deprem riski açısından kritik kat haline geldiği belirlenmiştir.

B. BİNALARIN KONUM VE BOYUTLARININ KARTEZYEN KOORDİNAT SİSTEMİNE İŞLENMESİ

Çok faktörlü P-25 metodu uygulanan 12 adet bina, Kartezyen (x-y koordinat sistemi) sisteminde konumlandırılmış binanın kritik katı, kritik kat üstünde bulunan üst katlardaki kolonların, betonarme perde duvarların ve dolgu duvarlarının “x” ve “y” yönündeki boyutları belirlenmiştir. Böylece binanın Kritik kat alan indeksi, Rijitlik indeksi, Yumuşak kat ve Zayıf kat düzeltme faktörü hesaplanmış ve “f12” olarak tanımlanmıştır.

B.1. Dolgu Duvar Boyutlarının İşlenişi

Arşiv taramalarından elde edilen mimari projeler ışığında binalarda belirlenen kritik kat ve kritik katın üzerindeki katlar incelenmiştir. Buna göre, bina yapısal sistemi içinde çerçeveyi dolduran ve betonarme taşıyıcı elemanlardan herhangi biri ile en az bir taraftan temaslı olan dolgu duvar boyutları tespit edilerek alanları hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak çok faktörlü P-25 Metodu için gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

B.2. Kesit İdealizasyonu

12 adet binadaki kolonların, betonarme perde duvarların ve dolgu duvarların “x” ve “y” yönündeki boyutları binanın Kartezyen sistemine işlenmiştir. Bu esnada gerekli görüldüğünde, yapı elemanı parçalara ayrılarak toplam alan ve atalet momenti değerleri yapı elemanının kendi yerel eksen sistemine göre hesaplanmış ve sonradan küresel eksen sistemine çevrilmiştir. Böylece söz konusu elemanların küresel eksen sistemindeki eşdeğer boyutları bulunarak sisteme işlenmiştir.

B.3. Eleman katsayısı

Çok faktörlü P-25 metodunda açıklanan eleman katsayısı hesaplama yöntemi ile 12 adet bina için katlarda bulunan kolon ve yapısal çerçeve içindeki mevcut dolgu duvarlar için elemana birleşen sayısı ve elemana birleşecek maksimum giriş sayısına göre eleman katsayıları hesaplanmıştır.

C. ALAN VE RİJİTLİK İNDEKSLERİNİN HESAPLANMASI

İncelenen 12 binanın kritik katı ve bu katın bir kat üstündeki kolonların ve dolgu duvarların alanları ile atalet momentleri hesaplanmıştır. Söz konusu binalarda betonarme perde duvar olmadığından hesaplama formüllerinde perde duvar ile ilgili değerler sıfır alınmıştır. Arşiv kayıtları ve yerinde yapılan incelemeler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak P-25 metodunun ön gördüğü formüllerle gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bunlar;

Kritik kattaki kolonların toplam alanı ile “x” ve “y” yönünde çalışan dolgu duvar alanlarının %15’i toplanarak kritik kattaki toplam etkili kesme alanları " $A_{ef,xy} = A_c + I_{sxy} + 0,15A_{wxy}$ " formülü ile hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Kritik katta “x” ve “y” için toplam etkili kesme alanı " $A_{(ef,x)}$ ve $A_{(ef,y)}$ " hesabı.

Bina Bilgileri			Toplam Kesme Alanı (m ²)						
No	Kod	Bina Kodu	A _c	A _(sx)	A _(wx)	A _(ef,x)	A _(sy)	A _(wy)	A _(ef,y)
1	1	AKY-2288-2-B	4.490	0.00	8.59	5.78	0.00	5.100	5.255
2	4	AKY-2289-3-B	0.360	0.00	4.23	0.99	0.00	4.655	1.058
3	5	AKY-2295-2-Y	1.200	0.00	2.31	1.55	0.00	2.300	1.545
4	15	AKY-2298-2-B	3.000	0.00	5.54	3.83	0.00	7.010	4.052
5	16	AKY-2274-2-B	5.960	0.00	7.55	7.09	0.00	8.520	7.238
6	17	AKY-2276-3-B	5.040	0.00	9.52	6.47	0.00	14.090	7.154
7	26	AKY-981-2-B	1.500	0.00	3.94	2.09	0.00	3.413	2.012
8	29	AKY-994-4-B	4.000	0.00	4.01	4.60	0.00	7.550	5.133
9	38	AKY-2604-3-B	1.280	0.00	0.87	1.41	0.00	1.808	1.551

10	62	AKY-1979-3-B	3.265	0.00	1.70	3.52	0.00	8.772	4.581
11	88	AKY-2637-4-B	1.875	0.00	5.22	2.66	0.00	0.470	1.946
12	94	AKY-2648-4-B	19.750	0.00	47.88	26.93	0.00	13.090	21.714

Tablo 3’de yer alan kısaltmalar aşağıda gösterilmiştir.

A_c :Kritik kattaki tüm kolonların alanlarının toplamı

$A_{(sx)}$:Kritik katta “x” yönünde ki betonarme perde duvar alanlarının toplamı

$A_{(wx)}$:Kritik katta “x” yönünde ki dolgu duvar alanlarının toplamı

$A_{(ef,x)}$:Kritik katta “x” yönünde ki toplam etkili kesme alanı

$A_{(sy)}$:Kritik katta “y” yönünde ki betonarme perde duvar alanlarının toplamı

$A_{(wy)}$:Kritik katta “y” yönünde ki dolgu duvar alanlarının toplamı

$A_{(ef,y)}$:Kritik katta “y” yönünde ki toplam etkili kesme alanı

Kritik kattaki tüm kolonların “x” ve “y” yönündeki atalet momentleri ile “x” ve “y” yönünde ki dolgu duvarların atalet momentlerinin %15’ toplanarak kritik kattaki toplam etkili atalet momenti " $I_{ef,x} = I_{cx} + I_{sx} + 0,15I_{wx}$ " formülü ile hesaplanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Kritik katta “x” ve “y” için toplam etkili atalet momenti $I_{(ef,x)}$ ve $I_{(ef,y)}$ hesabı.

Bina Bilgileri			Toplam Atalet Momenti							
No	Kod	Bina Kodu	$I_{(cx)}$	$I_{(sx)}$	$I_{(wx)}$	$I_{(ef,x)}$	$I_{(cy)}$	$I_{(sy)}$	$I_{(wy)}$	$I_{(ef,y)}$
1	1	AKY-2288-2-B	0.1643	0.00	31.6594	4.913	0.0624	0.00	0.0286	0.067
2	4	AKY-2289-3-B	0.0472	0.00	28.3452	4.299	0.0472	0.00	0.0165	0.050
3	5	AKY-2295-2-Y	0.0101	0.00	4.9093	0.746	0.0085	0.00	0.0092	0.010
4	15	AKY-2298-2-B	0.0041	0.00	3.5720	0.540	0.0041	0.00	0.0152	0.006
5	16	AKY-2274-2-B	0.0085	0.00	4.9553	0.752	0.0085	0.00	0.0191	0.011
6	17	AKY-2276-3-B	0.1269	0.00	37.3018	5.722	0.0621	0.00	0.0317	0.067
7	26	AKY-981-2-B	0.0292	0.00	8.7414	1.340	0.0097	0.00	0.0205	0.013
8	29	AKY-994-4-B	0.1150	0.00	11.2041	1.796	0.0388	0.00	0.0133	0.041
9	38	AKY-2604-3-B	0.0216	0.00	1.3685	0.227	0.0118	0.00	0.0016	0.012
10	62	AKY-1979-3-B	0.2540	0.00	4.2300	0.889	0.0180	0.00	0.0050	0.019
11	88	AKY-2637-4-B	0.0034	0.00	0.2160	0.036	0.1360	0.00	0.0174	0.139
12	94	AKY-2648-4-B	0.4114	0.00	14.1949	2.541	0.4114	0.00	0.0281	0.416

Tablo 4’de yer alan kısaltmalar aşağıda gösterilmiştir.

$I_{(cx)}$: Kritik kattaki tüm kolonların “x” yönündeki atalet momentlerinin toplamı

$I_{(sx)}$: Kritik katta “y” yönünde ki betonarme perde duvar atalet momentlerinin toplamı

$I_{(wx)}$: Kritik katta “y” yönünde ki dolgu duvar atalet momentlerinin toplamı

$I_{(ef,x)}$: Kritik katta “x” yönünde toplam etkili atalet momenti

$I_{(cy)}$: Kritik kattaki tüm kolonların “y” yönünde ki atalet momentlerinin toplamı

$I_{(sy)}$: Kritik katta “x” yönünde betonarme perde duvar atalet momentlerinin toplamı

$I_{(wy)}$: Kritik katta “x” yönünde dolgu duvar atalet momentlerinin toplamı

$I_{(ef,y)}$: Kritik katta “y” yönünde toplam etkili atalet momenti

Kritik katlarda hesaplanan toplam etkili kesme alanları kritik kat alanına bölünerek " $C_{Axy} = 9 \times 10^5 \times (\sum A_{ef,xy})/A_p$ " formülü ile metodun öngördüğü sabit değerle çarpılmış ve kritik katların “x” ve “y” yönündeki etkili kesme alan indeksleri hesaplanmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Kritik katta “x” ve “y” için etkili kesme alanı indeksi $C_{(Ax)}$ ve $C_{(Ay)}$ hesabı.

Bina Bilgileri			Toplam Kesme Alanı İndeksi				
No	Kod	Bina Kodu	$L_{(x)}$	$L_{(y)}$	$A_{(p)}$	$C_{(Ax)}$	$C_{(Ay)}$
1	1	AKY-2288-2-B	12.50	11.70	146.250	1011.077	1011.077
2	4	AKY-2289-3-B	11.12	11.52	128.102	331.610	331.610
3	5	AKY-2295-2-Y	7.50	7.50	56.250	161.600	161.600
4	15	AKY-2298-2-B	13.80	9.80	135.240	27.285	27.285
5	16	AKY-2274-2-B	17.20	11.30	194.360	39.360	39.360
6	17	AKY-2276-3-B	19.25	18.45	355.163	321.571	321.571
7	26	AKY-981-2-B	17.25	6.00	103.500	253.913	253.913
8	29	AKY-994-4-B	12.20	14.75	179.950	575.160	575.160
9	38	AKY-2604-3-B	4.70	11.00	51.700	376.015	376.015
10	62	AKY-1979-3-B	16.85	11.00	185.350	1233.342	1233.342
11	88	AKY-2637-4-B	7.62	15.95	121.539	25.177	25.177
12	94	AKY-2648-4-B	28.30	42.60	1205.580	307.122	307.122

Tablo 5’de yer alan kısaltmalar aşağıda gösterilmiştir.

$L_{(x)}$: Kartezyen sistemine göre kritik katın “x” yönü uzunluğu

$L_{(y)}$: Kartezyen sistemine göre kritik katın “y” yönü uzunluğu

$A_{(p)}$: Kritik kat alanı

$C_{(Ax)}$: Kritik katın “x” yönünde ki etkili kesme alan indeksi

$C_{(Ay)}$: Kritik katın “y” yönünde ki etkili kesme alan indeksi

Kritik katlarda “x” ve “y” yönü için hesaplanan toplam atalet momentleri binanın “x” ve “y” yönündeki atalet momentine bölünerek,

$C_{I_{xy}} = 9 \times 10^5 \times \left[\frac{(\sum I_{ef,xy})}{I_{pxy}} \right]^{0.4}$ Formülünde metodun öngördüğü sabit ile çarpılmış ve kritik katlardaki rijitlik indeksleri hesaplanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Kritik katta “x” ve “y” için etkili Rijitlik İndeksi “ $C_{(Ix)}$ ve $C_{(Iy)}$ ” hesabı.

Bina Bilgileri			Toplam Rijitlik İndeksi			
No	Kod	Bina Kodu	$I_{(px)}$	$C_{(Ix)}$	$I_{(py)}$	$C_{(Iy)}$
1	1	AKY-2288-2-B	1668.347	87473.016	1904.297	14858.430
2	4	AKY-2289-3-B	1416.710	88527.110	1320.035	15291.969
3	5	AKY-2295-2-Y	263.672	86104.876	263.672	15265.807
4	15	AKY-2298-2-B	1082.371	42994.947	2146.259	5539.849
5	16	AKY-2274-2-B	2068.152	37883.428	4791.622	5061.477
6	17	AKY-2276-3-B	10074.850	45286.773	10967.492	7383.345
7	26	AKY-981-2-B	310.500	101932.560	2566.477	6808.508
8	29	AKY-994-4-B	3262.531	44720.427	2231.980	11455.371
9	38	AKY-2604-3-B	521.308	40711.706	95.171	24836.540
10	62	AKY-1979-3-B	1868.946	42176.137	4385.420	6406.761
11	88	AKY-2637-4-B	2576.652	10265.342	588.091	31855.366
12	94	AKY-2648-4-B	182319.863	10277.461	80461.414	6910.094

Tablo 6’da yer alan kısaltmalar aşağıda gösterilmiştir.

$I_{(px)}$: Kritik katta “x” yönünde atalet momenti

$C_{(Ix)}$: Kritik katta “x” yönünde etkili rijitlik indeksi
 $I_{(Py)}$: Kritik katta “y” yönünde atalet momenti
 $C_{(Iy)}$: Kritik katta “y” yönünde etkili rijitlik indeksi

Binaların kritik katlarındaki Etkili kesme alanı indeksleri,

$$C_A = [(0,87C_{A,min})^2 + (0,5C_{A,max})^2]^{0,5} \text{ Formülü ile}$$

Kritik katlardaki etkili Eğilme rijitlikleri ise,

$$C_I = [(0,87C_{I,min})^2 + (0,5C_{I,max})^2]^{0,5} \text{ Formülü ile hesaplanmıştır.}$$

Böylece “K” değerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan değerler elde edilmiştir.

D. KRİTİK KAT ÇEVRE UZUNLUKLARININ BELİRLENMESİ

Kartezyen sistemine yerleştirilen 12 binanın “L_x” ve “L_y” değerleri bu binaların kritik kat çevre uzunluklarıdır. Çevre uzunlukları, dikdörtgen plana sahip binalarda oldukça basit şekilde belirlenebilmektedir. Farklı planlarda ise oluşabilecek düzensizliklerin yönleme daha iyi yansıtılabilmesi için plan sisteme yerleştirildikten sonra hem “x” hem de “y” yönünde uzunlukların izdüşümü alınarak binada ki kat alanları olduğundan büyük hesaplanmıştır. Binada ki alanların büyük hesaplanmış olması performans puanını azaltacağı için daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir.

E. BİNA YÜKSEKLİĞİNİN (H) BELİRLENMESİ

Yerinde yapılan incelemelerde çekilen fotoğraflar ile arşiv kayıtlarından elde edilen mimari projelerdeki bina ve kat yükseklikleri referans alınarak binaların yükseklikleri belirlenebilmiştir. P-25 Metodunda veri olarak kullanılan ve bina yüksekliğini temsil eden “t₀” parametresi “t₀ = -0,7 × H² + 40H + 90” formülü ile hesaplanmış ve binaların deprem risk puanlarının “P” nin hesaplanmasından önceki son işlem olan “K” değerinin hesaplanmasına geçilmiştir.

F. “K” DEĞERİNİN HESAPLANMASI

İncelenen binaların Deprem risk puanlarının (P) hesaplanmasından önceki son adım olan risk puanı sabiti olan “K” değerinin hesaplanması için daha önce elde edilen Binaların kritik katlarındaki etkili kesme alanı indeksleri “C_A” ve kritik katlardaki etkili eğilme rijitlikleri “C_I” değerleri kullanılarak risk puanı sabiti olan “K” değeri $K = \frac{C_A + C_I}{t_0}$ formülü ile hesaplanmıştır.

Tablo 7. Kritik Kat Kesme Alan İndeksi, Eğilme Rijitlik İndeksi, Yükseklik Parametresi ve Hesaplanan “K” değerleri.

K Değerinin Hesaplanması							
Bina Bilgileri			Kesme Alan İndeksi	Eğilme Rijitlik İndeksi	Yükseklik Parametresi		K Değeri
No	Kod	Bina Kodu	C _(A)	C _(I)	H	t ₍₀₎	K
1	1	AKY-2288-2-B	33280.898	45609.064	6.90	332.673	237.140
2	4	AKY-2289-3-B	7117.139	46032.462	9.50	406.825	130.645
3	5	AKY-2295-2-Y	5972.558	45039.675	6.00	304.800	167.363
4	15	AKY-2298-2-B	27459.348	24321.901	6.50	320.425	161.602
5	16	AKY-2274-2-B	1723.641	19369.765	6.50	320.425	65.829
6	17	AKY-2276-3-B	16896.265	23536.190	6.00	304.800	132.652
7	26	AKY-981-2-B	17727.369	51307.582	6.90	332.673	207.516
8	29	AKY-994-4-B	23782.692	24476.819	13.00	491.700	98.148
9	38	AKY-2604-3-B	25372.154	29663.222	9.50	406.825	135.280
10	62	AKY-1979-3-B	18568.909	21812.262	9.50	406.825	99.259
11	88	AKY-2637-4-B	15935.593	18260.644	12.50	480.625	71.150

12	94	AKY-2648-4-B	17318.715	7908.734	12.50	480.625	52.489
----	----	--------------	-----------	----------	-------	---------	--------

Tablo 7’de yer alan kısaltmalar aşağıda gösterilmiştir.

- $C_{(A)}$:Kritik kattaki etkili kesme alanı indeksi
 $C_{(I)}$:Kritik kattaki etkili eğilme rijitlik indeksi
 $t_{(o)}$:Bina yükseklik parametresi
H :Bina yüksekliği
K :Risk puanı sabiti

G. DÜZELTME FAKTÖRLERİ

Düzeltilme faktörleri “Yapısal Düzeltilme Faktörleri” ile “Temel ve Zemin Düzeltilme Faktörleri” olmak üzere iki ana başlık altında açıklanmıştır. Bu iki başlıkta toplam 25 adet düzeltilme faktörü bulunmakta olup bu faktörler 12 binaya uygulanmıştır. Bu faktörlerin öngördüğü sayısal değerler, Akyazı ilçe merkezinin 1/1000 ölçekli Uygulama İmar Planına esas Mikro bölgeleme etüt raporu ve arşiv kayıtlarından elde edilen veriler kullanılarak belirlenmiştir. Ancak bütün binaların arşiv kaydı olmadığından, Burulma Düzensizliği (f_1), Yumuşak Kat ve Zayıf Kat (f_{12}), Zayıf Kolon (f_{13}), Enine Donatı Sıklığı (f_{14}), Temel Tipi (f_{23}) ve Temel Derinliği (f_{24}) ile ilgili faktörlerin değerleri belirlenememiş ancak bu faktörler için alt sınır değerleri kullanılmıştır. Böylece bu binaların deprem risklerinin daha belirgin hale gelmesi sağlanmıştır.

G.1. Yapısal Düzeltilme Faktörleri

Bu faktörler ile çalışma alanındaki yapılar kendi içinde ve bitişindeki yapılarla ilişkisi bakımından yapısal olarak incelenmiştir. Buna göre binalardaki; Burulma Düzensizliği, Döşeme Süreksizliği, Taşıyıcı Düşey Elemanların Süreksizliği, Kütle Düzensizliği, Korozyon, Kısa Kolon, Ağır Cephe Elemanları, Asma Kat, Çarpışma Olasılığı, Katlardaki Seviye Farkı ve Kısmi Bodrum Kat, Beton Kalitesi, Yumuşak Kat ve Zayıf Kat, Zayıf Kolon, Enine Donatı Sıklığı ve Bina Önem Derecesi Faktörleri her bina için ayrı ayrı hesaplanmış ve sonuçlar tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. İncelenen 12 bina için yapısal düzeltilme faktörleri.

Yapısal Düzeltilme Faktörleri																
No	Kod	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}
1	1	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.80	0.90	1.00	1.00	1.00
2	4	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00	0.80	0.90	1.00	1.00	1.00
3	5	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.80	1.00	0.93	1.00	1.00
4	15	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.94	0.84	1.00	1.00
5	16	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.94	1.00	1.00	1.00
6	17	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.80	1.00	0.99	1.00	1.00
7	26	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.80	0.86	1.00	1.00	1.00
8	29	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00	0.80	1.00	0.76	1.00	1.00
9	38	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00
10	62	0.98	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.80	0.86	1.00	1.00	1.00
11	88	0.96	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.80	0.72	1.00	1.00	1.00
12	94	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	0.80	1.00	0.76	1.00	1.00

Tablo 8’de yer alan kısaltmalar ve referans değerleri aşağıda verilmiştir.

Yapısal Düzeltilme Faktörleri	Referans Değerleri					
f_1 : Burulma düzensizliği faktörü	1.00		0.98		0.96	
f_2 : Döşeme süreksizliği faktörü	1.00		0.98		0.96	
f_3 : Taşıyıcı düşey elemanların süreksizliği	1.00	0.92	0.84	0.76	0.68	0.60

f ₄ : Kütle düzensizliği faktörü	1.00	0.99	0.98
f ₅ : Korozyon faktörü	1.00	0.98	0.96
f ₆ : Kısa kolon faktörü	1.00	0.96	0.92
f ₇ : Ağır cephe elemanları faktörü	1.00	0.98	0.96
f ₈ : Asma kat faktörü	1.00	0.95	0.90
f ₉ : Çarpışma olasılığı ile ilgili faktör	1.00	0.90	0.80
f ₁₀ : Katlardaki seviye farkı ve kısmi bodrum	1.00	0.90	0.80
f ₁₁ : Beton kalitesi faktörü	1.00	0.90	0.80
f ₁₂ : Yumuşak kat ve zayıf kat faktörü	f ₁₂ ≤ 1.00		
f ₁₃ : Zayıf kolon faktörü	0.60 ≤ f ₁₃ ≤ 1.00		
f ₁₄ : Enine donatı sıklığı faktörü	0.60 ≤ f ₁₄ ≤ 1.00		
f ₁₅ : Bina önem derecesi faktörü	1.50	1.40	1.20

G.2. Temel ve Zemin Düzeltme Faktörleri

Yapıların temel zemini ile ilişkileri; Deprem Bölgesi, Zemin Tipi, Zemin Oturması, Zemin Sıvılaşması, Heyelan, Zemin Büyütmesi, Topoğrafik Etkiler, Temel Tipi, Temel Derinliği ve Yer Altı Su Seviyesi Faktörleri açısından her binada ayrı ayrı uygulanmış ve elde edilen sonuçlar tablo haline getirilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. İncelenen 12 bina için temel ve zemin düzeltme faktörleri.

Temel ve Zemin Düzeltme Faktörleri												
No	Kod	Bina Kodu	f ₁₆	f ₁₇	f ₁₈	f ₁₉	f ₂₀	f ₂₁	f ₂₂	f ₂₃	f ₂₄	f ₂₅
1	1	AKY-2288-2-B	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98
2	4	AKY-2289-3-B	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	0.94	0.96	0.98
3	5	AKY-2295-2-Y	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	0.94	0.96	0.98
4	15	AKY-2298-2-B	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	1.00	0.98	0.98
5	16	AKY-2274-2-B	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	1.00	0.98	0.98
6	17	AKY-2276-3-B	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	0.94	0.96	0.98
7	26	AKY-981-2-B	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	1.00	0.98	0.98
8	29	AKY-994-4-B	0.40	0.92	0.96	0.96	1.00	0.90	1.00	0.94	0.96	0.98
9	38	AKY-2604-3-B	0.40	0.92	0.96	0.96	1.00	0.90	1.00	1.00	0.98	0.98
10	62	AKY-1979-3-B	0.40	0.92	0.96	0.96	1.00	0.90	1.00	1.00	0.98	0.98
11	88	AKY-2637-4-B	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	0.94	0.96	0.98
12	94	AKY-2648-4-B	0.40	0.92	0.96	0.98	1.00	0.90	1.00	1.00	0.98	0.98

Tablo 9'da yer alan kısaltmalar ve referans değerleri aşağıda verilmiştir.

Temel ve Zemin Düzeltme Faktörleri	Referans Değerler			
f ₁₆ : Deprem bölgesi faktörü	0.40	0.30	0.20	0.10
f ₁₇ : Zemin tipi faktörü	1.00	0.96	0.92	
f ₁₈ : Zemin oturması faktörü	1.00	0.98	0.96	
f ₁₉ : Zemin sıvılaşması faktörü	1.00	0.98	0.96	
f ₂₀ : Heyelan Faktörü	1.00	0.98	0.96	

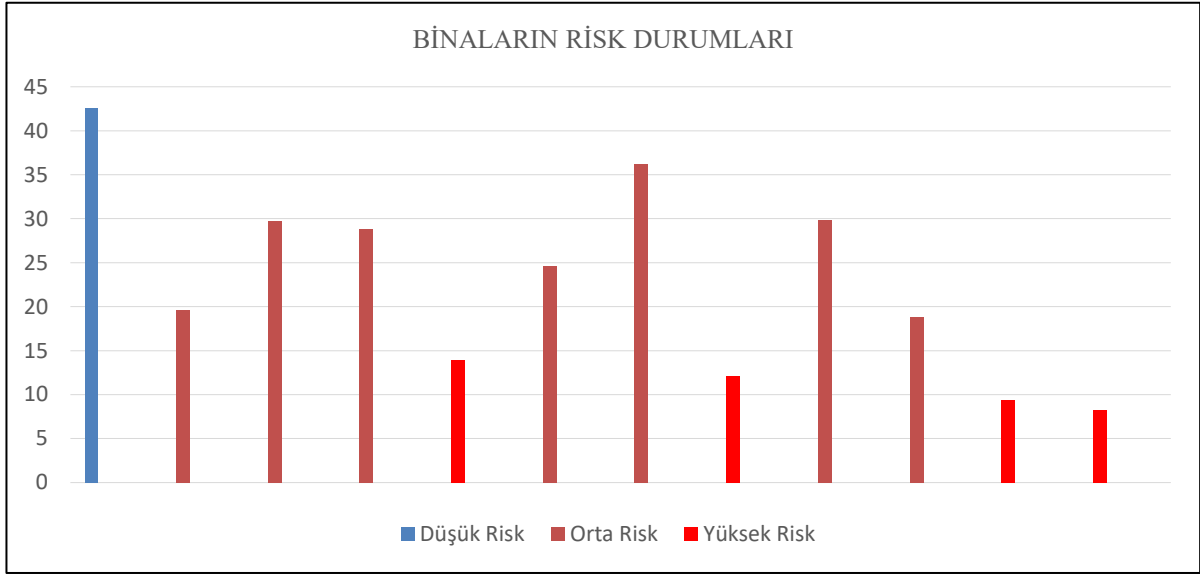
f ₂₁ : Zemin Büyütme Faktörü	1.00	0.90	0.75	
f ₂₂ : Topoğrafik Etkiler Faktörü	1.00	0.90	0.80	
f ₂₃ : Temel Tipi Faktörü	1.00	0.98	0.96	0.94
f ₂₄ : Temel Derinliği Faktörü	1.00	0.98	0.96	
f ₂₅ : Yer Altı Su Seviyesi Faktörü	1.00	0.99	0.98	

H. BİNALARIN DEPREM RİSK PUANLARININ (P) HESAPLANMASI

Akyazı ilçe merkezindeki eski yerleşim alanında bulunan ve bütün verilerine ulaşılabilen 12 adet binanın Deprem Risk durumlarının belirlenebilmesi amacı ile Çok Faktörlü P-25 Metodu uygulanmıştır. 25 adet düzeltme faktörünün uygulandığı işlem basamaklarından sonra her bina için " $P = K \prod_{i=1}^{25} f_i$ " formülü ile Deprem Risk Puanları hesaplanmıştır. Bu puanlara göre binalar "Düşük Riskli", "Orta Riskli" ve "Yüksek Riskli" olmak üzere üç gruba ayrılmış ve sonuçlar tablo 10'da gösterilmiştir. Şekil 4'de ise binaların yüksek risk, orta risk ve düşük risk puanlarını gösteren grafik verilmektedir.

Tablo 10. Binaların deprem risk puanları ve risk durumları.

Binaların Performans Puanları ve Risk Durumları						
No	Kod No	Bina Kodu	Performans Puanı	Deprem Risk Durumu		
				P _≥ 40 ise Düşük Riskli	40>P>15 ise Orta Riskli	15 _≥ P ise Yüksek Riskli
1	1	AKY-2288-2-B	42.568	Düşük Risk		
2	4	AKY-2289-3-B	19.595		Orta Riskli	
3	5	AKY-2295-2-Y	29.709		Orta Riskli	
4	15	AKY-2298-2-B	28.770		Orta Riskli	
5	16	AKY-2274-2-B	13.952			Yüksek Riskli
6	17	AKY-2276-3-B	24.562		Orta Riskli	
7	26	AKY-981-2-B	36.218		Orta Riskli	
8	29	AKY-994-4-B	12.124			Yüksek Riskli
9	38	AKY-2604-3-B	29.847		Orta Riskli	
10	62	AKY-1979-3-B	18.856		Orta Riskli	
11	88	AKY-2637-4-B	9.380			Yüksek Riskli
12	94	AKY-2637-4-B	8.251			Yüksek Riskli



Şekil 4. Binaların risk durumlarının grafiksel gösterimi.

İncelenen 12 binanın deprem risk durumları incelendiğinde; AKY-2288-2-B kodlu binanın “Düşük Riskli” grupta, AKY-2289-3-B, AKY-2295-2-Y, AKY-2298-2-B, AKY-2276-3-B, AKY-981-2-B, AKY-2604-3-B ve AKY-1979-3-B kodlu binaların “Orta Riskli” grupta, AKY-2274-2-B, AKY-994-4-B, AKY-2637-4-B ve AKY-2637-4-B kodlu binaların ise “Yüksek Riskli” grupta olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, 12 binadan 1 binanın “Düşük Riskli”, 7 binanın “Riskli” ve 4 binanın da “Çok Riskli” grupta yer aldığı belirlenmiştir.

V. SONUÇ

Sakarya İli, Akyazı ilçe merkezinde 1967-1999 depremleri arasında yapılan 12 eski binanın mimari ve statik projelerine ulaşılmış ve bu binaların deprem risk durumları çok faktörlü bir model ile belirlenmiştir. Bu amaçla, ilk olarak yerinde inceleme ve gözlem yapılarak öncelik sırasına göre riskli olduğu düşünülen binalar tespit edilmiştir. İkinci aşamada, bu yapılar çok faktörlü P-25 metodu ile değerlendirilmiş ve yapıların ilk deprem risk puanları oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada ise riskli olduğu belirlenen yapıların mimari ve statik projeleri de incelenerek puanlandırılmış ve toplam risk puanları elde edilmiştir. Buna göre binaların yaklaşık %8’inin düşük riskli, % 58’nin orta riskli ve %34’ünün de yüksek riskli olduğu, orta ve yüksek riskli binaların ise toplamda % 92 oranında olduğu tespit edilmiştir.

Söz konusu alanda deprem riski bakımından çok faktörlü P-25 metodu ile incelenen 12 binadan 1 tanesinin “Düşük Riskli” olduğu, 7 tanesinin “Orta Riskli” ve 4 tanesinin de “Yüksek Riskli” bina grubunda yer aldığı tespit edilmiştir. Akyazı ilçe merkezindeki eski yerleşim yerinde bulunan ve halen kullanılan binaların neredeyse tamamının 1967 ile 1999 yılları arasında yaklaşık 20-50 yıl önce yapıldığı dikkate alındığında mevcut binaların çok büyük bölümünün deprem açısından riskli binalar olduğu ve olası bir depremde can ve mal kayıpları açısından ağır bir tablonun oluşabileceği söylenebilir. Olası can ve mal kayıplarının en aza indirilebilmesi için Sakarya ilinde başta Akyazı ilçe merkezi olmak üzere mevcut yapıların incelenerek 4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkındaki Kanunun yürürlüğe girmesinden önce yapılan binaların tespit edilmesi, gerek mevcut kentsel dönüşüm yöntemleri gerekse yeni geliştirilecek yöntemler doğrultusunda kentsel dönüşüm programlarının yapılması ve yapılan bu programların acilen uygulanması gerektiği değerlendirilmektedir. Ülkemizde kentsel dönüşüm uygulamalarının yasal dayanağı olan 5393 sayılı Belediye Kanunu’nun 73. maddesi ve 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanunun daha net ve kesin sonuç verecek şekilde özellikle kentsel dönüşüm sürecini kesintiye uğratan ve çoğu zaman kentsel dönüşüm programlarını ekonomik zarar haline getiren hukuki süreçlerin en aza indirilmesi ve başlayan hukuki süreçlerin ise ivedilikle tamamlanacak şekilde güncellenmesi doğru olacaktır.

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, özellikle kent merkezlerinde mevcut yapıların olduğu alanlarda sürekli artan yapı ihtiyacının parsel bazında değil, ada veya adalar bazında yeni imar uygulamaları ile planlanması ve kent merkezlerinin afet risklerine hazır hale getirilmesi sağlanabilecektir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. H. Aydın ve Ö. Çamur , "Kentsel dönüşüm uygulamalarında başarılı dünya örnekleri: Danbara, Solidere, Rio de Janeiro", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, c. 6, sayı. 1, ss. 53-68, 2016.
- [2] R. Temur, "Hızlı Durum Tespit (DURTES) yöntemi ve bilgisayar programının geliştirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [3] K. Unat, "1943 Adapazarı-Hendek Depremi ve Yankıları", Ankara Üniversitesi Türk İnkılap Tarihi Enstitüsü Atatürk Yolu Dergisi, c. 16, sayı. 63, ss. 365-385, 2018.
- [4] Ö. F. Nematlı, B. Balun ve A. Sarı, "Mevcut yapıların depreme hazırlık değerlendirilmesi: Bingöl ili örneği", Türk Deprem Araştırma Dergisi, c. 3, s. 1, ss. 92-109, 2021.
- [5] B. Özmen, "Türkiye deprem bölgeleri haritalarının tarihsel gelişimi", Türkiye Jeoloji Bülteni, c. 55, s. 1, ss. 43-55, 2012.
- [6] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, Ankara., 2018. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>.
- [7] 5393 sayılı Belediye Kanunu, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 25874, 3/7/2005.
- [8] 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun, T.C. Resmi Gazete, Sayı: 28309, 16/5/2012.
- [9] S. Tüysüz, "Betonarme binaların göçme riskinin hızlı değerlendirme yöntemleri ile belirlenmesi P25 puanlama yöntemi, Yüksek Lisans Tezi", İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [10] Ö. A. Erşahan, M. M. Köse, ve S. Avgın, "P25 metodu ile Kahramanmaraş yapı stokunun incelenmesi", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, c. 23, s. 1, ss. 9-21, 2020.
- [11] Akyazı Belediyesi. (2022, 02 Şubat). Kent Bilgi Sistemi. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://kentrehberi.akyazi.bel.tr/>
- [12] Adres Kayıt Sistemi. (2022, 02 Şubat). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://adres.nvi.gov.tr/>
- [13] Adatok Mühendislik, "Akyazı ilçe merkezi mikrobölgeleme etüt raporu", Türkiye, Rap. 2015.
- [14] Boğaziçi Üniversitesi. (2022, 02 Şubat). Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>
- [15] TBMM, "Araştırma komisyon raporu", Türkiye, Rap. Tem, 2010.
- [16] Akyazı Kaymakamlığı, Afet acil yardım planı raporu, 2002.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yakın İlişkili Orkide Cinsleri *Anacamptis*, *Neotinea* ve *Orchis*'in Karşılaştırmalı Damar Morfometrisi

 Şenay SÜNGÜ ŞEKER^{a,*}

^a *Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: senay.sungu@omu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1059512

ÖZ

Bu çalışmada farklı bir yaklaşımla yeni orkide sınıflandırmalarını test etmek, yaprak damar deseninin bu sınıflandırmaları ne derecede temsil ettiğini araştırmak ve diagnostik olan damarlanma özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sistematik kategorisi değişen türler ile birlikte *Orchis* üyelerinden simpatrik yayılış gösteren 8 tür araştırmaya konu edilmiştir. Bitki örnekleri Karadeniz Bölgesi'ndeki çeşitli lokalitelerden toplanmıştır. Olgun yapraklara saydamlaştırma ve boyama işlemi uygulanarak stereo mikroskopta fotoğraflanmış, damar ve areol yapılarına ait 15 morfometrik özellik analiz edilmiştir. Yaprak damar özellikleri açısından türler arasındaki farklılığın anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla oneway ANOVA uygulanmış ve analiz sonucunda gruplandırmada etkili olanlar ayırım analizi ile belirlenmiştir. Analiz sonucunda yeni sınıflandırmayı destekleyen veriler elde edilmiştir. *Neotinea* üyelerini diğer taksonlardan ayıran özellikler arasında areollerin çevresi, daireselliği, en/boy oranı gibi areol özellikleri ön plana çıkarken *Anacamptis* üyeleri birim alandaki damar yoğunluğu, damar uzunluğu gibi özellikler açısından farklılaşmaktadır. Bu sonuçlar damarlanmanın topolojik ve morfometrik karakterlerinin orkidelerin sistematik ve filogenetik ilişkilerini yansıtabileceğini ve özellikle problemli gruplarda sınıflandırmaya ilişkin problemlerin çözümünde etkili olabileceğini işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Anacamptis*, Görüntü işleme, *Neotinea*, *Orchis*, Filogenetik sinyal, Yaprak damarlanma

Comparative Vein Morphometry of Closely Related Orchid Genera *Anacamptis*, *Neotinea* and *Orchis*

ABSTRACT

This research aimed to test new orchid classifications, investigate to what extent the leaf vein pattern represents this classification, and determine the diagnostic features. Along with the species whose systematic category changed, 8 taxa with sympatric distribution were the subject of the study. Samples were collected from various localities in the Black Sea Region. The vein structures were analysed by applying clearing and staining processes to leaves and photographed under a stereomicroscope, and 15 morphometric features were analysed. Oneway ANOVA was applied to test whether the difference between species in terms of leaf vein characteristics is significant, and the characteristics showing significant differences were used in discriminant analysis. It provided data supporting the new classification. Among the features that distinguish *Neotinea* members from other taxa, areole features such as perimeter, circularity, and aspect ratio of the areoles come to the fore, while *Anacamptis* members differ in terms of vein features such as vascular density and vascular length per unit area. These results indicate that the topological and morphometric characteristics of venation may reflect the systematic and phylogenetic relationships of orchids and may be effective in solving problems related to classification, especially in problematic groups.

Keywords: *Image processing*, *Leaf venation*, *Neotinea*, *Orchis*, *Phylogenetic signal*

I. INTRODUCTION

The Orchidaceae family constitutes one of the largest Angiosperm groups in terms of biodiversity spreading over a wide geographical area [1], [2]. However, high biodiversity and variation in generative structures and hybridization abilities bring identification and classification problems to orchids. The genus *Orchis*, classified in the Orchidaceae family, is a large group distributed in Europe, North Africa, the Middle East and Central Asia [3]. *Orchis* genus, which includes more than 60 taxa according to the classical classification based on floral morphology, has been revised in recent years with different approaches such as molecular phylogenetic, karyology or reproductive biology. [4]-[6]. Phylogenetic studies, especially using marker genes, have shown that the genus is polyphyletic and some species form monophyletic groups with closely related genera (*Anacamptis*, *Neotinea*). For this reason, some taxa have been included in these genera that were previously classified as monotypic. [4], [7]-[9]. There are also different views on the classification of *Orchis* members. For example, Tyteca and Klein [5] rejected the new phylogenetic classification and divided the genus into 4 sections (*Odondorchis*, *Herorchis*, *Androrchis* and *Orchis*). The group, including the same researcher, later accepted the new phylogenetic classification and added *Odondorchis* to the *Neotinea* genus; they accepted that *Herorchis* should be included in *Anacamptis*, but insisted on the distinction between *Orchis* and *Androrchis* [10]. In addition, other studies using additional molecular markers and clustering algorithms have also revealed data supporting this distinction [11].

Monocot plants have main veins arranged parallel to the midrib and show a pattern of transverse secondary veins that anastomoses to form short interconnections between the main veins at the distal and basal ends of the leaf blade [12]. Veining pattern is affected by phylogenetic or genetic structure together with the ecological conditions in which the plant is found. In addition, the vascularization pattern is associated with many physiological processes such as resistance to injury, lignin-induced mechanical support, photosynthesis and transpiration led by carbohydrate and water carrying capacity. [13]-[23]. Therefore, in recent years, hypotheses have emerged that leaf veining features may offer useful characters for species identification. In order to test these hypotheses, morphometric and topological analyses of the veining pattern are performed on leaf photographs, especially in dicot groups, with the help of various programs. However, there is a need for such studies in monocot plants, especially in systematically problematic groups such as orchids. The aim of this study was to test new classifications using a varied approach, to determine the degree to which leaf vein pattern represents this classification, and to determine the diagnostic features of leaf veining.

II. MATERIALS AND METHODS

Plant samples were collected from various localities in the Black Sea Region and were stocked in 70% ethanol for long-term preservation. (Table 1). A total of 8 species (*Anacamptis coriophora*, *A. laxiflora*, *A. papilionacea*, *Neotinea tridentata*, *Orchis pallens*, *O. provincialis*, *O. purpurea*, *O. simia*) whose systematic category changes and sympatric distribution with *Orchis* members were examined and thus ecological factors were eliminated. The vein structures were analysed by applying clearing and staining processes to mature leaves in two different locality samples for each species.

The clearing method was applied with reference to Vasco et al., [24]. Accordingly, leaf samples were incubated in 5% NaOH solution at 40-54 °C for 12-24 hours depending on leaf size and thickness. The samples were washed with distilled water and treated with 4.5-5.5% sodium hypochlorite for 20 seconds to 10 minutes. After the leaf samples were passed through graded ethanol series (50%, 70%, 95%) for 30 minutes, the veins were stained with 1% safranin solution for 3 hours by applying standard protocol.

Table 1. List of studied species, localities, voucher specimens, and leaf size.

Taxon	Grup	Specimen number	Locality Altitude	Habitat	Leaf width (cm)	Leaf length (cm)
<i>Anacamptis coriophora</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase	<i>Anacamptis</i>	AnaCorBss75	Bolu, Abant, Ömerler, 1171m.	Edges of coniferous forests, meadows	1,5	8,0
<i>Anacamptis coriophora</i>	<i>Anacamptis</i>	AnaCorSss13	Samsun, Bafra, 300m.	Meadows	1,7	9,0
<i>Anacamptis laxiflora</i> (Lam.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase	<i>Anacamptis</i>	AnaLaxBss74	Bolu, Abant, Ömerler, 1171m.	Edges of coniferous forests, meadows	2,0	20,0
<i>Anacamptis laxiflora</i>	<i>Anacamptis</i>	AnaLaxS ss61	Samsun, Çakırlar, 9m.	Wet meadows	1,6	17,0
<i>Anacamptis papilionacea</i> (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase	<i>Anacamptis</i>	AnaPapSss65	Samsun, Kurupelit, 147m.	<i>Quercus</i> forests edges, meadows	1,5	9,0
<i>Anacamptis papilionacea</i>	<i>Anacamptis</i>	AnaPapSss19	Samsun, Avdan, 600m.	Meadows	1,1	10,6
<i>Neotinea tridentata</i> (Scop.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase	<i>Neotinea</i>	NeoTriSss56	Samsun, Kurupelit, 218m.	<i>Quercus</i> forests edges, meadows	2,0	9,0
<i>Neotinea tridentata</i>	<i>Neotinea</i>	NeoTriOss25	Ordu, Fatsa, 140m.	<i>Corylus</i> plantations, meadows Coniferous	1,8	8,0
<i>Orchis pallens</i> L.	<i>Androrchis</i>	OrcPalBss17	Bolu, Abant Gölü, 1345m.	and deciduous forests	3,8	11,4
<i>Orchis pallens</i>	<i>Androrchis</i>	OrcPalTmka22	Trabzon, Köprübaşı, 2300m.	Meadows	4,0	10,8
<i>Orchis provincialis</i> Balb. ex Lam. & DC.	<i>Androrchis</i>	OrcProSss57	Samsun, Kurupelit, 166m.	<i>Quercus</i> forests edges, meadows	1,5	8,0
<i>Orchis purpurea</i> Huds.	<i>Orchis</i>	OrcPurSss60	Samsun, Kurupelit, 216m.	<i>Quercus</i> forests	4,0	18,0
<i>Orchis purpurea</i>	<i>Orchis</i>	OrcPurBss22	Bolu, Abant yolu, 986m.	<i>Quercus</i> forests	7,6	22,8
<i>Orchis simia</i> Lam.	<i>Orchis</i>	OrcSimSss27	Samsun Kavak, 330m.	Forests edges, meadows	2,8	6,7
<i>Orchis simia</i>	<i>Orchis</i>	OrcSimSss23	Samsun, Ondokuz Mayıs, 880m.	Meadows	3,1	7,0

Five different regions on the leaves were photographed using a Leica S8APO stereo microscope with a Leica DFC295 digital camera attachment. After a series of cropping and cleaning process, the photos were converted from RGB form to grayscale. By using automatic or locally adaptive thresholding approaches, binary images were obtained with segmentation defining vessel regions as white and

areoles as black. Metric calculations were performed on these binary images, and 15 morphometric features of vessel and areole structures (vascular density, vascular length density, vessel diameter, vessel length, areole area, areole perimeter, width of areole bounding rectangle, height of areole bounding rectangle, major axis of fitted ellipse to areole, minor axis of fitted ellipse to areole, circularity, areole ferret, areole minferet, AR (aspect ratio) were calculated with the help of ImageJ/Fiji program (Figure 1) [25]

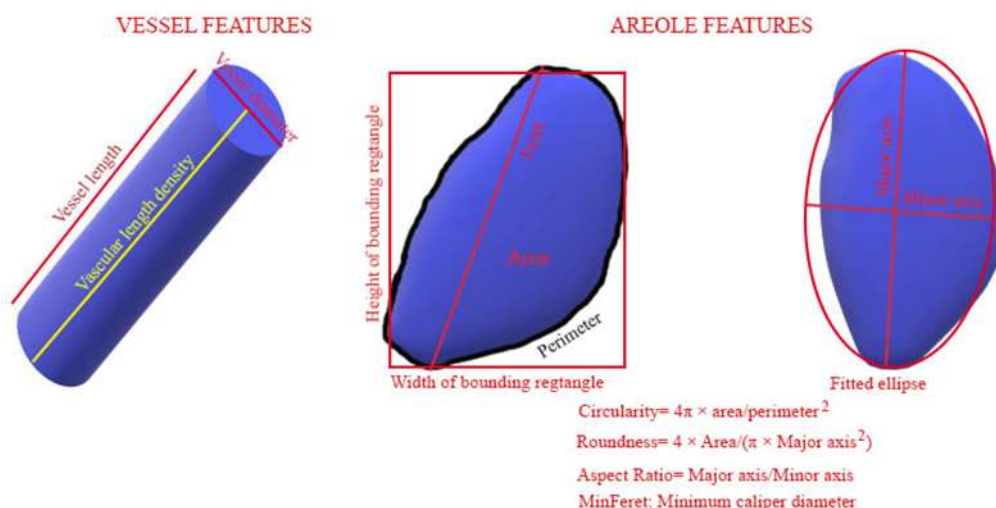


Figure 1. Definition of quantitative vessel and areole features.

ANOVA was applied to test whether the difference between species in terms of leaf vein characteristics is significant, and by using the characteristics that showed significant difference as a result of the analysis, Linear discriminant analysis were performed. In addition, the correlation between leaf sizes, the elevations of the taxa, and the morphometric vein features were evaluated with the Pearson correlation test. All statistical analyses were performed with the help of SPSS software (IBM Corp. Released 2013. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.).

III. RESULTS

Leaf vein characteristics of some taxa belonging to the closely related genera *Anacamptis*, *Neotinea* and *Orchis* were investigated. It was seen that secondary vein density increases towards the leaf tip in all leaves. While free-ended veins, which are frequently seen in dicots, were mostly not observed in orchids. The shape of secondary vessels and areoles in *O. purpurea* and *O. simia* were also more irregular than in other species (Figure 2).

As a result of ANOVA, it was seen that leaf vein and areole metric properties differ significantly among the orchid species that are the subject of the study. All the quantitative character mean values were significantly different in at least one taxon (Table 2). Box plots of 15 veins and areole characters are shown in Figure 3. Accordingly, values such as vascular density, vascular length density, and vessel diameter were higher in *Anacamptis* members. In *Neotinea tridentata*, vessel length, areole perimeter and area, height of areole bounding rectangle, major axis of fitted ellipse to areole, and areole minFerret were measured at the highest value. On the other hand, while major axis of fitted ellipse to areole, ferret and aspect ratio were the lowest in the areoles of *Orchis* taxa; the circularity and roundness of the areoles were of high value. According to these results, all metric features measured were included in linear discriminant analysis.

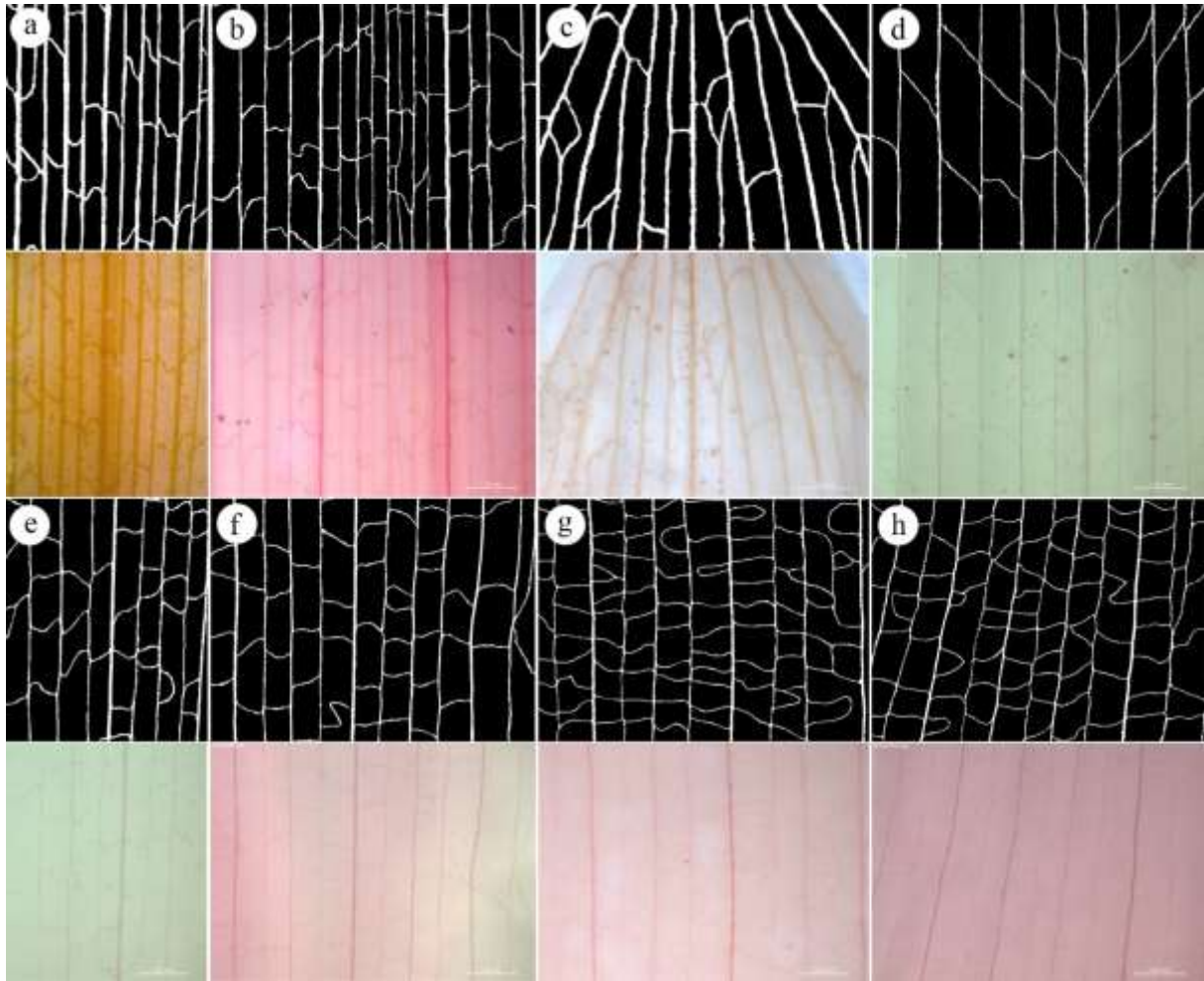


Figure 2. Binary and RGB images showing the vein and areole pattern. a: *Anacamptis coriophora*, b: *A. laxiflora*, c: *A. papilionacea*, d: *Neotinea tridentata*, e: *Orchis pallens*, f: *O. provincialis*, g: *O. purpurea*, h: *O. simia*.

Table 2. Oneway ANOVA outputs of vascular features.

Vascular features	F (7, 232)	Sig.
Vascular density	151,523	,000
Vascular length density	59,464	,000
Vessel diameter	21,771	,000
Vessel length	13,221	,000
Areole area	34,622	,000
Areole perimeter	42,786	,000
Width of areole bounding rectangle	169,586	,000
Height of areole bounding rectangle	83,953	,000
Major axis of fitted ellipse to areole	54,174	,000
Minor axis of fitted ellipse to areole	24,347	,000
Circularity	89,039	,000
Areole feret	53,479	,000
Areole minFeret	23,285	,000
AR (Aspect ratio)	45,791	,000
Roundness	92,959	,000

The distribution of taxa on the first two discriminant components calculated as a result of canonical discriminant analysis is given in Figure 4. As a result of the analysis, it was seen that primary and secondary components explain 93.9% variation, cumulatively at the rate of 67.5% and 26.4%, respectively (Table 3). Although there were partial overlaps between the groups on the graph, the success rate of identifying groups of leaf vein and areole features was 90% (Table 4). According to Table 5, while the characters with the highest load on the canonical discriminant function, which explain the variation at a higher rate, were circularity, roundness, major axis of fitted ellipse to areole, aspect ratio, areole ferret, areole perimeter, while the most loaded features to the second discriminant function were the vessel characters such as vascular density, vascular length density, vessel length, as well as areole features such as areole area, height of areole bounding rectangle and minor axis of fitted ellipse to areole.

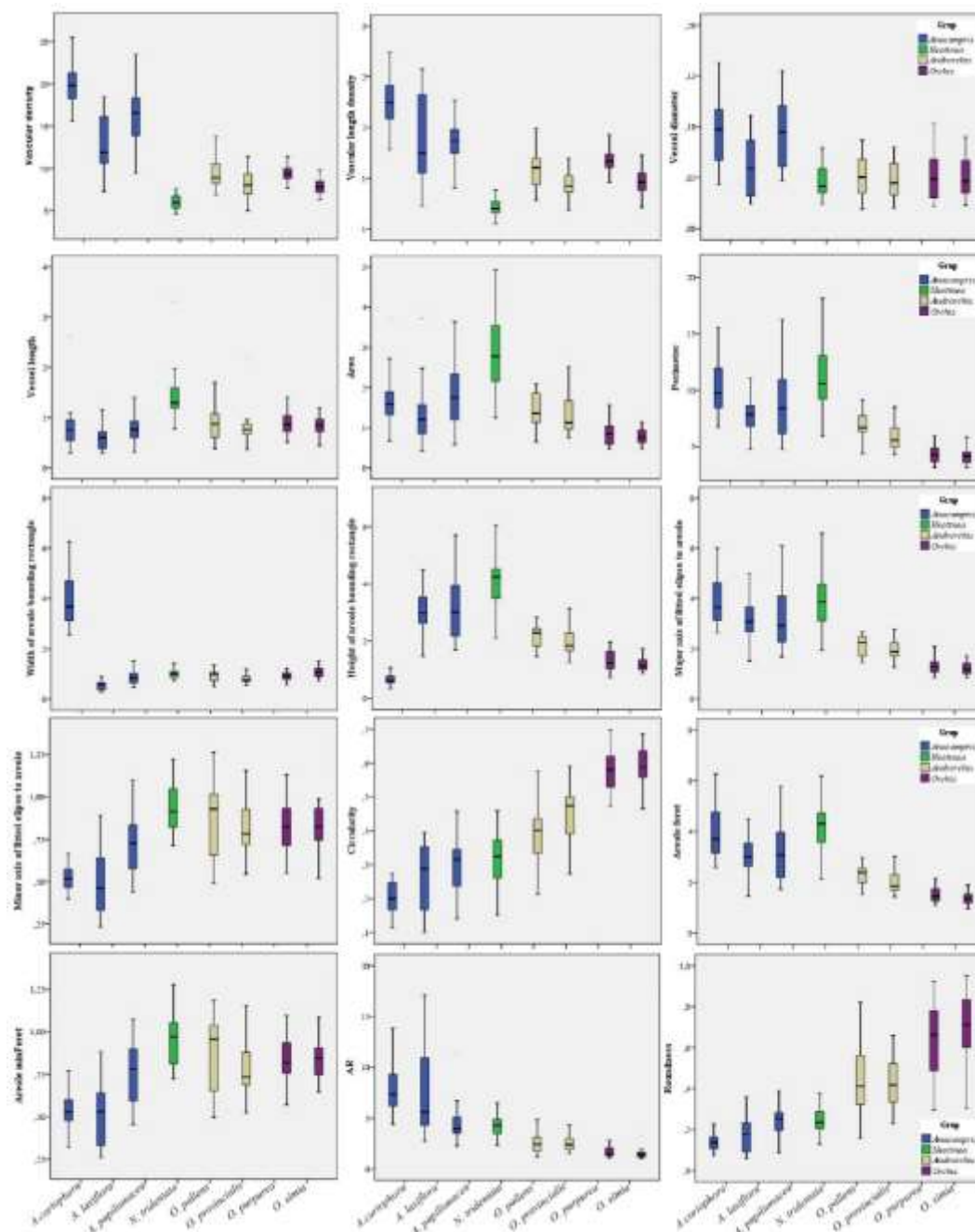


Figure 3. Boxplots for each quantitative vessel and areole feature among species. The rectangles span from the first quartile to the third quartile of the distribution. The full horizontal lines in rectangles represent median and whiskers show the lower and the upper 25% of the distribution.

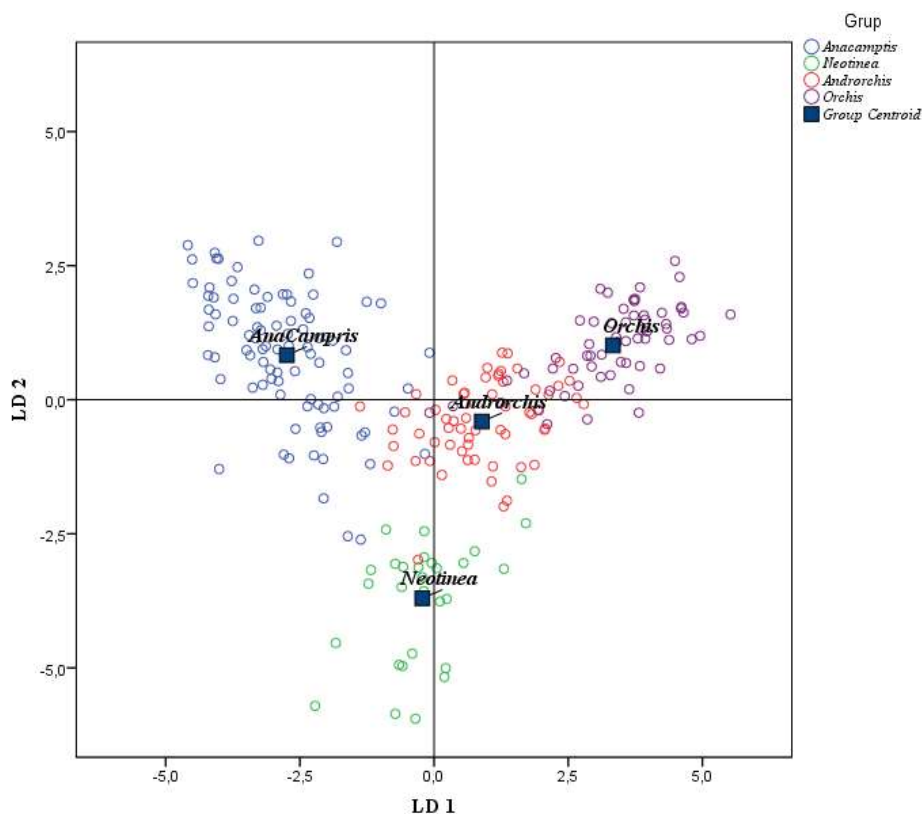


Figure 4. Linear discriminant analysis (LDA) plots show individuals' distribution for the first two discriminant functions (LD1 and LD2).

Table 3. Summary of linear discriminant analysis.

Function	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %	Canonical Correlation
1	5,902 ^a	67,5	67,5	,925
2	2,309 ^a	26,4	93,9	,835
3	,534 ^a	6,1	100,0	,590

a. First three canonical discriminant functions were used in the analysis.

Table 4. Predicted memberships of each individual to the groups.

Grup		Predicted Group Membership				
		<i>Anacamptis</i>	<i>Neotinea</i>	<i>Androrchis</i>	<i>Orchis</i>	
Original	Count	<i>Anacamptis</i>	80	3	7	0
		<i>Neotinea</i>	0	28	2	0
		<i>Androrchis</i>	1	1	56	2
		<i>Orchis</i>	0	0	8	52
	%	<i>Anacamptis</i>	88,9	3,3	7,8	0,0
		<i>Neotinea</i>	0,0	93,3	6,7	0,0
		<i>Androrchis</i>	1,7	1,7	93,3	3,3
		<i>Orchis</i>	0,0	0,0	13,3	86,7

a. **90.0%** of original grouped cases correctly classified.

Table 5. Coefficients (correlation) between each quantitative vascular feature and three linear discriminant functions.

	Function		
	1	2	3
Roundness	,637*	,244	,038
Circularity	,608*	,175	-,013
Major axis of fitted ellipse to areole	-,434*	-,325	,338
Aspect ratio	-,400*	,044	,253
Areole feret	-,398*	-,384	,361
Areole perimeter	-,361*	-,349	,251
Vessel diameter	-,227*	,200	,153
Vascular density	-,478	,564*	,191
Areole area	-,201	-,532*	,239
Vascular length density	-,288	,515*	,101
Height of areole bounding rectangle	-,164	-,486*	,134
Vessel length	,048	-,373*	,214
Minor axis of fitted ellipse to areole	,229	-,306*	-,130
Areole minferet	,212	-,293*	-,004
Width of areole bounding rectangle	-,141	,104	,183*

Pooled within-groups correlations between discriminating variables and standardized canonical discriminant functions
Variables ordered by absolute size of correlation within function.

*. Largest absolute correlation between each variable and any discriminant function

Pearson correlation was performed to test the relationship between the morphometric features of the vascularization and the leaf size of the species and the elevations at which they spread. As a result of the analysis, no correlation was found between the areole and vein features and size or elevation. In addition, there was no similarity between different groups growing in the same area in terms of any quantitative feature (Table 6).

Table 6. Correlation matrix for leaf vascular descriptive features and elevation preferences of the species.

	Vascular density	Vascular length density	Vessel diameter	Vessel length	Area	Perimeter	Width	Height	Major	Minor	Circularity	Feret	MinFeret	AR	Round	Leaf width	Leaf length	Elevation
Vascular density	1	,958**	,965**	-,511	,009	,456	,683	-,303	,515	-,812*	-,667	,448	-,757*	,728*	-,602	-,363	,018	,074
Vascular length density	,958**	1	,856**	-,645	-,204	,274	,658	-,452	,354	-,868**	-,549	,280	-,826*	,685	-,475	-,163	,214	,203
Vessel diameter	,965**	,856**	1	-,342	,174	,551	,657	-,179	,580	-,668	-,676	,529	-,595	,666	-,613	-,440	-,141	-,006
Vessel length	-,511	-,645	-,342	1	,759*	,398	-,062	,505	,290	,693	,001	,391	,735*	-,222	-,022	,030	-,322	-,173
Area	,009	-,204	,174	,759*	1	,874**	,134	,709*	,808*	,188	-,618	,859**	,238	,370	-,646	-,486	-,346	-,257
Perimeter	,456	,274	,551	,398	,874**	1	,450	,487	,988**	-,292	-,907**	,996**	-,236	,751*	-,904**	-,635	-,262	-,171
Width	,683	,658	,657	-,062	,134	,450	1	-,554	,471	-,491	-,462	,463	-,445	,525	-,382	-,219	-,307	,077
Height	-,303	-,452	-,179	,505	,709*	,487	-,554	1	,451	,261	-,353	,475	,273	,153	-,428	-,363	,021	-,269
Major	,515	,354	,580	,290	,808*	,988**	,471	,451	1	-,422	-,942**	,994**	-,369	,839**	-,942**	-,665	-,191	-,205
Minor	-,812*	-,868**	-,668	,693	,188	-,292	-,491	,261	-,422	1	,611	-,329	,990**	-,834*	,580	,384	-,269	,038
Circularity	-,667	-,549	-,676	,001	-,618	-,907**	-,462	-,353	-,942**	,611	1	-,907**	,579	-,923**	,989**	,666	,082	,024
Feret	,448	,280	,529	,391	,859**	,996**	,463	,475	,994**	-,329	-,907**	1	-,272	,781*	-,906**	-,626	-,222	-,200
MinFeret	-,757*	-,826*	-,595	,735*	,238	-,236	-,445	,273	-,369	,990**	,579	-,272	1	-,803*	,559	,398	-,262	,025
AR	,728*	,685	,666	-,222	,370	,751*	,525	,153	,839**	-,834*	-,923**	,781*	-,803*	1	-,904**	-,594	,090	-,087
Round	-,602	-,475	-,613	-,022	-,646	-,904**	-,382	-,428	-,942**	,580	,989**	-,906**	,559	-,904**	1	,704	,064	,126
Leaf width	-,363	-,163	-,440	,030	-,486	-,635	-,219	-,363	-,665	,384	,666	-,626	,398	-,594	,704	1	,567	,442
Leaf length	,018	,214	-,141	-,322	-,346	-,262	-,307	,021	-,191	-,269	,082	-,222	-,262	,090	,064	,567	1	,117
Elevation	,074	,203	-,006	-,173	-,257	-,171	,077	-,269	-,205	,038	,024	-,200	,025	-,087	,126	,442	,117	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

IV. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, the leaf veining pattern of orchid taxa, some of which showed sympatric distribution in the same vegetation period and whose systematic category changed according to new classification approaches, was examined in detail. As a result of the research, it was clearly seen that the metric properties of vein and areole on the leaves may reflect phylogenetic relationships, especially in the related genera like *Orchis*, *Anacamptis* and *Neotinea*. In most phylogenetic studies based on nuclear or chloroplast DNA, *Orchis* members formed two separate clades on well supported in phylogenetic trees [3]-[4], [7]-[9], [11] Thus, genus *Orchis* has been accepted as two different section named as *Orchis* with anthropomorphic labellum and the *Androrchis* where the perianth parts do not form a hood. In addition, it was stated that the seed morphology showed variation between these sections [26]. Vascularization data also support division between sections. The most obvious difference between these two subgroups was due to the circularity, roundness and aspect ratio of the areoles. Although *O. provincialis* and *O. pallens* from the *Androrchis* section have quite different demands in terms of elevation and habitat, the same veining pattern reflects their phylogenetic relationships. The same situation was observed in *O. purpurea* and *O. simia*, members of the *Orchis* section.

On the other hand, *O. provincialis* spreads together with *A. papilionacea* and *N. tridentata* in the same flowering period. However, when the vascularization characteristics were examined, there was a clear distinction between these three taxa. The features that have a high load on the secondary component in the discriminant analysis and distinguish *N. tridentata* from other taxa were low vascular density and vascular length density, and high values such as vessel length, areole area, height of areole bounding rectangle and minor axis of fitted ellipse to areole. Among *Anacamptis* members, *A. coriophora* and *A. laxiflora* Bolu specimens distributed together at the wet or moist meadow grassland habitat. *A. papilionacea* grows in open areas of the forests or open meadows. In the discriminant analysis, the characters with higher loadings on the primary function and especially distinguish *Anacamptis* members from other taxa areole features such as circularity, roundness, and major axis of fitted ellipse areole ellipse, aspect ratio, feret and perimeter. In other words, *Anacamptis* members differ from other groups thanks to the longer and narrower areole structures which they share.

As a result, the secondary vascularization pattern of orchids seems to be influenced by the phylogenetic structure of taxa rather than ecological or ecophysiological processes. As a result of the analysis, data supporting the new classification were obtained.

This research has indicated that the topological and morphometric characteristics of vascularization may reflect the systematic and phylogenetic relationships of orchids and may be effective in solving problems related to classification, especially in problematic groups such as orchids with high hybridization ability. In addition, evaluating measurable morphological features and digitizing the morphological descriptions will prevent the subjective data based on the researcher's observation and the errors arising from the qualitative descriptions.

ACKNOWLEDGEMENTS: The author wish to thank Dr. Mustafa Kemal AKBULUT for providing some plant materials. The manuscript was also improved by comments from Prof. Gülcan ŞENEL.

V. REFERENCES

- [1] P. Delforge, *Orchids of Europe, North Africa and the Middle East*, London, England: A&C Black, 2006, pp. 623.

- [2] *The Plant List* (2018). [Online]. Available from <http://www.theplantlist.org/>.
- [3] R. L. Dressler, *Phylogeny and Classification of the Orchid Family*, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1993, pp. 314.
- [4] R. M. Bateman, P. M. Hollingsworth, J. Preston, L. Yi-Bo, A. M. Pridgeon, and M. W. Chase, "Molecular phylogenetics and evolution of Orchidinae and selected Habenariinae (Orchidaceae)," *Botanical journal of the Linnean Society*, vol. 142, pp. 1-40, 2003.
- [5] D. Tyteca and E. Klein, "Genes, morphology and biology-The systematics of Orchidinae revisited," *Journal of European Orchids*, vol. 40, no. 3, pp. 501-544, 2008.
- [6] G. Scopece, S. Cozzolino, and R. M. Bateman, "Just what is a genus? Comparing levels of postzygotic isolation to test alternative taxonomic hypotheses in Orchidaceae subtribe Orchidinae," *Taxon*, vol. 59, pp. 1754-1764, 2010.
- [7] S. Aceto, P. Caputo, S. Cozzolino, L. Gaudio, and A. Moretti, "Phylogeny and evolution of *Orchis* and allied genera based on ITS DNA variation: morphological gaps and molecular continuity," *Molecular Phylogenetics and Evolution*, vol. 13, no. 1, pp. 67-76, 1999.
- [8] R. Bateman, A. Pridgeon, and M. Chase, "Phylogenetics of subtribe Orchidinae (Orchidoideae, Orchidaceae) based on nuclear ITS sequences. 2. Infrageneric relationships and reclassification to achieve monophyly of *Orchis* sensu stricto," *Lindleyana*, vol. 12, pp. 113-141, 1997.
- [9] A. Pridgeon, R. Bateman, A. Cox, J. Hapeman, and M. Chase, "Phylogenetics of subtribe Orchidinae (Orchidoideae, Orchidaceae) based on nuclear ITS sequences: 1. Intergeneric relationships and polyphyly of *Orchis* sensu lato," *Lindleyana*, vol. 12, pp. 89-109, 1997.
- [10] D. Tyteca, M. Ceinos, J. L. Gathoye, R. Brys, and H. Jacquemyn, "On the morphological, biological and genetic heterogeneity of the genus *Orchis* (Orchidaceae, Orchidinae)," *Phytotaxa*, vol. 75, no. 1, pp. 19-32, 2012.
- [11] L. A. Inda, M. Pimentel, and M. W. Chase, "Phylogenetics of tribe Orchideae (Orchidaceae: Orchidoideae) based on combined DNA matrices: inferences regarding timing of diversification and evolution of pollination syndromes," *Annals of Botany*, vol. 110, no. 1, pp. 71-90, 2012.
- [12] P. A. Conklin, J. Strable, S. Li, and M. J. Scanlon, "On the mechanisms of development in monocot and eudicot leaves," *New Phytologist*, vol. 221, no. 2, pp. 706-724, 2019.
- [13] K. J. Niklas, "A mechanical perspective on foliage leaf form and function," *New Phytologist*, vol. 143, no. 1, pp. 19-31, 1999.
- [14] T. J. Givnish, J. C. Pires, S. W. Graham, M. A. McPherson, L. M. Prince, T. B. Patterson, ... and K. J. Sytsma, "Repeated evolution of net venation and fleshy fruits among monocots in shaded habitats confirms a priori predictions: evidence from an ndhF phylogeny," *Proc. of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 272, no. 1571, pp. 1481-1490, 2005.
- [15] T. J. Brodribb, T. S. Feild, and G. J. Jordan, "Leaf maximum photosynthetic rate and venation are linked by hydraulics," *Plant Physiology*, vol. 144, no. 4, pp. 1890-1898, 2007.
- [16] E. Katifori, G. J. Szöllösi, and M. O. Magnasco, "Damage and fluctuations induce loops in optimal transport networks," *Physical Review Letters*, vol. 104, no. 4, pp. 048704, 2010.

- [17] T. J. Brodribb, D. Bienaimé, and P. Marmottant, “Revealing catastrophic failure of leaf networks under stress,” *Proc. of the National Academy of Sciences*, vol. 113, no. 17, pp. 4865-4869, 2016.
- [18] B. Blonder, N. Salinas, L. P. Bentley, A. Shenkin, P. O. Chambi Porroa, Y. Valdez Tejeira, ... and Y. Malhi, “Structural and defensive roles of angiosperm leaf venation network reticulation across an Andes-Amazon elevation gradient,” *Journal of Ecology*, vol. 106, no. 4, pp. 1683-1699, 2018.
- [19] B. Blonder, C. Violle, L. P. Bentley, and B. J. Enquist, “Venation networks and the origin of the leaf economics spectrum,” *Ecology Letters*, vol. 14, no. 2, pp.91-100, 2011.
- [20] A. Ohtsuka, L. Sack, and H. Taneda, “Bundle sheath lignification mediates the linkage of leaf hydraulics and venation,” *Plant, Cell and Environment*, vol. 41, no. 2, pp. 342-353, 2018.
- [21] G. P. John, C. Scoffoni, T. N. Buckley, R. Villar, H. Poorter, and L. Sack, “The anatomical and compositional basis of leaf mass per area,” *Ecology Letters*, vol. 20, no. 4, pp. 412-425, 2017.
- [22] A. A. Agrawal and K. Konno, “Latex: a model for understanding mechanisms, ecology, and evolution of plant defense against herbivory,” *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 40, pp. 311-331, 2009.
- [23] J. F. Vincent, “The mechanical design of grass,” *Journal of Materials Science*, vol. 17, no.3, pp. 856-860, 1982.
- [24] A. Vasco, M. Thadeo, M. Conover, and D. C. Daly, “Preparation of samples for leaf architecture studies, a method for mounting cleared leaves,” *Applications in Plant Sciences*, vol. 2, no. 9, pp. 1400038, 2014.
- [25] J. Schindelin, I. Arganda-Carreras, E. Frise, V. Kaynig, M. Longair, T. Pietzsch, ... and A. Cardona, “Fiji: an open-source platform for biological-image analysis,” *Nature Methods*, vol. 9, no.7, pp. 676–682, 2012.
- [26] R. Gamarra, E. Ortúñez, P. G. Cela, and V. Guadaño, “*Anacamptis* versus *Orchis* (Orchidaceae): seed micromorphology and its taxonomic significance,” *Plant Systematics and Evolution*, vol. 298, no. 3, pp. 597-607, 2012.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Ahşap Yüzeylerde Boya/Vernikleri Temizlemek İçin Kullanılan Çevreci Yöntem ve Medyalar

İzham KILINÇ^{a,*}, Mehmet BUDAKÇI^b, Mustafa KORKMAZ^b

^a Tasarım Bölümü, İç Mekan Tasarımı Programı, TBMYO, Batman Üniversitesi, Batman, TÜRKİYE

^b Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: izham.kilinc@batman.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1038859

ÖZ

Doğal ve organik bir yapıya sahip olan ağaç malzeme her ne kadar dış etkilere karşı kendisini koruyacak birtakım özelliklere sahip olsa da harici etkilere karşı uzun süre dayanamaz. Bu nedenle ya emprenye edilmekte ya da yüzeyleri koruyucu katmanla (boya/vernik) kaplanmaktadır. Ağaç malzeme yüzeylerine uygulanan bu koruyucu katmanlar, zamanla koruyucu özelliğini yitirebilmekte, malzemenin dayanımını, kullanım ömrünü azaltmakta ve estetik olarak kötü görüntüye neden olabilmektedir. Bu yüzden, eskimiş koruyucu katmanların ahşap yüzeylerinden kaldırılarak gerekli bakımların yapılması ve yeniden koruyucu katman uygulanması gerekmektedir. Koruyucu katmanların ağaç malzeme yüzeyine ve çevreye zarar vermeden temizlenmesi oldukça zor ve zahmetli bir işlem olmakla birlikte, günümüzde kullanılan birçok yöntem ve temizleme gereci bulunmaktadır. Bu çalışmada, ağaç malzeme yüzeylerindeki koruyucu katmanların temizliğinde sıkça tercih edilen çevreye duyarlı yöntem ve temizleme medyaları ele alınmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, ahşap yüzey temizliği alanındaki araştırmalar ile elde edilen bilgi ve tecrübeleri topluma tek kaynak üzerinden aktarmak ve böylece araştırmacı ve uygulayıcıların literatüre ulaşmasını kolaylaştırmaktır.

Anahtar Kelimeler: Ağaç malzeme, Boya, Vernik, Yüzey temizleme yöntemleri, Kumlama medyaları

Environmental Methods and Media Used to Clean Paint/Varnish on Wooden Surfaces

ABSTRACT

Although the wood material, which has a natural and organic structure, has some properties that will protect itself against external factors, it loses these properties over time. For this reason, it must be impregnated and/or its surfaces must be covered with protective layers (paint/varnish). These protective layers can lose their protective properties over time, reducing the strength and service life of the material. In addition, this situation may cause wood material to look bad aesthetically. For this reason, it is necessary to remove the layers that have lost their protective function, to perform the necessary maintenance and to re-apply a protective layer. Although it is an exceedingly difficult and laborious process to clean the worn protective layers without damaging the wood surface and the environment, there are many methods and tools used today. In this study, environmentally friendly methods and blasting media that are frequently preferred for cleaning the protective layers on wooden material surfaces are discussed. The main purpose of this paper is to compile the knowledge and experience obtained from the studies in the field of wood surface cleaning and thus to facilitate the researchers and practitioners to reach the literature.

Keywords: Wood material, Paint, Varnish, Surface cleaning methods, Blasting media

I. GİRİŞ

Ağaç malzeme mühendislik ve yapı uygulamalarında sıklıkla kullanılan çok yönlü doğal bir malzemedir. Sahip olduğu benzersiz özellikleri nedeniyle uygulama alanlarında önemini korumakta ve hammadde olarak yaklaşık 10.000 farklı kullanıma sahiptir [1], [2]. Kullanım alanlarının çeşitliliği nedeniyle, ahşap ve ahşap esaslı ürünleri karşılaştığı etkilere karşı korunur hale getirmek bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, ağaç malzeme yüzeylerine boya ve vernik gibi koruyucu katmanların uygulanması sıkça tercih edilen yöntemlerdendir [3]. Ancak bu koruyucu katmanlar da kullanım yerlerinde maruz kaldıkları harici etkilere bağlı olarak zamanla bozulabilmekte ve koruyucu özelliklerini kaybedebilmektedir. İşlevini kaybeden koruyucu katmanların malzeme yüzeyinden temizlenmesi ve daha sonra yeniden koruyucu katman uygulanması malzemenin kullanım ömrünü uzatmak için olmazsa olmaz bir gerekliliktir.

Ağaç malzeme yüzeylerinden koruyucu özelliğini kaybetmiş katmanların temizlenmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Boya kazıyıcı aletler, tel ve zımparalar gibi mekanik temizleyiciler ile gerçekleştirilen geleneksel yöntemlerin yüksek iş gücü ve zaman gerektirmesi, alternatif yöntemlerin geliştirilmesinde önayak olmuştur. Daha sonra geliştirilen ve koruyucu katmanın kimyasal yapısını bozarak yüzeyden temizlenmesini hedefleyen kimyasal temizleme yöntemleri, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri olan kimyasal bileşenler ve toksik atıklar içermeleri nedeniyle araştırmacıları çevre ve insan dostu yöntemlerin arayışlarına itmiştir [4].

Günümüzde artan çevre bilinci ile çevreye zarar vermeyen boya temizleme yöntemleri gün geçtikçe daha fazla çalışmaya konu olmaktadır. Literatürde, çevreye duyarlı yüzey temizleme işlemleri olarak; basınçlı su, kuru buz parçacıkları, sodyum bikarbonat, plastik ve bitki esaslı aşındırıcı (medya) vb. basınçlı hava yardımı ile yüzeye püskürtülerek temizleme yapabilen basınçlı sistemler ve termal ayrıştırma ile yüzey temizleme uygulamaları ana çalışma konuları olarak göze çarpmaktadır [5]–[8]. Basınçlı sistemlerde, basınçlı hava sayesinde temizlenecek yüzeyin türüne ve sertliğine göre farklı tipteki medyalar, sulu ya da susuz olarak malzeme yüzeyine tatbik edilmektedir. Bu sistemler ile uygulama basıncı, medya tipi, nozul çapı, malzeme ile nozul arasındaki mesafe, temizleme açısı gibi parametreler değiştirilerek farklı yüzeyler için uygun bir temizleme yöntemi belirlenebilmektedir. Termal ayrıştırma yöntemlerinde ise boya alt tabakasına belirli koşullar altında iletilen enerji, boyaların iç moleküler bağları ile boya – katman arasındaki bağın kopmasına olanak sağlamakta ve bu sayede temizleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Uygulanmaları nispeten kolay olan bu yöntemler, geleneksel temizleme yöntemlerine göre; çevre ve insan dostu olmaları, zaman ve işçiliği daha verimli kullanılabilmeleri, koruyucu katmanları ahşap malzeme yüzeylerinden hassas, hızlı, etkili ve zarar vermeden temizlenmesini sağlamaları gibi nedenlerle oldukça fazla tercih edilmektedir. Bu çalışmada, ağaç malzeme yüzeylerindeki koruyucu katmanların temizliğinde kullanılan çevreye duyarlı yöntem ve medyalara ait bir derleme çalışması yapılması hedeflenmiştir.

II. BASINÇLI SİSTEMLER İLE YÜZEY TEMİZLEME

1990'lı yılların başlarında genel olarak uçak yapımında kullanılan kompozit malzeme yüzeylerinden boya temizlemek için kullanılan bu yöntem, uygulama ortamındaki çeşitli olumsuzlukları (kimyasal boya sökücülerin çevreye ve insan sağlığına vermiş oldukları zararlardan dolayı) gidermek ve daha verimli bir çalışma ortamı sunmak amacıyla kimyasal boya temizleme işlemlerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır [9], [10]. Basınçlı sistemler, basınçlı hava ile yüzeye su ve mikron boyutundaki medyaların kuru veya su ile karıştırılarak püskürtülmesi olarak tanımlanabilir. Başarılı bir yüzey temizleme işlemi gerçekleştirmek için bu yöntemlerde kullanılan medyaların çeşidi, püskürtmede kullanılan havanın basıncı ve tercih edilen nozul tipi yüzeyin aşındırılarak temizlenmesinde önemli rol oynamaktadır.

A. SU İLE YÜZEY TEMİZLEME

Su ile yüzey temizleme, farklı uygulama alanlarında temizleme işlemini gerçekleştirmek için geliştirilmiş bir yöntemidir. Bu sistemde kullanılan su tek başına basınçlı havanın yardımı ile ya da hava yardımı olmadan (havasız) yüzeye püskürtülerek (Şekil 1) temizleme işlemi gerçekleştirilir. Geleneksel (boya kazıyıcılar, tel ve zımparalar, kimyasal boya sökücüler vb.) yüzey temizleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, suyun tek başına kullanılması ve ortamda toza neden olabilecek medyalar kullanılmaması sebebiyle uygulama anında ve sonrasında herhangi bir toksik etki bırakmaz, toz oluşturmaz ve işlemi gerçekleştiren uygulayıcıların sağlığı açısından da bir risk teşkil etmez [11]. Yakın zamana kadar bu yöntem, işlem hızının düşük olması ve kullanılan yüksek basınçlardan dolayı çok fazla uygulama imkânı bulamamıştır. Teknolojik gelişmeler ile kullanılan makinalardaki iyileşmeler ve çalışma basınçlarındaki optimum dengenin sağlanması ile daha yaygın bir kullanım alanı bularak birçok yüzeyden boya, kir, pas vb. maddeler başarılı bir şekilde çıkarılarak malzeme yüzeyleri geleneksel yöntemlere göre daha hassas bir şekilde temizlenmektedir [5]. Yapılan bir çalışmada, ahşap bir teknenin güvertesinde bulunan eskimiş ve oksitlenmiş boya kaplaması yüksek basınçlı su kullanılarak temizlenmiş ve eskimiş katmanın başarılı bir şekilde ağaç malzeme yüzeyinden çıkarıldığı belirtilmiştir [12]. Odun-su ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda bu işlemde kullanılan suyun ağaç malzeme ile teması sonrasında ağaç malzemede istenmeyen durumlar meydana gelebilir. Ayrıca, kullanılan basınçların çok yüksek olması sebebiyle ağaç malzemede kütle kaybı meydana gelebileceği ve yüzey profilinin olumsuz etkilenebileceği unutulmamalıdır.



Şekil 1. Basınçlı su ile ahşap yüzey temizliği [13].

B. SULU MEDYA İLE YÜZEY TEMİZLEME

Basınçlı havanın yardımı ile su ve medya karışımını malzeme yüzeyine püskürterek gerçekleştirilen bir temizleme sistemidir. Karışım haznesine konulan su ve medya karışımı vakumla kumlama tabancasına aktarılır. Kumlama tabancasında bulunan karışım odasında basınçlı hava ile birleşerek yüksek güçte akış oluşturur. Bu akış, nozül adı verilen başlıkta hızlanarak temizleme işleminde etkili bir püskürtme imkânı sağlar [14]. Kuru medya püskürtmeden ayrılan en temel farklılığı, önemli ölçüde daha az toz oluşturmasıdır. Bu yöntemde su, medyalara bağlanarak onları ağırlaştırır ve etrafa yayılmalarını önler. Genellikle açık alanlarda, havalandırmanın yeterli olmadığı yerlerde ve toksik maddeler içeren koruyucu katmanları temizlemek için tercih edilmektedir. Ancak işlem sonrasında yüzeylerde kalan medya artıklarını temizlemek için basınçlı su ile yeniden temizleme işlemi yapmak gerekmektedir [15].

C. KURU BUZ (CO₂) İLE YÜZEY TEMİZLEME

Kuru buz pelletleri ile yüzey temizleme işleminin bilinen ilk örnekleri Amerikan havacılık şirketi Loughhead Aircraft Manufacturing Company tarafından 1980'lerin başında yapılan çalışmalara dayandırılmaktadır [7]. Malzeme yüzeylerinin hassas, etkili, hızlı ve ekonomik bir şekilde nasıl temizlenebileceği, çevre ve güvenlik risklerinin en aza nasıl indirgeneceği üzerine yapılan çalışmalar bu yöntemin gelişmesine katkı sağlamıştır [16].

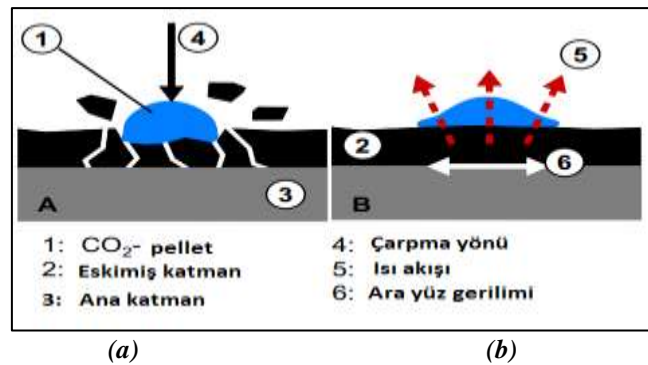
Kuru buz ile yüzey temizleme işleminde kullanılan kuru buz pelletleri uygulama sonrası süblimleşmeleri nedeniyle geri dönüştürülemez özelliğe sahiptir (Şekil 2) [17]. Bu yöntemin en belirgin özelliği, havada %0.03 oranında bulunan karbondioksit (CO_2) gazının kullanılmasıdır. Bu gaz atmosferde normal koşullarda -78.5 °C'lik bir sıcaklığa sahiptir (Tablo 1). Belirli bir sıcaklığa ulaştığında gaz formundan uzaklaşarak katı hale geçer. Gazın bu katı şekli “Kuru Buz” olarak bilinmektedir. Yüzey temizleme işlemlerinde kullanılan kuru buz pelletleri, belirli bir basınç altında preslenerek elde edilir. Bu yöntemin temizleme etkisi büyük oranda işlemin gerçekleştirildiği çevre koşulları ile mekanik ve termal süreçlerin kombinasyonuna dayanmaktadır [18]. Mekanik etkide, püskürtme işlemi sırasında kuru buz pelletleri, basınçlı hava etkisi ile 100 ila 300 m/s'lik bir hıza ulaşarak yüzeye çarparlar. Çarpma sırasında kinetik enerjilerini yüzeyde serbest bırakarak termal bir temizleme işlemi gerçekleştirirler (Şekil 3). Ayrıca kuru buz pelleti etki sırasında neredeyse anında süblimleşerek havaya karışır [6]. Temizlenmesi düşünülen yüzeye uygulandıklarında temas ettikleri yüzeyin alt ve üst katmanlarında bir sıcaklık farkı oluştururlar. Bu durum, boya katmanında iç gerilmelere sebep olarak katman yapısını bozar ve yüzey ile olan adezyon kuvvetinin bozulmasına sebep olur. Böylece boya katmanının yüzeyden ayrılması sağlanır.



Şekil 2. (a) Kuru buz pelletleri [17] ve (b) temizleme işlemi [19].

Tablo 1. Kuru buzun (CO_2) özellikleri.

Özellikler	Birim	Değer
Molekül ağırlığı	g/mol	44.1
Yoğunluk (katı)-78.5 ° C	kg/m ³	1.562
Yoğunluk (sıvı) -18 ° C	kg/m ³	1.022
Yoğunluk (gaz) 0 ° C	kg/m ³	1.977
Erime noktası	° C	-56.5
Kaynama noktası	° C	-78.5



Şekil 3. (a) Kuru buz ile temizleme işleminin termal ve (b) mekanik etkisi [17].

Temizleme işlemi kalıntı içermez ve tahribatsızdır. İşlem sonrası ortamda oluşan eskimiş katman birikintileri havalandırma ile veya süpürülerek ortamdan uzaklaştırılabilir. Kuru buz pelletleri üzerine yapılan son araştırmalar pelletlerin sertliğinin 1.5 Mohs olduğunu göstermektedir [17]. Kuru buz

pelletleri ile yapılan yüzey temizleme işlemlerinde kullanılan düşük basınçlar sayesinde, hızlı ve hassas temizleme işlemi gerçekleştirilir. Temizlenecek malzemelerin yerinde temizlenmesine olanak sağlar ve her türlü yüzeyden eskimiş katmanları temizlemek mümkündür [20]. Bu yöntem, solvent veya herhangi bir kimyasal içermemesi ve kuru buz pelletlerinin temizleme işlemi sırasında katı halden doğrudan gaz haline geçerek süblimleşmesi sebebiyle tamamen çevreci ve "yeşil" bir süreç olarak adlandırılmaktadır [8]. Kuru buz temizleme kokusuzdur, ahşaba nem kazandırmaz ve işçilere tehlikeli solüsyon damlatmadan temiz bir şekilde yapılabilir. Çam, köknar ve sedir dahil her türlü ağaçta kullanılabilir. Kuru buz, temizlenmesi veya soyulması en zor ahşap türlerinden biri olan tik ağacının temizliğinde de işe yarar [20].

Yapılan bir çalışmada, metal, çelik ve alüminyum malzemelerin yüzeylerine organik bileşenler içeren boyalar uygulanmış ve kuru buz pelletleri püskürtülerek temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Temizleme işlemi gerçekleştirilen numunelerdeki yapısal değişimleri incelemek üzere taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınımı analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kuru buz ile yüzey temizlemenin malzemelerin yapısal diziliminde herhangi bir hasar oluşturmadığı ve organik kaplamaların üç malzeme yüzeyinden de etkili bir şekilde çıkarıldığı belirtilmiştir. Ayrıca, pelletlerin yüzeye temas ettikleri anda süblimleşmeleri nedeniyle temizlenen katmanda bulunan boşluklara nüfuz etmedikleri ve dolayısıyla malzemede renk değişimlerine neden olmadıkları belirtilmiştir [21]. Endüstriyel ölçekli yüzey temizliği işlemlerinde bu yöntemin kullanılması oldukça caziptir. Ancak uygulama sırasında ortamda CO₂ yoğunlaşmasının operatör üzerinde bazı olumsuz etkileri vardır. Bunlar donma (doğrudan cilde uygulandığında) ve ortamdaki karbondioksit miktarının artarak oksijen miktarının azalmasıdır [22]. Tüm bunlara ek olarak, özellikle büyük çaplı işlerde kuru buz pelletleri kullanmak lojistik zorluklar ortaya çıkarmakta ve uzun süre işlem görmeden bekletilmeleri durumunda kuru buz pelletlerinin verimliliği düşmektedir [23].

D. SODYUM BİKARBONAT (NaHCO₃) İLE YÜZEY TEMİZLEME

Sodyum bikarbonat 1791 yılında Fransız kimyager Nicolas Leblanc tarafından üretilmiştir. Günümüzde soda ve soda külü olarak da isimlendirilen sodyum bikarbonat dezenfektanlarda, deodorantlarda, diş macunlarında ve temizlik malzemelerinde kullanılmaktadır. Koruyucu özelliğini yitirmiş katmanların temizlenmesinde kullanılmaya başlaması ise Church and Dwight Company, Inc., (Princeton, New Jersey) ve Schmidt Manufacturing, Inc., (Houston, Texas) tarafından Amerikan Çevre Bakanlığı'nın talebi doğrultusunda uzay araçları ve bu araçlara ait diğer sistemlerinin temizlik ve bakımı için geliştirilmiştir. Sodyum bikarbonat, kristalize yapıda, farklı boyutlarda ve beyaz toz şeklinde üretilmektedir. Suda çözünebilen, kokusuz, yanmayan, alevlenmeyen, temizleme sırasında ortama ve sağlığa zararlı gaz çıkışı olmayan, açık ya da kapalı ortamlarda kullanılma imkânı olan sodyum bikarbonat sayesinde, hava basıncı ile istenilen yüzeye püskürtülerek işlem gerçekleştirilmektedir [5]. Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) onaylı olduğu için yüzey temizliği gerektiren bütün malzeme yüzeylerinde kullanılmaktadır. Ahşap malzemeler, eski eserler, taş, beton, seramik, çelik vb. malzemeler, askeri mühimmatlar ve genel amaçlı işlerde kullanılmak üzere farklı formüllerde geliştirilmiştir [5], [22]. Sodyum bikarbonat ile yüzey temizleme, plastik medyalar ile yapılan temizleme işlemine benzer şekilde çalışmaktadır [23]. Sulu olarak uygulandığında başarılı bir temizleme kabiliyetine sahip olmakla birlikte, tekrar kullanılamaması ve büyük oranda tüketimi sebebiyle yüksek işletme maliyetine neden olabilmektedir. Sodyum bikarbonat ile yapılan temizleme testleri sonucunda, özellikle işlenmiş malzeme yüzeyleri gibi zorlu yüzeylerde bulunan kir, yağ ve boya gibi katmanların temizlenmesinde çok etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur [24]. Yapılan bir çalışmada, herhangi bir koruyucu katman uygulanmamış ağaç malzeme yüzeyine sodyum bikarbonat ve plastik medyalar 65 m/s ile 110 m/s arasında değişen hızlarda püskürtülmüş ve ahşap malzeme yüzeyindeki erozif aşınma miktarı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, sodyum bikarbonatın plastik medyalara göre ahşap malzeme yüzeylerine daha az zarar verdiği belirtilmiştir [25]. Şekil 4'te sodyum bikarbonat ile temizlenmiş bir ahşap malzemenin yüzeyi görülmektedir.



Şekil 4. Sodyum bikarbonat ile ahşap yüzey temizliği [26].

E. BİTKİ ESASLI MEDYALAR İLE YÜZEY TEMİZLEME

Temizlenecek malzeme yüzeyine püskürtülen bitki esaslı medyaların birçoğu meyve kabuklarından elde edilen organik ürünlerdir. Bu organik medyalar, düşük sertliğe ve düşük yoğunluğa sahip olmaları sebebiyle genellikle ahşap malzeme dahil birçok endüstriyel malzeme yüzeyinde kullanılmaktadır. Genel olarak malzeme yüzeylerinde bulunan kiri, eskimiş boya katmanlarını, ahşap gemi, tekne ve motorlardan yağ birikintilerini çıkarmak için kullanılmaktadır [27].

E.1. Ceviz Çekirdeği Granülü

Ceviz çekirdeği granülü, öğütülmüş veya ezilmiş ceviz çekirdeklerinden elde edilen sert ve lifli bir üründür. Ceviz içi çıkarıldıktan sonra elde edilen ceviz çekirdekleri ezilip elenerek çeşitli büyüklükte granül (Şekil 5.a) haline getirilerek yüzey temizleme işlemleri için kullanılmaktadır. 7.5 pH derecesine sahip olan ceviz çekirdeği granülü, Mohs skalasında 2.5-3 Mohs sertliğine sahip olması sebebiyle yumuşak medya olarak adlandırılmaktadır. Köşeli geometrik şekli, 1.3 g/cm³ özgül ağırlığa sahip olması ve potansiyel enerjisinin yüksekliği sebebiyle basınç altında etkili bir temizleme imkânı sağlar. Tüm bu özelliklerinin yanı sıra, toksik olmayan, biyolojik olarak parçalanabilen yapısı ve yumuşak aşındırma özelliği sebebiyle iç mekân kullanımları için de güvenli ve hassas bir yüzey temizleme işlemi sağlamaktadır [28]. Ayrıca, kum veya silika ürünleri ile yapılan kuşlama işlemlerinde meydana gelebilecek silikoz hastalığına da neden olmadığı yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur. Ceviz çekirdeği granülü, metal, ahşap, alüminyum, pirinç, taş, plastik ve fayans dahil hemen hemen her yüzeyden boya, kir, küf ve is kalıntılarını temizlemek için kullanılabilen bir medya olarak tercih edilmektedir. Bunlara ek olarak, binalardan grafitilerin temizlenmesi, yangın sonrası restorasyon ve metal yüzeylerindeki karbon birikintilerinin temizlenmesinde de kullanılan oldukça başarılı bir medyadır [29]. Yapılan bir çalışmada, herhangi bir koruyucu katman uygulanmamış dört farklı ağaç türü (beyaz meşe, beyaz çam, siyah kiraz, akçaağaç) üzerine, 5 farklı medya (ceviz çekirdeği, plastik tip II, plastik tip IV, alüminyum oksit ve silisyum karbür) çeşidi aynı koşullar altında püskürtülmüş ve ağaç malzeme yüzeylerindeki erozif aşınma miktarı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ceviz çekirdeği granüllerinin kullanılan diğer medya çeşitlerine göre tüm ağaç malzeme yüzeylerinde daha az erozif aşınma o belirtilmiştir [25]. Şekil 5.b' de bir gemi gövdesi yüzeyinde ceviz çekirdeği granülü kullanılarak yapılan temizleme işlemi görülmektedir.



Şekil 5. (a) Ceviz kabuğu granülleri [30] ve (b) Temizleme işlemi.

E.2. Buğday Nişastası

Buğday nişastası toksik olmayan ve biyolojik olarak parçalanabilir özelliğe sahip bir medyadır. Püskürtülerek yapılan boya temizleme işlemi çevre dostudur. Buğday nişastası Mohs skalasında 2.5-3.5 aralığında, 6.5 pH derecesine sahip, özgül ağırlığı 1.6 g/cm^3 olan toz şeklinde bir aşındırıcıdır [30]. Plastik medyalara çok benzeyen kristal medya parçacıklar olarak bilinmektedir. Buğday nişastası medyalar, plastik medyalar için tasarlanmış basınçlı kuru boya temizleme sistemleri ile kullanılabilir. Buğday nişastası ile yüzey temizleme işlemi, ahşap, kompozit, aramid, grafit, cam elyafı gibi malzemelerin hassas yüzeylerinden boyanın çıkarılması gibi özel uygulamalar için de kullanılmaktadır [31]. Buğday nişastası ile tek seferde bir boya tabakasını kaldırmak, diğer plastik medyalara kıyasla çok daha kolay ve çevrecidir [32]. Yapılan bir çalışmada, karbon, cam ve aramid elyaf kompozitleri ile beraber alüminyum malzemelerin yüzeylerine ilk olarak epoksi astar ve ardından üretan son kat boya uygulaması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu boyalı malzemeler buğday nişastası püskürtülerek temizlenmiştir. Sonuç olarak, doğru temizleme açısı, basınç, kütle akış hızı ve parçacı boyutu ile buğday nişastasının yüzeylere uygulanan üretan son kat boyayı etkili ve hızlı bir şekilde temizlediği ve ayrıca alt katmanda bulunan epoksi astara herhangi bir zarar vermediği bildirilmiştir [33].

E.3. Fındık Kabuğu Granülü

Fındık kabuğu granülü, fındık kabuklarının farklı malzeme türleri üzerinde kullanımı için çeşitli boyutlarda (Şekil 6) öğütülmesi ile elde edilir. Mohs skalasında 2.5-3.5 aralığında bulunan fındık kabuğu granülü, 7.5 pH, 1 g/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir [34]. Yapı malzemelerinin yüzeylerinde bulunan eskimiş boya vb. katmanların temizlenmesinde kullanılmaktadır. Temizleme işlemi tehlikeli atık oluşturmaz, çevre dostudur ve biyolojik olarak parçalanabilir yapıya sahiptir [31]. Literatür incelendiğinde fındık kabuğu granülü ile yapılmış yüzey temizleme işlemine ait akademik bir bilgiye rastlanılmamıştır. Ancak, tarihi eser temizliği yapan restorasyon firmalarının yapmış olduğu uygulamalara bakıldığında restorasyon süreçlerinde kullanıldığı görülmektedir [35]. Fındık kabuğu granülü ile yüzey temizleme işleminde, diğer bitkisel esaslı medyalarda olduğu gibi ahşap malzeme, heykel, tarihi eserler, alüminyum, fiberglas, bina cepheleri, grafitler gibi yüzeylerin temizlenmesi gerçekleştirilebilmektedir [36].



Şekil 6. Yüzey temizleme işlemi için öğütülmüş fındıkkabuğu granülü.

E.4. Mısır Koçanı Granülü

Mısır koçanı granülü, mısır bitkisinin odunsu koçanından yapılan yumuşak, düşük yoğunluklu bir üründür. Mısır tohumu çıkarıldıktan sonra, koçanlar öğütülmek için öğütme değirmenine aktarılır ve ardından yüzey temizleme endüstrisi için çeşitli boyutlara getirilerek işleme sunulur (Şekil 7). 7 pH derecesine sahip mısır koçanı granülü, 2-2.5 aralığında Mohs değerine ve 1.2 g/cm^3 özgül ağırlığa sahiptir [37]. Mısır Koçanı granülü, toksik olmayan, biyolojik olarak parçalanabilen ve tamamen çevre dostu olan bir malzemedir. Temizleme işleminde kullanılan mısır koçanı birden fazla kullanım için geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanım sağlanabilir [38]. Mısır Koçanı granülü ile yüzey temizleme işlemi, özellikle bina dış cephelerinde, ahşap yüzeylerde (Şekil 8), alüminyum, fiberglas ve teknelerdeki eskimiş boya katmanlarının temizlenmesinde kullanılan bir yöntemdir [39]. Yumuşak yapısı sayesinde, doğru parametrelerin uygulanması ile malzeme yüzeylerine zarar vermeden temizlik yapabilmeye imkan sağlamaktadır.



Şekil 7. Yüzey temizleme işlemi için öğütülmüş mısır koçanı granülü.



Şekil 8. Mısır koçanı granülü ile işlem görmüş ağaç malzeme [40].

E.5.Kayısı Çekirdeği Granülü

Kayısı çekirdeği kabukları büyük oranda lingoselüloz içerir ve çözülmeyen liflerden oluşur. Bu nedenle, karakteristik olarak açık kahverengi renge ve yüksek ısıl değere sahip odunsu bir hammadDEDİR. Mohs skalasında 3-4 aralığında bulunan kayısı çekirdeği granülü (Şekil 9), 5 pH derecesine ve 1.4 g/cm³ özgül ağırlığa sahiptir [28]. Kullanılan diğer bitki esaslı medyalar gibi toksik olmayan, sürdürülebilir ve çevre dostudur. Literatür incelendiğinde kayısı çekirdeği granülü ile yapılan yüzey temizleme işlemlerine ait akademik bir bilgiye rastlanılmamıştır. Ancak, tarihi eser temizliği yapan restorasyon firmalarının yapmış olduğu uygulamalara bakıldığında restorasyon süreçlerinde medya olarak kullanıldığı görülmektedir. Kayısı çekirdeği granülü ile ahşap, metal, alüminyum vb. malzeme yüzeylerinden boya, kir, yağ ve is kalıntılarını başarılı bir şekilde temizlemek mümkündür [41].



Şekil 9. Yüzey temizleme işlemi için öğütülmüş kayısı çekirdeği granülü.

E.6. Diğer Bitki Esaslı Medyalar

Günümüzde farklı bitki esaslı medyalar (şeftali çekirdeği granülü, vişne çekirdeği granülü vb.) konusunda çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Pek çok bitkisel atık medya olarak kullanılabilme potansiyeli barındırmakla beraber, yukarıda açıklanan medyalar günümüzde en çok tercih edilenler olarak karşımıza çıkmaktadır.

III. TERMAL AYRIŞTIRMA YÖNTEMLERİ İLE YÜZEY TEMİZLEME

Son yıllarda hassas ve yüksek verimlilik gibi önemli avantajları nedeniyle termal ayrıştırma yöntemleriyle yüzey temizleme işlemleri ile ilgili pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Uygulanan diğer temizleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha çevreci bir yöntem olan termal ayrıştırma, yüzeylerden kaplamaların çıkarılmasında fazlasıyla etkilidir. Oldukça yeni olan bu yöntem, elektronik ve otomasyonun kapsamlı kullanımını sağlayan gelişmiş teknolojilere dayanmaktadır [42]. Boya alt tabakasına belirli koşullar altında radyasyon ile iletilen ısı enerjisi, boyaların iç moleküler bağlarını zayıflatarak yapılarının bozulmasına olanak sağlar. Kullanılan radyasyon türüne göre, termal ve fotoablasyon gibi farklı temizleme işlemleri gerçekleştirilebilmektedir [43].

A. LAZER

Lazer ile yüzey temizleme, son dönemlerde kültür varlıklarının korunmasında da kullanılan temizleme yöntemleri arasında önemli yer edinmiştir. Lazer ile restorasyon işlemlerinin kullanımı 1970'li yıllarda başlamıştır. Ancak, lazer ile yüzey temizleme yönteminin üzerine yapılan bilimsel çalışmalarla etkinliğinin ortaya konulduğu 1990'lu yılların sonunda daha fazla tercih edilmiştir. Lazer emisyon parametreleri, çeşitli yüzeylerin hassas ve etkili bir şekilde temizlenmesini sağlamak amacıyla optimize edilerek tasarlanmıştır [44]. Lazer ile yüzey temizleme, çoğunlukla açık renkli mermer yüzeylerinde

bulunan siyah lekelerin temizlenmesinde kullanıldığı görülmektedir. Ancak son zamanlarda gelişen teknoloji ile ortaya çıkan yenilikler ve bilimsel çalışmalar sayesinde yaldızlı bronzlar, ahşap, seramik, kumaş, duvar resimleri gibi diğer malzeme yüzeylerinde de kullanılmaya başlanmıştır [45]. Metal yüzeyler üzerinde ise lazer ile temizleme uygulaması, ilk olarak yaldızlı bronz çalışması ile somut olarak başlamıştır [44].

Geleneksel temizleme yöntemlerine göre daha verimli olan lazer ile yüzey temizleme işlemi, alt katmana herhangi bir zarar vermeden kontrollü ve etkili bir şekilde uygulanabilmektedir [43]. Organik içerikli yüzey kaplamaları yüksek miktarda organik bileşen barındırdığından, bu bileşenlerdeki işlevsel gruplar UV ışın dalga boylarını yoğun bir şekilde absorbe ederler. Buradan yola çıkarak lazer teknolojileri uygun dalga boyu oranı, aşındırıcı ve titreşim gibi parametreler belirlenebilmektedir. Bu sayede ağaç malzeme yüzeylerinden kirli ve işlevini kaybetmiş katmanların temizlenmesinde kullanılabilir [6], [46]. Bu işlemde lazer, saniyede yaklaşık 1000 kez darbe ile yüzeyde çok etkili ve hızlı temizleme işlemi gerçekleştirir. Boya katmanlarının temizlenmesinde kalınlık ayarlanabilmekte ve vakum etkisiyle ile atıklar temizlenebilir. Ayrıca işlem sonrasında yüzeyde herhangi bir soğutma işlemine ihtiyaç yoktur [6], [47]. Lazer frekansı ve dalga uzunluğu, yüzey temizleme işlemlerinde optimizasyonu belirleyici bir rol oynamaktadır. Örneğin, 532 nm yeşil dalga boyu, biyolojik özellikteki katmanların temizlenmesinde etkilidir [45]. Lazer ile verimli bir şekilde yüzey temizleme işleminin uygulanabilmesinin temel koşulu, işlem gerçekleştirilen yüzey kaplamasının lazer enerjisini etkili bir şekilde emebilmesidir. Uygulama esnasında, lazer enerjisinin bir kısmı kaplama tarafından yansıtılır. Diğer kısmı ise kaplamanın içerisinden geçerek malzeme tarafından emilmektedir. Boyalar temelde dielektrik malzemelerdir ve metaller gibi serbest elektronlara sahip değildirler. Bu nedenle tüm dalga boylarındaki lazer radyasyonunu absorbe edemezler. Genellikle orta kızılötesi ve yakın UV radyasyonunda titreşim ve elektronik uyarımlar gibi absorbe edebilme yeteneğine sahiptirler [48]. Emilen kızılötesi lazer enerjisi, boya kaplamasının sıcaklığını yükseltmektedir. Sıcaklık belirli eşiklerin üzerine çıktığında kohezyon ve adezyon bağları kırılarak erime, süblimleşme, buharlaşma, yanma ve ayrışma gerçekleşerek etkili bir temizleme işlemi yapılabilir [49]. Ancak, kullanılan cihazların oldukça pahalı olması, uygulama işleminin profesyonellik gerektirmesi, bakım ve yazılım maliyetlerinin yüksek olması ve temizleme sırasında kaplama yüzeyinde oluşan ısı ile ortama çözücü buharı salabilmesi bu yöntemin dezavantajlarından bazılarıdır.

Son zamanlarda grafiti (Şekil 10'a) ve duvar yazılarının temizlenmesinde de lazer sistemleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu alandaki örneklerden bir tanesi olarak, Floransa'da bulunan Ponte Vecchio'daki turistlerin taşlar üzerine yazdıkları yazıların temizlenmesi gösterilmektedir (Şekil 10'b). İnsanların bilinçsizce davranmaları sonucu, olumsuz etkilenen yüzeyler genellikle taş, tuğla, ahşap gibi malzemelerden yapılmaktadır. Bu malzemelerin çoğu, kirletici boyaların derinlemesine penetre olma ihtimaline sahip absorbe edici yüzeyleri bulunmaktadır. Bu özellik, malzemelerin alt katmanlarına zarar vermeden boyaların tamamen temizleyebilse de oldukça zahmetlidir. Bu durumlarda, yüzey için etkili, hızlı ve verimli sonuçlar ortaya koyan lazer teknolojisini kullanmak gerekmektedir. Lazer temizleme sistemi tek başına veya diğer geleneksel sistemlerle birlikte kullanılabilir [45].



Şekil 10.(a) Lazer ile bir grafitinin silinmesi ve (b) Lazer ile duvar yazılarının kaldırması [45].

B. FLAŞ LAMBA

Bu yöntem Warner Robbins Air Logistics Center (WR-ALC) ve McDonnell Douglas Aircraft Company (McAIR) tarafından darbeli flaş ışık enerjisi ve kuru buz pellet püskürtülmesi şeklinde kombine olarak geliştirilmiştir. Ksenon flaş lambası, boya katmanını temizlemek için gerekli enerjiyi boya üzerine yayarak yüzeyde oluşturulan ısı ile boya katmanını ayırır. Ayırılan boya katmanını temizlemek için kuru buz pelletleri kullanılır [50]. Bütün işlem, yüksek hacim ve hızlı vakum akışının korunduğu bir örtü içerisinde gerçekleşir. Bu akış ile kömürleşen boya kalıntıları filtreler yardımıyla temizlenir. Bu işlem sayesinde yüzey kaplamalarını hassas ve seçici bir şekilde temizleyerek astar kata kadar temizleme işlemi gerçekleştirilebilir. Aralıklı olarak saniyede 4-6 kez flaş ışık etkisi uygulanan bu teknikte, ağaç malzeme yüzeylerindeki eskimiş koruyucu katmanları temizlerken alt katmanın zarar görmemesi için, ağaç malzeme yüzey ısısının 200 °F altında tutulması gerektiği bildirilmiştir [6], [47].

IV. SONUC

Bu çalışmada, ağaç malzeme yüzeylerindeki yaşlanmış koruyucu katmanların temizliğinde sıkça tercih edilen çevreye duyarlı yöntem ve medyalar ele alınmıştır. Kullanılan yöntem ve medyalar incelendiğinde, ahşap yüzeylerde bulunan eskimiş katmanların temizlenmesinde termal ayırma süreçlerinde kullanılan lazer ve flaş lamba ile temizleme yöntemlerinin, malzeme yüzeylerinde bulunan eskimiş katmanları temizlemede etkili oldukları söylenebilir. Ancak, lazer ile yüzey temizlemede kullanılan cihazların oldukça pahalı olması, uygulama işleminin profesyonellik gerektirmesi, bakım ve yazılım maliyetlerinin yüksek olması ve temizleme sırasında kaplama yüzeyinde oluşan ısı ile ortama çözücü buharı salabilmesi bu yöntemin dezavantajlarından bazılarıdır. Flaş lamba ile yüzey temizleme işleminin ise uygulama sonrasında ek bir temizleme işlemi gerektirmesi sebebiyle oldukça zahmetli bir yöntem olduğu söylenebilir.

Basınçlı sistemler ile uygulanan yüzey temizleme işlemlerinde, basınçlı su ile yüzey temizleme işleminin oldukça çevreci bir uygulama olduğu göze çarpmaktadır. Fakat kullanılan yüksek basınç sebebiyle ağaç malzemelerin morfolojisine zarar vereceği düşünülmektedir. Ayrıca odun-su ilişkisi olarak baktığımızda su ile temas ettiğinde, ağaç malzeme çalışmaya meydana gelebilir ve istenmeyen durumların ortaya çıkmasına neden olabileceği söylenebilir. Bir diğer yöntem olan kuru buz ile yüzey temizleme işleminde uygulama sırasında ortamda CO₂ yoğunlaşmasının olumsuz etkileri olduğu belirtilmiş ve özellikle büyük çaplı işlerde kuru buz pelletleri kullanmanın lojistik zorluklar ortaya çıkaracağı, uzun süre işlem görmeden bekletilmeleri durumunda kuru buz pelletlerinin verimliliğinin düşeceği ortaya konmuştur. Sodyum bikarbonat ile yapılan yüzey temizleme işleminin hem sulu hem de kuru olarak uygulama imkânı sunması, çevreye ve insan sağlığına herhangi bir tehdit oluşturmaması ve etkili bir temizleme işlemi gerçekleştirildiği yapılan çalışmalar ile de kanıtlanmıştır. Bitki esaslı medyalar, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir olmaları, toksik atık oluşturmamaları, yumuşak ve etkili temizleme kabiliyetlerinin bulunmaları sebebiyle ağaç malzeme yüzeylerindeki eskimiş koruyucu katmanların temizlenmesinde uygulanabilecek yöntemlerden biri olarak göze çarpmaktadır. Kullanılmakta olan çevreye zararlı diğer medya türlerinin kullanımlarının sınırlandırılmasına ilişkin ekonomik ve çevresel endişelerin gelecekte sodyum bikarbonat ve bitki esaslı medyaların kullanımının daha yaygın hale gelebileceğinin ve yapılacak çalışmalar ile daha ciddi bir şekilde ele alınabileceğinin göstergesi olarak söylenebilir.

V. KAYNAKLAR

[1] M. Budakçı ve M. Karamanoğlu, "Açık hava koşullarının odunun bazı fiziksel özelliklerine etkileri," *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, c. 14, s. 1, ss. 37-47, 2014.

[2] Y. Örs ve H. Keskin, *Ağaç Malzeme Bilgisi*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2000, ss.

199.

[3] A. Sönmez ve M. Budakçı, *Ağaç işlerinde Üstyüzey İşlemleri II*, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2005.

[4] G. X. Chen, T. J. Kwee, K. P. Tan, Y. S. Choo, and M. H. Hong, “Laser cleaning of steel for paint removal,” *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 101, no. 2, pp. 249–253, 2010, doi: 10.1007/s00339-010-5811-0.

[5] T. Foster, O. Malavallon, and S. Visaisouk, “Environmentally safe and effective processes for paint removal,” AGARD, France, Rep. N95-32165 11-31. Apr. 7, 1993.

[6] H. İ. Kesik vd., “Ahşap malzeme restorasyonunda yüzey temizleme yöntemleri,” *Selcuk Univ. J. Eng. Sci.*, ss. 1100–1113, 2016.

[7] S. Stratford, “Dry ice blasting for paint stripping and surface preparation,” *Metal Finishing*, vol. 98, no 6, pp. 493–499, 2000.

[8] R. Sherman, “Cleaning with Carbon Dioxide Snow,” *Handbook for Critical Cleaning*, Usa: Copyright Clearance Center, 2019, pp. 431–444.

[9] Anonymous. (2022, Jan 06). Waterjet and wet abrasive blast cleaning methods explained [Online]. Available: https://sspc.org/learning_center/waterjet-and-wet-abrasive-blast-cleaning-methods-explained/

[10] K. M. Foley ve T. Weaver, “An update on soft grit blast cleaning with corncob grit,” *Abrasive Engineering Society*, ABD, Rep. 107-116, 1981.

[11] D. Herbert, “Blast finishing,” *Metal Finishing.*, vol. 97, no. 1, pp. 93–100, 1999, doi: 10.1016/s0026-0576(99)80007-5.

[12] W. G. Howells, “Increasing waterjet efficiency by use of water-soluble additives,” *Proceedings of the 10th American Waterjet Conference*, Usa 1999, pp. 70–71.

[13] Anonim. (2022, 06 Ocak). Zemin ve ahşap bakımı [Çevrimiçi]. Erişim: <https://teakdeck.tk/deck-bakimi/>

[14] Anonim. (2021, 14 Mayıs). Sulu kumlama sistemleri [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.saykar.net/sulu_kumlama.%0A%0A.

[15] O. Malavallon, “Paint removal principles,” AGARD, France, Rep. N95-32165 11-31, 1995.

[16] S. Soncu, “Plastik parçalarda boya öncesi yüzey hazırlık prosesinin geliştirilmesi,” Yüksek lisans, Uludağ Üniversitesi, Bursa, Bursa, Türkiye 2019.

[17] E. Uhlmann and R. Hollan, “Resource efficient inline cleaning processes,” *Procedia CIRP*, pp. 102–121, 2012.

[18] E. Uhlmann and R. Hollan, “Blasting with solid carbon dioxide – investigation of thermal and mechanical removal mechanisms,” *Procedia CIRP*, vol. 26, pp. 544–547, 2015.

[19] Anonim. (2021, 1 Haziran). Kuru buz ile yüzey temizleme yöntemi [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.lyindustrial.com/kuru-buzla-temizleme-yontemi/>

[20] Anonymous. (2021, Jun 01). Abrasive blasters [Online]. Available: 2090

<https://www.graco.com/us/en/contractor/products/surface-preparation/abrasive-blasters.html>

[21] P. Mardikan, C. C., W. C., and H. P., “An evaluation of inter-laboratory reproducibility for quantitative xrf of historic copper alloys,” *Metal 2010: Proceedings of the Interim Meeting of the ICOM-CC Metal Working Group*, South Carolina Usa 2010, pp. 178–188.

[22] Anonymous. (2021, Jun 07). Blast media [Online]. Available: <https://surfaceprep.com/product-category/abrasives/blast-media/>

[23] P. W. Kopf, J. Cheney, ve J. Martin, “Paint removal from composites and protective coating development,” ABD, Rep. AD-A249 238, 1991.

[24] K. E. Abbott, “Dry media blasting for the removal of paint coatings on aerospace surfaces,” *Metal Finishing*, vol. 94, no. 7, pp. 33–35, 1996.

[25] R. L. Lemaster, A. J. Shih, and Z. Yu, “Blasting and erosion wear of wood using sodium bicarbonate and plastic media,” *For. Prod. J.*, vol. 55, no. 5, pp. 59–64, 2005.

[26] M. Van De Mark, (2021, Apr 04). Removing defects through flow, leveling *PCI Magazine RSS*, 2003. [Online]. Available: <https://www.pcimag.com/articles/93846-removing-defects-through-flow-leveling>

[27] J. D. Hansink, “An introduction to abrasives for protective coating removal operations,” *Journal of Protective Coatings & Linings*, vol. 17, no. 4, pp. 66–73, 2000.

[28] Anonim. (2021, 14 Haziran). Biyolojik tozlar [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.biopowder.com/en/apricot-stone>

[29] N. F. Veloz, “Practical aspects of using walnut shells for cleaning outdoor sculpture,” *APT Bull.*, vol. 25, no. 3/4, pp. 70–76, 1993.

[30] Anonymous. (2021, Jun 20). Blasting media and abrasives specifications [Online]. Available:https://www.globalspec.com/specsearch/searchform/materials_chemicals_adhesives/abrasives_abrasive_products/blast_media_blasting_abrasives.

[31] P. Tangestanian, M. Papini, and J. K. Spelt, “Starch media blast cleaning of artificially aged paint films,” *Wear*, vol. 248, no. 1–2, pp. 128–139, 2001.

[32] T. Foster, “Dry media blasting with wheat starch,” AGARD, France, 1995.

[33] B. Djurovic, É. Jean, M. Papini, P. Tangestanian, and J. K. Spelt, “Coating removal from fiber-composites and aluminum using starch media blasting,” *Wear*, vol. 224, no. 1, pp. 22–37, 1999.

[34] Anonymous. (2021, Jul 24). Nutshell granules [Online]. Available: <https://www.kuhmichel.com/en/products/nutshell-granules/.%0A%0A>

[35] Anonymous. (2021, Jul 24). Restoration & remedation [Online]. Available: <https://www.randrmagonline.com/articles/86397-historical-restoration-with-crushed-walnut-shells>

[36] Anonim. (2021, 24 Temmuz). Kabuk granülleri [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.organikyakit.com/urun-detaylari/kabuk-granulleri>.

[37] Composition Materials Co. (2021, Jul 24). Material safety data sheet [Online]. Available: <https://compomat.com/wp-content/uploads/2013/01/MSDS-Corn-Cob-Grit.pdf>

- [38] Flowspec Industrial Limited. (2021, Jul 24) Crushed walnut shell [Online]. Available: <http://www.walnutshellpowder.com/company.html>
- [39] C. M. Co. (2021, Sep 5) Abrasive blast media [Online]. Available: <https://compomat.com/>
- [40] Anonymous. (2021, Sep 05). Glass and Cob Blasting [Online]. Available: <https://doyleloghomeservices.com/corn-cob-blasting/#>
- [41] Anonymous. (2021, Sep 05). Western Log Home Supply [Online]. Available: <https://www.westernloghomesupply.com/kernel-corn-cob-media-blaster-log-cabins-homes.html>
- [42] G. X. Chen, T. J. Kwee, K. P. Tan, Y. S. Choo, and M. H. Hong, "Laser cleaning of steel for paint removal," *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 101, no. 2, 2010, doi: 10.1007/s00339-010-5811-0.
- [43] J. H. Scholten, J. M. Teule, V. Zafirooulos, and R. M. A. Heeren, "Controlled laser cleaning of painted artworks using accurate beam manipulation and on-line LIBS-detection," *J. Cult. Herit.*, vol. 1, no. 2, 2000.
- [44] S. Siano and R. Salimbeni, "The gate of paradise: physical optimization of the laser cleaning approach," *Stud. Conserv.*, vol. 46, no. 4, pp. 269–281, 2001.
- [45] A. Zanini, V. Trafeli, and L. Bartoli, "The laser as a tool for the cleaning of cultural heritage," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 364, no. 1, 2018.
- [46] S. Georgiou, V. Zafirooulos, V. Tomari, and C. Fotakis, "Mechanistic aspects of excimer laser restoration of painted artworks," *Laser Phys.*, vol. 8, no. 1, pp. 307–312, 1998.
- [47] W. N. Schmitz, "Baring it all, coatings removal options uncovered," 2015.
- [48] M. J. J. Schmidt, L. Li, and J. T. Spencer, "An investigation into the feasibility and characteristics of using a 2.5 kW high power diode laser for paint stripping," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 138, no. 1–3, pp. 109–115, 2003.
- [49] D. Bäuerle, "Laser processing and chemistry," *Laser Process. Chem.*, pp. 13–38, 2011.
- [50] W. N. Schmitz, "CO₂ pellets blasting for paint stripping/coatings removal," *1st Ann. Int. Workshop on Solvent Substitution*, pp. 11–13, 1990.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Hastane Aciline Gelenlerde Kalp Krizi Risk Olasılığının Belirlenmesi için Bir Karar Destek Sisteminin Oluşturulması

Gülizar ÖZDEMİR BAKIRHAN^a, Ömer BİLEN^b, Sezen CANIM ATEŞ^{c*}

^a Biyomedikal Müdürlüğü Bölümü, Tıp Fakültesi Hastanesi, Bezmi Alem Vakıf Üniversitesi İstanbul, Türkiye

^b Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa Türkiye

^c * Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

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

DOI: 10.29130/dubited.907952

ÖZ

Bilindiği üzere akut kalp krizinden ölümlerin çoğu, medikal tedaviye başlanmadan gelişse de hastane içi mortalite 50'li yıllarda %30-35 oranında iken günümüzde akut kalp krizinin hastane mortalitesi %5-7 civarına indiği görülmektedir. Bunun başlıca nedeni biyokimyasal belirteç kontrollerinin gelişen teknoloji ile artması ve tanı sistemlerinin gelişmesidir. Günümüzde pek çok hastalığın referans değerlerinin yıllara ya da farklı faktörlere göre değiştiği bilinmektedir. Ayrıca hasta şikâyetleri ile bulguların karşılaştırmalı bir çalışması yapılmadığından yapay zekâ çağına geçilen günümüzde hastaların acil servislerde belirttiği şikâyetlerin standardize edilerek yazılımsal bir program oluşturulmasının acil servis hekimlerine fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bu amaçla bu çalışmada, Bezmi Alem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Acil Servis birimine farklı şikâyetlerle başvuran hastalarda kalp krizi risk faktörleri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Mayıs– Ekim 2016 tarihleri arasında 6607 hasta verisinin analizi kan tahlilleri, şikâyet ve muayene bulguları olarak 3 aşamada düzenlenmiştir. Bu veriler SPSS 24.0 paket programıyla ki-kare bağımsızlık testi ve karar ağacı modellemesi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Hastaların ön muayenede belirttiği şikâyetler ile kalp krizi ve cinsiyete göre ki-kare bağımsızlık testi uygulanmıştır. Buna göre; kalp krizi ile göğüs ağrısı, çarpıntı, terleme ve nefes darlığı şikâyetlerinin bağımlı olduğu belirlenirken; cinsiyete göre de karın ağrısı, çarpıntı, sırt ağrısı, baş dönmesi, halsizlik, nefes darlığı, bulantı ve kusma şikâyetlerinin bağımlı olduğu görülmüştür. Karar ağacı modellemesinde ise, modele bağımlı değişken sadece kalp krizi olarak seçilirken bağımsız değişkenler olarak yaş, cinsiyet, kan tahlili sonuçları, hasta şikâyet ve muayene bulguları eklenerek 4 farklı modelde incelenmiştir. Bu incelemelerin sonucunda yaş, çarpıntı, terleme, cinsiyet, göğüs ağrısı, diyastolik arter basıncı ve Troponin I'nın önemli olduğu saptanmıştır. Böylece elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde acile gelenlerde kalp krizi risk olasılığının belirlenmesi için 4 farklı karar destek sistemi oluşturulmuştur. Buna göre hekimler acile gelenlerdeki ilk bulgulara göre kalp krizi geçirme riskini karar destek sistemleri vasıtasıyla belirleyebileceklerdir.

Anahtar Kelimeler: Kalp krizi, Pearson Ki-Kare, Karar ağacı modelleri, Karar destek sistemleri

Establishment of a Decision Support System for Determining the Risk Probability of Heart Attack in Hospital Emergency Visitors

ABSTRACT

As it is known, although most of the deaths from acute heart attack occur before medical treatment is started, while in-hospital mortality was 30-35% in the 1950s, it is seen that hospital mortality of acute heart attack has decreased to around 5-7% today. The main reason for this is the increase in biochemical marker controls with the developing technology and the development of diagnostic systems. Today, it is known that the reference values of many diseases change according to years or different factors. In addition, since there is not a comparative study of patient

complaints and findings, it is thought that the creation of a software program by standardizing the complaints of patients in the emergency services in the era of artificial intelligence will benefit emergency physicians. For this purpose, in this study, heart attack risk factors were statistically evaluated in patients who applied to the Emergency Department of Bezmialem Vakıf University Medical Faculty Hospital with different complaints. The analysis of 6607 patient data between May and October 2016 was organized in 3 stages as blood tests, complaints, and examination findings. The analysis of 6607 patient data between May and October 2016 was organized in 3 stages as blood tests, complaints, and examination findings. These data were statistically evaluated by chi-square independence test and decision tree modeling with SPSS 24.0 package program. Chi-square independence test was applied according to the complaints of the patients in the preliminary examination, heart attack and gender. According to this, it was determined that heart attack and chest pain, palpitation, sweating and shortness of breath were dependent; It was observed that the complaints of abdominal pain, palpitation, back pain, dizziness, weakness, shortness of breath, nausea and vomiting were dependent on gender. In the decision tree modeling examined in 4 different models, while the dependent variable was selected as the only heart attack; the independent variables were added as age, gender, blood test results, patient complaints and medical examination findings. As a result of these examinations, age, palpitation, sweating, gender, chest pain, diastolic arterial pressure and Troponin I were found to be important. Thus, when the obtained results were evaluated, 4 different decision support systems were created to determine the risk of heart attack in those who came to the emergency services. Accordingly, physicians will be able to determine the risk of having a heart attack by means of decision support systems according to the first findings of those who come to the emergency services.

Keywords: Heart attack, Pearson Chi-Square, Decision tree models, Decision support systems

I. GİRİŞ

Her yıl tüm dünyada 17,1 milyon kişinin kalp hastalıkları ve inme nedeniyle yaşamını kaybettiği bilinmektedir. Akut kalp krizinden ölümlerin çoğu, medikal tedaviye başlanmadan gelişmekte ancak hastane içi mortalite 50'li yıllarda %30-35 oranında iken günümüzde akut kalp krizinin hastane mortalitesi %5-7 civarına indiği görülmektedir [1]. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre dünya genelindeki tüm ölümlerin %30'u kalp ve damar hastalıkları sonucu ile ilk sırada yer almaktadır. Ülkemizde bu oran ise %47 civarındadır [2]. Halk arasında kalp krizi olarak adlandırılan koroner arter hastalıklarından birisi olan Miyokardial İnfarktüs (MI), kalbin bir kısmının kanlanması veya oksijenlenmesinin azalması sonucu ortaya çıkan bir hastalıktır. Yeterli miktarda oksijen alamayan kalpte hasar, uzun süre oksijen alamadığında ise kalpte ölüm meydana gelmektedir [3]. Kalp krizi tanısı, fiziksel muayene ile Q dalgaları içeren Elektokardiyografi (EKG), Kreatinin Kinaz, Miyogloblin ve Troponin gibi testlerin sonuçlarına bakılarak koyulabilmektedir [4]. Son yıllarda klinik karar destek sistemlerinin (KKDS), hastalarla ilgili olarak sağlık çalışanlarına doğru karar almada yardımcı olduğu bilinmektedir [5-6]. Sağlık personelleri, bilgisayar destekli bu sistemlerden faydalanarak hızlı ve işlevsel bir şekilde hastalara müdahale edebilmektedir [5][7]. Bilgisayarlı KKDS'lerinin kullanımı, sağlık uzmanlarına tekrarlayan ziyaretler, devam eden hastalık ve tedavi izleme ile birlikte hasta davranış değişikliği gerektiren kronik hastalık yönetimini iyileştirebileceği de bilinmektedir [8] Diğer taraftan KKDS'lerin en önemli uygulamalarından biri kalp hastalıklarının teşhis ve tedavisidir, çünkü istatistikler kalp hastalığının tüm dünyada önde gelen ölüm nedenlerinden biri olduğunu göstermektedir [9]. Kalp hastalıkları için KKDS'lerine ilişkin yapılan bir çalışmada, altı farklı KKDS'nin performansını tanımlanmış ve karşılaştırılmıştır [10]. Başka bir derleme, kalp hastalıklarının tahmin edilmesi için kullanılan teknikleri ve bunların karmaşıklıklarını açıklamaktadır [10] Klinik uygulamalarda hastalık teşhisi için veri madenciliği araçlarının kullanımında özellikle kalp hastalığı teşhisi için karar ağaçları, yapay sinir ağları, Bayes ağları, destek vektör makineleri çekirdek yoğunluğu, torbalama algoritması gibi çeşitli veri madenciliği teknikleri KKDS olarak aktif şekilde kullanılmaktadır [11-13]. Bunun gibi sistemlerin hastaneye çeşitli şikayetlerle gelen kişilere acil müdahale öncesinde sağlık çalışanlarının önüne konulmasıyla, hastanelerin özellikle acil bölümlerindeki yoğunluklarının ve doktorların iş yüklerinin bu gibi yapay zeka uygulamalarıyla azaltılması günümüzde bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu nedenle yapılan bu çalışma kapsamında, Ki-kare Bağımsızlık testleri kullanılarak değişkenler arasındaki

bağımlılık ilişkisi belirlenmiştir. Karar destek sistemi oluşturmak için de ve karar ağacı modelleri kullanılmıştır. Çünkü karar ağacı modelleri belirli bir özelliğe sahip olup olmamaya ilişkin profil oluşturmayı sağlamakta ve her bir profil için risk olasılığı ortaya koymaktadır. Ayrıca Ki-kare bağımsızlık testleri de karar ağacı modellerinde bağımlı değişkeni tahmin etmekte kullanılacak olan bağımsız değişkenlerin belirlenmesini sağladığı için tercih edilmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, Bezmialem Vakıf Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 04/04/2017 tarihinde 7/62 karar numarası ile onaylanmıştır. Hastane Bilgi Sisteminden Mayıs 2016 ile Ekim 2016 tarihleri arasında Bezmialem Vakıf Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Vatan Yerleşkesi Acil Servis birimine çeşitli şikayetler ile başvuran 6607 hastaya ait verilerin sistem çekilip düzenlenmesi ile çalışma gerçekleştirildi. Bir hastaya uygulanan işlem ve tetkikler ayrı ayrı satırlarda sistemden çekildiğinden bir hastanın birden fazla satırda verisinin olduğu görüldü. Bir hastanın birden fazla acil servise başvuru yaptığının tespit edilmesi üzerine hasta bilgileri isimlerine göre filtrelenerek ilk gelişleri baz alınarak tek hasta kategorisine indirildi. İsim benzerliklerinde problem yaşamamak için T.C. kimlik numaraları da ayrıca kontrol edildi. Veri analizi kan tahlilleri, şikayet ve muayene bulguları olarak 3 aşamada düzenlenmiştir.

Öncelikle, 7 ayrı sütunda bulunan ve her biri farklı satırlarda olan kan tahlili sonuçları tek bir satırda toplandı. Buna göre çalışma grubundaki hastaların araştırılması yapılan kan tahlilleri; Troponin I, AST, CK, Kreatinin, Serum, LDH, ALT, CK-MB verileri olarak belirlendi.

İkinci aşamada şikayet bulguları olarak kabul edilen veriler her hastanın dosyası incelenirken ayrı ayrı sütun açılarak düzenlendi. Epikriz raporları tek tek okunarak düzenlenen ve excel dosyasında sütunlara ayrılan bu veriler 59 tane farklı başlıkta toplandı. Bu 59 ayrı verinin 36 tanesi kalp krizi ile alakalı hasta şikayetleri olarak kabul edildi ve var veya yok olarak tanımlandı. Şikayet eğer var ise 1 yok ise 0 olarak kodlandı (Tablo 1).

Tablo 1. Epikriz raporu incelemelerine göre karar verilen ve araştırılması yapılan şikayetlerin listesi.

Göğüs Ağrısı	Karın Ağrısı	Sırt Ağrısı	Sol Kol Ağrısı-Uyuşma
Çarpıntı	Nefes Darlığı	Halsizlik	Öksürük
Bulantı	Kusma	Baş Dönmesi	Baş Ağrısı
Boğaz Ağrısı	Sağ Kol Ağrısı-Uyuşma	Ense Sertliği-Ağrı	Titreme
İshal	Bayılma	Bacak Ağrısı-Şişlik	Omuz Ağrısı
Yan Ağrısı	Terleme	Bilateral Yan Ağrısı	Konuşmada Bozukluk
Yüzde Uyuşma-Şişlik	Kuvvet Kaybı	Kulak Şikayeti	Burun Kanaması
Çenede Uyuşma-Ağrı	Hırıltılı Solunum	Ayaklarda Uyuşma	Ağızda Kuruluk
Boyun Ağrısı	ÜSYE	Kasılma	NFM

Son aşama olarak da muayene bulguları da epikriz raporlarından tek tek bakılarak yapılan çalışma ile sütunlara eklendi. Epikriz raporu incelemelerine göre karar verilen ve araştırılması yapılan muayene bulgularının listesi Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Epikriz raporu incelemelerine göre karar verilen ve araştırılması yapılan muayene bulgularının listesi.

Normal Muayene	Kooperasyon	Ateş	Batın
Solunum Sesleri	Defans/Rebound	Tansiyon (Büyük)	EKG
Akciğer Sesleri	PTÖ	Tansiyon (Küçük)	PH
Nörolojik Muayene	IR	SPO2	PCO2
Ekspirasyon	GKS	Nabız	PO2
Genel Durum	Kan Şekeri	Şuur/Bilinç	

Ayrıca çalışma grubunu oluşturan toplam 6607 hastanın 3311 (%50.1)'i erkek hasta 3296 (%49.9)'sı kadın hasta olduğu ve 6 ay içerisinde kadın ile erkek hasta olarak hemen hemen eşit sayıda hastanın acil servise başvurduğu görüldü. Yaş gruplarına göre bakıldığında ise 6607 hastanın 2949 (%44.6)'u 45 yaş altı, 2339 (%35.4)'u 45 ve 65 yaş arası, 1319 (%20) hastanın ise 65 yaş üzeri olduğu belirlendi.

Çalışma verileri SPSS 24.0 paket programı aracılığı ile istatistiksel olarak değerlendirildi. Tanımlayıcı istatistikler olarak ortalama, standart sapma, frekans ve yüzde dağılımı kullanıldı. İstatistiksel hipotezlerin testi için kritik değerler $p<0.01$, $p<0.05$, $p<0.10$ olarak kabul edildi. Ayrıca; ki-kare bağımsızlık testleri ve karar ağacı modelleri istatistiksel yöntem olarak kullanıldı.

Bilindiği gibi Ki-kare dağılımı yaygın olarak birçok amaçla kullanılan bir dağılımdır. Birçok araştırmada çeşitli kategorilere giren cevapların, nesnelere veya deneklerin sayısı ile ilgilenir. Örneğin, belirli bir grup kişi bir anket sorularına verdikleri cevaplara göre sınıflandırılabilirler. Araştırmacı verilen belli bir cevabın diğerlerine kıyasla daha sık ortaya çıkıp çıkmayacağını belirlemek isteyebilir. Özellikle sayımla belirlenen kalitatif özellikleri olan bu gibi durumlardaki-kare testi kullanılır [14]. Bağımsızlık testleri de, iki veya daha fazla değişken arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. Örneğin; uygulanan tedavi metodu ile iyileşme derecesi, öğrencinin devam durumu ile başarısı, sigara içme durumu ile kansere yakalanma gibi olaylar arasındaki ilgi bağımsızlık testine göre belirlenir [15].

Bierman ve Friedman tarafından önerilen karar ağaçları ise, değişkenleri parçalayıp bir ağaç görünümü oluşturmaya dayanmaktadır. Karar ağacı analizleri, kurulmasının düşük maliyetli olması, yorum yapılmasının kolay olması, güvenilir olması ve veri tabanı sistemleriyle kolay entegre olabilmeleri nedenleri ile sınıflama modelleri arasında en yaygın kullanılan tekniktir. Ağaç görünümü ile, kolay anlaşılabilen kurallar oluşturabilen, bilgi teknolojileri işlemleri ile kolaylıkla entegre edilebilen en popüler sınıflama tekniklerinden biridir [16-17].

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çeşitli şikayetlerle acil servise başvuran 6607 hastadan kalp krizi tanısı konanların belirlenmesi amacıyla kalp krizi tanı kodu yardımıyla veri bankasından hastalar filtrelenerek 41 hastanın kalp krizi geçirdiği tespit edildiği görüldü. Kalp krizi geçiren 41 hastadan 31 (%75.6)'i erkek, 10 (%24.4)'u ise kadın hasta olduğu gözlemlendi. Kalp krizi geçiren 41 hastanın ise 3 (%7.3)'ü 45 yaş altı, 30 (%73.2)'u 45 ve 65 yaş arası, 8 (%19.5) hastanın ise 65 yaş üzeri olduğu saptandı. Bu hastalara anjiyografi işlemi ile birlikte stent takıldığı, balonla müdahale edildiği veya damar tıkanıklığı tespiti yapıp tedavilerine devam edildiği gözlemlendi.

A. Kİ-KARE BAĞIMSIZLIK TESTİ (PEARSON CHİSQUARE)

Ki-kare bağımsızlık testi ile kalp krizi ve hastaların belirttiği şikayetler göz önüne alınarak aralarındaki ilişkiye bakıldı ve aşağıdaki gibi ana hipotez kuruldu.

H_0 : Kalp krizi hasta şikayetlerinden bağımsızdır.

H_a : Kalp krizi hasta şikayetlerine bağımlıdır.

Kalp krizi ile ilgili tüm şikayetler baz alındığında kalp krizinin göğüs ağrısı, çarpıntı, terleme ve nefes darlığı şikayetlerine bağımlı olduğu görüldü. Beklenildiği üzere kalp krizi geçiren hastalarda göğüs ağrısı şikayeti %97.6 iken kalp krizi geçirmeyen hastalarda bu oran %85.2'ye düşmektedir (Chi-square=4.952 p=0.026). Kalp krizi geçiren hastalarda çarpıntı şikayeti %12.2 iken kalp krizi geçirmeyen hastaların çarpıntı hissetmesi beklenenin aksine %38.9'a yükselmektedir (Chi-square=12.206 p=0.000). Bir diğer bağımlı değişken ise hastalarda terleme olmasıdır. Kalp krizi geçirmeyen hastalarda terleme şikayeti %0.9 iken bu oran kalp krizi geçiren hastalarda %4.9'a yükselmektedir (Chi-square=7.403 p=0.051). Son olarak kalp krizine etki eden bir diğer şikayetin nefes darlığı olduğu gözlemlendi, kalp krizi geçirmeyen hastalarda nefes darlığı oranı %7.6 iken kalp krizi geçiren hastaların hiç birinde nefes darlığı şikayeti gözlemlenmedi (Chi-square=3.385 p=0.072) (Tablo 3).

Tablo 3. Ki kare bağımsızlık testi ile hasta şikayetlerinin kalp krizine bağımlılığı.

ŞİKAYET	PEARSON CHISQUARE	Df	P	BAĞIMLILIK DURUMU
Göğüs Ağrısı	4.952	1	0.026	**
Karın Ağrısı	1.781	1	0.254	
Çarpıntı	12.206	1	0.000	***
Sağ Kol Ağrısı ve Uyuşma	0.442	1	1.000	
Sol Kol Ağrısı ve Uyuşma	1.609	1	0.406	
Bacakta Ağrı ve Şişlik	0.283	1	1.000	
Bilateral Yan Ağrısı	0.277	1	1.000	
Ense Sertliği ve Ağrısı	0.069	1	1.000	
Çenede Uyuşma ve Ağrı	0.006	1	1.000	
Omuz Ağrısı	3.270	1	0.181	
Kulak Şikayeti	0.050	1	1.000	
Yüzde Uyuşma ve Şişlik	0.075	1	1.000	
Konuşmada Bozukluk	0.119	1	1.000	
Sırt Ağrısı	0.046	1	1.000	
Boyun Ağrısı	0.063	1	1.000	
Yan Ağrısı	0.474	1	1.000	
Terleme	7.403	1	0.051	*
Bayılma (Senkop)	0.378	1	1.000	
Kasılma	0.044	1	1.000	
Baş Dönmesi	1.636	1	0.407	
Halsizlik	2.412	1	0.170	
Baş Ağrısı	1.421	1	0.647	
Kuvvet Kaybı	0.056	1	1.000	
Nefes Darlığı	3.385	1	0.072	*
Hırıltılı Solunum	0.056	1	1.000	
Burun Kanaması	0.025	1	1.000	
Bulantı	0.679	1	0.577	
Kusma	0.330	1	0.767	
İshal	0.744	1	1.000	
Boğaz Ağrısı	0.848	1	1.000	
Titreme	0.232	1	1.000	
Öksürük	1.535	1	0.404	
ÜSYE	0.056	1	1.000	
Ağızda Kuruluk	0.019	1	1.000	
Ayaklarda Uyuşma	0.050	1	1.000	
NFM	0.019	1	1.000	

*0.05≤P<0.10 %90 güven düzeyinde bağımlı; **0.01≤P<0.05 %95 güven düzeyinde bağımlı; ***P<0.01 %99 güven düzeyinde bağımlı

Ki-kare bağımsızlık testiyle hastaların belirttiği şikayetler ile cinsiyet arasındaki ilişkiye de bakıldı ve aşağıdaki gibi ana hipotez kuruldu.

H₀: Hasta şikayetleri cinsiyetten bağımsızdır.

H_a: Hasta şikayetleri cinsiyete bağımlıdır.

Cinsiyet ve hastaların ön muayenede belirttiği şikayetler arasındaki bağımlılık ki kare bağımsızlık testi ile incelenmiştir. Karın ağrısı şikayeti erkeklerde %6.9 iken kadınlarda %9.3'dür (Chi-square=13.393 p=0.000). Kadınlarda çarpıntı şikayeti %40.7 iken erkeklerde bu oran %36.6'dır (Chi-square=11.768 p=0.001). Cinsiyet ve ön muayenede belirtilen şikayetlere bağımlı diğer bir etken ise sırt ağrısıdır. Erkeklerde sırt ağrısı oranı %4.8 iken kadınlarda bu oran %6.5'e yükselmektedir (Chi-square=8.239 p=0.004). Baş dönmesi şikayeti ise kadınlarda %4.2 iken erkeklerde %3.4'e düşmektedir (Chi-square=3.368 p=0.066). Bir diğer şikayet halsizlik ise erkeklerde %5.0 iken kadınlarda bu oran %6.0'ya yükselmektedir (Chi-square=2.938 p=0.087). Bir diğer önemli şikayet olan nefes darlığı ise kadınlarda %8.3, erkeklerde ise %6.9'dur (Chi-square=5.005 p=0.025). Erkeklerde bulantı oranı %6.0 iken kadınlarda bu oran %10.9'a yükselmektedir (Chi-square=49.652 p=0.000). Kusma ise erkeklerde %5.5 iken kadınlarda %8.9'a yükselmektedir (Chi-square=29.520 p=0.000) (Tablo 4).

Tablo 4. Ki kare bağımsızlık testi ile hasta şikayetlerinin cinsiyete bağımlılığı.

ŞİKAYET	PEARSON CHISQUARE	Df	P	BAĞIMLILIK DURUMU
Göğüs Ağrısı	1.101	1	0.294	
Karın Ağrısı	13.393	1	0.000	***
Çarpıntı	11.768	1	0.001	***
Sağ Kol Ağrısı ve Uyuşma	0.493	1	0.458	
Sol Kol Ağrısı ve Uyuşma	0.661	1	0.416	
Bacakta Ağrı ve Şişlik	0.027	1	0.869	
Bilateral Yan Ağrısı	0.385	1	0.535	
Ense Sertliği ve Ağrısı	0.096	1	0.757	
Çenede Uyuşma ve Ağrı	0.996	1	1.000	
Omuz Ağrısı	1.158	1	0.282	
Kulak Şikayeti	0.492	1	0.483	
Yüzde Uyuşma ve Şişlik	0.325	1	0.569	
Konuşmada Bozukluk	1.342	1	0.247	
Sırt Ağrısı	8.239	1	0.004	**
Boyun Ağrısı	0.000	1	1.000	
Yan Ağrısı	2.339	1	0.126	
Terleme	2.019	1	0.155	
Bayılma (Senkop)	0.633	1	0.426	
Kasılma	0.139	1	1.000	
Baş Dönmesi	3.368	1	0.066	*
Baş Ağrısı	1.280	1	0.258	
Kuvvet Kaybı	0.107	1	1.000	
Nefes Darlığı	5.005	1	0.025	**
Hırıltılı Solunum	1.015	1	0.342	
Burun Kanaması	1.010	1	0.374	
Bulantı	49.652	1	0.000	***
Kusma	29.520	1	0.000	***
İshal	1.531	1	0.216	
Boğaz Ağrısı	0.216	1	0.642	
Titreme	0.023	1	0.880	
Öksürük	0.027	1	0.871	

ÜSYE	0.988	1	0.320
Ağızda Kuruluk	2.988	1	0.250
Ayaklarda Uyuşma	1.984	1	0.289
NFM	2.988	1	0.250

* $0.05 \leq P < 0.10$ %90 güven düzeyinde bağımlı; ** $0.01 \leq P < 0.05$ %95 güven düzeyinde bağımlı; *** $P < 0.01$ %99 güven düzeyinde bağımlı

B. KARAR AĞAÇLARI ANALİZİ (DECISION TREES)

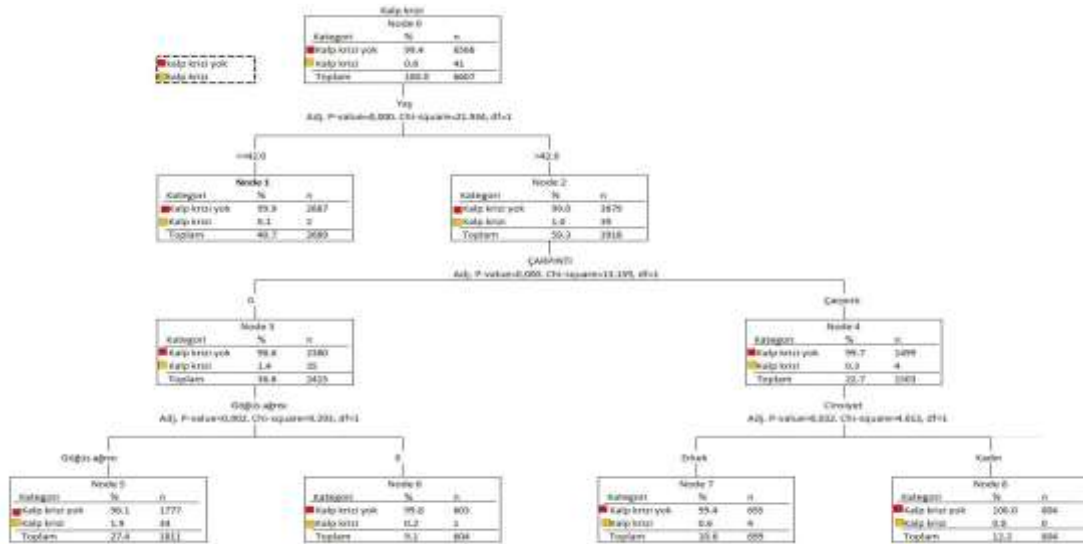
B. 1. Yaş, Cinsiyet ve Hasta Şikayetlerine Göre Karar Ağacı Modellemesi

Karar ağacı modellemesinde, modele bağımlı değişken kalp krizi bağımsız değişkenler olarak yaş, cinsiyet ve hasta şikayetleri eklenmiştir. Modele dahil olanlar ise yaş, cinsiyet, tüm hasta şikayetleri arasından da çarpıntı ve göğüs ağrısı olarak tespit edilmiştir. Bu modele göre kalp krizi üzerinde en önemli faktör yaş olarak çıkmıştır. 42 yaşın üzerinde olan hastaların kalp krizi geçirme ihtimali 42 yaşın altında olan hastalara göre 10 kat daha fazladır. Çalışma grubundaki kalp krizi geçiren hastaların 42 yaş altı olan 2 hasta bulunmaktayken 42 yaş üzerinde olan 39 hasta bulunmaktadır.

Kalp krizi üzerinde ikinci derecede önemli etken ise çarpıntıdır. 42 yaş üzerinde bulunan hastalardan çarpıntı şikayeti olmayanlarda kalp krizi geçirme ihtimali çarpıntı şikayeti olanlara göre yaklaşık 5 kat daha fazladır. Çalışma grubundaki kalp krizi geçiren hastalardan çarpıntı şikayeti olan 4 hasta bulunmaktayken çarpıntı şikayeti olmayan 35 hasta bulunmaktadır.

Kalp krizi üzerinde üçüncü derecede önemli etken ise göğüs ağrısıdır. Çalışma grubundaki kalp krizi şikayetiyle hastaneye başvuran hastalardan 42 yaş üzerinde olup çarpıntı şikayeti olmayıp göğüs ağrısı şikayeti olanlarda göğüs ağrısı şikayeti olmayanlara göre kalp krizi geçirme ihtimali yaklaşık 6 kat daha fazladır. 42 yaş üzerinde, çarpıntı şikayeti olmayıp göğüs ağrısı şikayeti olan 35 hastanın 34'ünün kalp krizi geçirdiği görülmüştür.

Başka bir etken faktör ise cinsiyettir. Çalışma grubundaki hastalardan 42 yaş üzerinde, çarpıntı şikayeti olan erkek hastalardan %0.64'sı kalp krizi geçirirken 42 yaş üzerinde, çarpıntı şikayeti olan hastaların hiçbirininin kadın olmadığı görülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Karar ağacı analizi 1.

Karar Destek Sistemi

Yaş <= 42 Risk %0.1

Yaş > 42 – Çarpıntı Yok – Göğüs Ağrısı Var Risk %1.9

Yaş>42 – Çarpıntı Yok – Göğüs Ağrısı Yok Risk %0.2

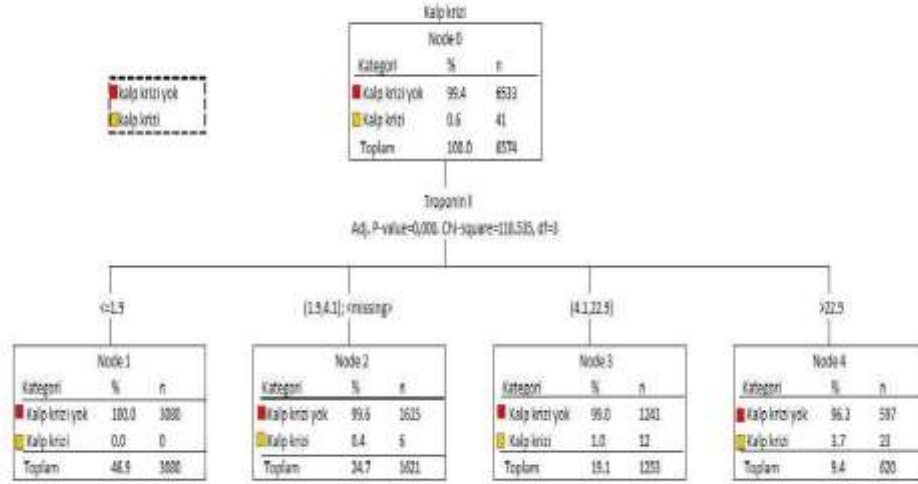
Yaş>42 – Çarpıntı Var – Kadın Risk %0.0

Yaş>42 – Çarpıntı Var – Erkek Risk %0.6

B. 2. Kan tahlili sonuçlarına göre karar ağacı modellemesi

Bir başka karar ağacı modelleme çalışmasında ise modele bağımlı değişken kalp krizi, bağımsız değişkenlere ise hastaların tüm kan tahlili sonuçları dahil edilmiştir. Modele dahil olan değişkenler tüm kan tahlili sonuçları arasından Troponin I olarak bulunmuştur.

Bu modele göre en önemli faktör Troponin I'dır. Çalışma grubunda bulunan hastalardan Troponin I değeri 1.9 ve altında olanların hiç biri (%0) kalp krizi geçirmemiştir. Troponin I değeri 1.9 ile 4.1 arasında olanlardan kalp krizi geçiren 6 (%0.4) hasta bulunmaktadır. Troponin I değeri 4.1 ile 22.9 arasında olanlardan kalp krizi geçiren 12 (%1.0) hasta bulunmaktadır. Troponin I değeri 22.9 ve üzerinde olanlarda kalp krizi geçiren 23 (%3.7) hasta bulunmaktadır. Troponin I değeri arttıkça kalp krizi geçirme riski de artmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Karar ağacı analizi 2.

Karar Destek Sistemi

Troponin≤1.9 Risk %0.0

1.9<Troponin≤4.1 Risk %0.4

4.1<Troponin≤22.9 Risk %1.0

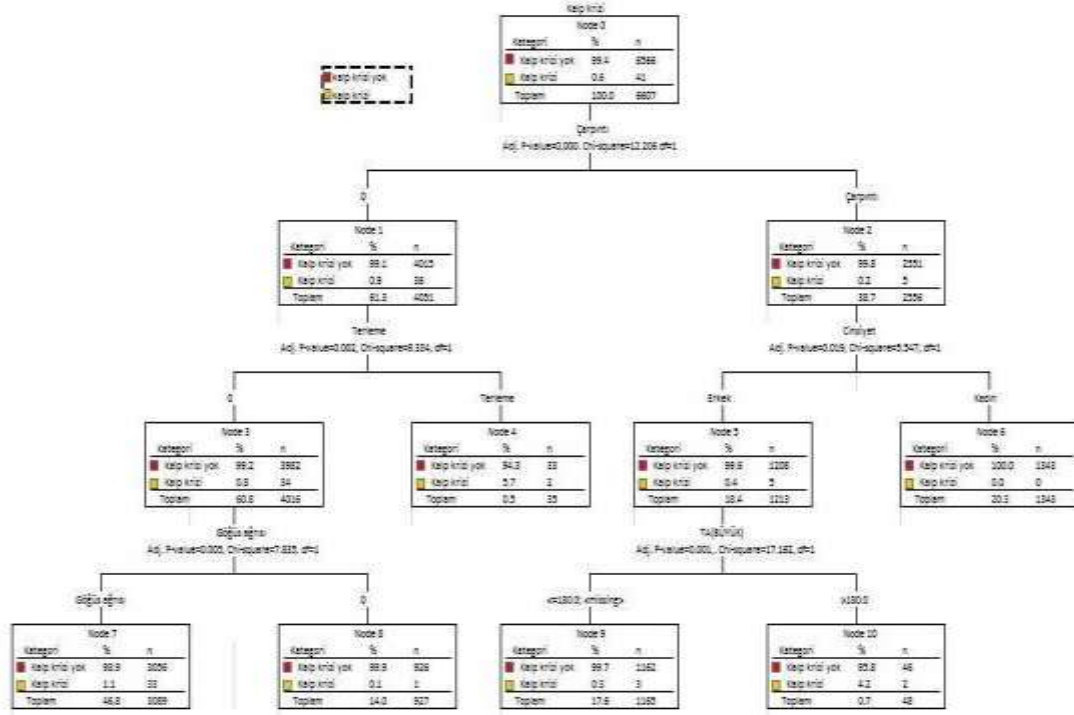
Troponin>22.9 Risk %3.7

B. 3. Cinsiyet, Tüm Hasta Şikayet ve Muayene Bulgularına Göre Karar Ağacı Modellemesi

Yapılan bir diğer karar ağacı istatistiksel analizinde, modele bağımlı değişken kalp krizi bağımsız değişkenler olarak cinsiyet, tüm hasta şikayet ve muayene bulguları olarak eklenmiştir. Modele dahil olan bağımsız değişkenler ise cinsiyet, tüm hasta şikayetleri arasından çarpıntı, terleme, göğüs ağrısı ile muayene bulgularından büyük tansiyon olarak çıkmıştır. Bu modele göre kalp krizi üzerinde en önemli etken çarpıntı şikayeti'dir. Çalışma grubundaki hastalardan çarpıntı şikayeti olanlarda kalp krizi geçirenlerin oranı %0.2 iken çarpıntı şikayeti olmayanlarda bu oran %0.9'dur.

Kalp krizi üzerinde ikinci derecede önemli etkenlerden biri terleme değeridir ise cinsiyettir. Çarpıntısı olmayan hastalarda terlemesi olanlarda kalp krizi geçirme oranı %5.7 iken terlemesi olmayanlarda bu oran %0.8'e düşmektedir. Çarpıntısı olan erkek hastalarda kalp krizi geçirme oranı %0.4 iken, kadın hastalarda bu oran %0.0'dir.

Kalp krizi üzerinde üçüncü derecede önemli etkenlerden biri göğüs ağrısı değeri ise büyük tansiyondur. Çarpıntısı ve terlemesi olmayan hastalardan göğüs ağrısı olanlarda kalp krizi oranı %1.1 iken göğüs ağrısı olmayanlarda bu oran %0.1'dir. Çarpıntısı olan erkek hastalarda büyük tansiyon 180 ve daha az olanlarda kalp krizi oranı %0.3 iken bu oran büyük tansiyonu 180'den fazla olanlarda %4.2'ye yükselmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Karar ağacı analizi 3.

Karar Destek Sistemi

Çarpıntı yok – Terleme Var Risk %5.7

Çarpıntı Var – Kadın Risk %0.0

Çarpıntı Var – Erkek – Tansiyon<=180 Risk %0.3

Çarpıntı Var – Erkek – Tansiyon>180 Risk %4.2

Çarpıntı Yok – Terleme Yok – Göğüs Ağrısı Yok Risk %0.1

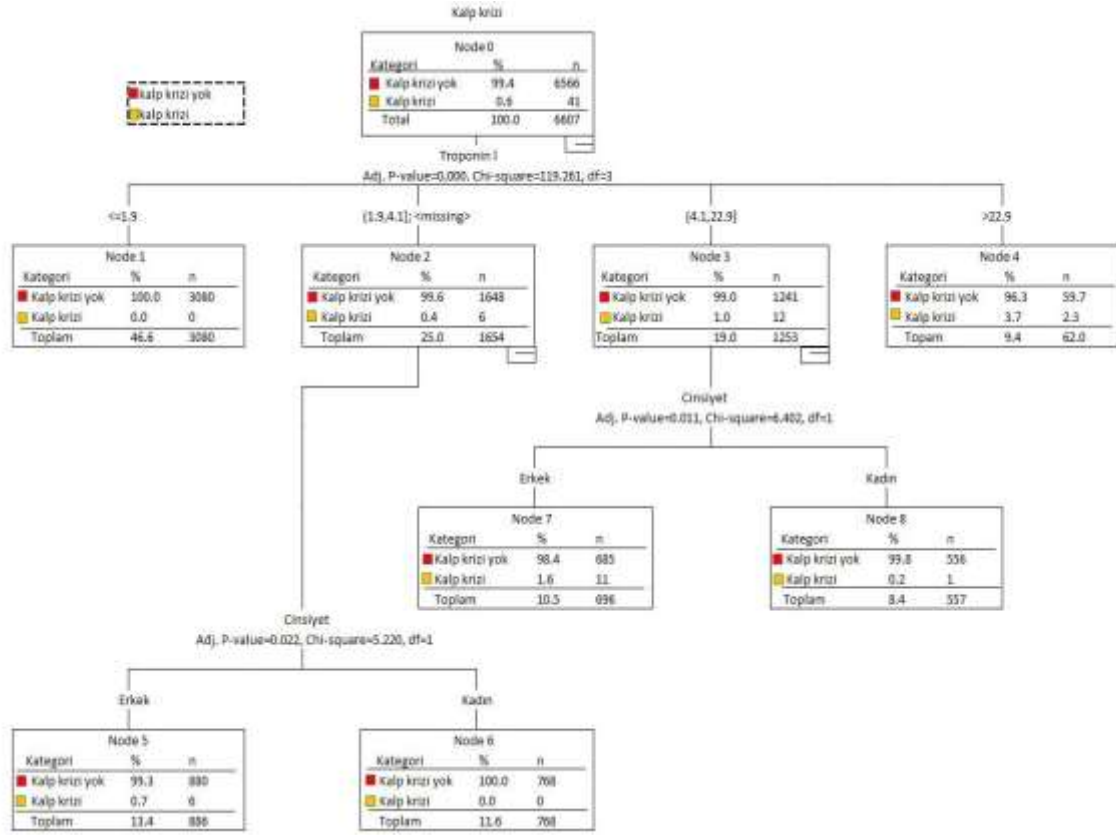
Çarpıntı Yok – Terleme Yok – Göğüs Ağrısı Var Risk %1.1

B. 4. Cinsiyet, Tüm Kan Tahlili Sonuçları, Hasta Şikayet ve Muayene Bulgularına Göre Karar Ağacı Modellemesi

Son olarak yaptığımız karar ağacı istatistiksel analizinde, modele bağımlı değişken kalp krizi bağımsız değişkenler cinsiyet, tüm kan tahlili sonuçları, hasta şikayet ve muayene bulguları olarak belirlenmiştir. Modele dahil olan değişkenler ise cinsiyet ile tüm kan tahlili sonuçları arasından Troponin I çıkmıştır. Bu modele göre de en önemli faktör Troponin I değeri olduğu görülmüştür. Çalışma grubundaki hastalardan Troponin I değeri 1.9 ve altında olanlarda kalp krizi geçirme oranı %0'dır. Troponin I değeri 1.9 ile 4.1 arasında olan hastalarda kalp krizi geçirme oranı %0.4, Troponin I değeri 4.1 ile 22.9 arasında

olan hastalarda kalp krizi geçirme oranı %1.0, Troponin I değeri 22.9 üzerinde olan hastalarda ise kalp krizi geçirme oranı %3.7'dir.

Kalp krizi üzerinde ikinci önemli faktör ise cinsiyettir. Troponin I değeri 1.9 ile 4.1 arasında olan erkek hastalarda kalp krizi geçirme oranı %0.7 iken, kadın hastalarda bu oran %0.0'dır. Troponin I değeri 4.1 ile 22.9 arasında olan erkek hastalarda kalp krizi geçirme oranı %1.6 iken, kadın hastalarda bu oran %0.2'ye düşmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Karar ağacı analizi 4.

Karar Destek Sistemi

Troponin<=1.9 Risk %0.0

1.9<Troponin<=4.1 – Erkek %0.7

1.9<Troponin<=4.1 – Kadın %0.0

4.1<Troponin<=22.9 – Erkek %1.6

4.1<Troponin<=22.9 – Kadın %0.2

Troponin>22.9 Risk %3.7

İstatistiksel analize göre literatüre uygun olarak sonuçlar korelasyon göstermekle birlikte üzerinde durulması gereken farklı sonuçlar da elde edilmiştir. Çalışmanın tüm istatistiksel bulguları değerlendirildiğinde; ki-kare bağımsızlık testi ile hastaların ön muayenede belirttiği şikayetler ile kalp krizi ve cinsiyete göre bağımlılığı incelendiğinde; öncelikle kalp krizi ile göğüs ağrısı, çarpıntı, terleme ve nefes darlığı şikayetlerinin bağımlı olduğu belirlenmiştir. Buna göre; beklenildiği gibi kalp krizi geçiren hastalarda göğüs ağrısı şikayeti %97.6 iken kalp krizi geçirmeyen hastalarda bu oran %85.2'ye düşmektedir. Kalp krizi geçiren hastalarda çarpıntı şikayeti %12.2 iken kalp krizi geçirmeyen hastaların çarpıntı hissetmesi beklenilenin aksine %38.9'a yükselmiştir. Bir diğer bağımlı değişken ise hastalarda

terleme olmasıdır. Kalp krizi geçirmeyen hastalarda terleme şikayeti %0.9 iken bu oran kalp krizi geçiren hastalarda %4.9'a yükselmiştir. Son olarak bir diğer bağımlı şikayetin nefes darlığı olduğu gözlemlenmiş, kalp krizi geçirmeyen hastalarda nefes darlığı oranı %7.6 iken kalp krizi geçiren hastaların hiç birinde nefes darlığı şikayeti gözlemlenmemiştir.

Ayrıca cinsiyet ile hastaların ön muayenede belirttiği şikayetlerin değerlendirilmesi yapıldığında ise, bu şikayetlerden karın ağrısı, çarpıntı, sırt ağrısı, baş dönmesi, halsizlik, nefes darlığı, bulantı ve kusma şikayetleri ile cinsiyetin bağımlı olduğu görülmüştür. Buna göre; karın ağrısı şikayeti erkeklerde %6.9 iken kadınlarda %9.3'dür. Kadınlarda çarpıntı şikayeti %40.7 iken erkeklerde bu oran %36.6'dır. Cinsiyet ve ön muayenede belirtilen şikayetlere bağımlı diğer bir etken ise sırt ağrısıdır. Erkeklerde sırt ağrısı oranı %4.8 iken kadınlarda bu oran %6.5'e yükselmektedir. Baş dönmesi şikayeti ise kadınlarda %4.2 iken erkeklerde %3.4'e düşmektedir. Bir diğer şikayet halsizlik ise erkeklerde %5.0 iken kadınlarda bu oran %6.0'ya yükselmektedir. Bir diğer önemli şikayet olan nefes darlığı ise kadınlarda %8.3, erkeklerde ise %6.9'dur. Erkeklerde bulantı oranı %6.0 iken kadınlarda bu oran %10.9'a yükselmektedir. Kusma ise erkeklerde %5.5 iken kadınlarda %8.9'a yükselmektedir. Genel itibari ile kadınların belirttiği şikayetler erkeklere oranla daha fazladır.

Karar ağacı modellenmesinde, modele bağımlı değişken sadece kalp krizi olarak seçilirken bağımsız değişkenler olarak yaş, cinsiyet, kan tahlili sonuçları, hasta şikayet ve muayene bulguları eklenerek 4 farklı modelde incelenmiştir ve bu incelemelerin sonucunda yaş, çarpıntı, terleme, cinsiyet, göğüs ağrısı, diyastolik arter basıncı ve Troponin I'nın önemli olduğu saptanmıştır. Buna göre veri analizi sonuçları değerlendirildiğinde; risk faktörlerinden birinin cinsiyet olduğu görülmektedir. Erkekler, kadınlardan daha erken ve daha sık olarak bu hastalığa yakalandığı literatürde de belirtilmektedir [18]. Yapılan bu çalışmada tüm veri karar ağacı analizleri değerlendirildiğinde de erkeklerin kadınlara göre kalp krizi geçirme ihtimalinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Veri analizi sonuçları incelenmesine göre bir diğer risk faktörünün de yaş olduğu görülmüştür. Literatürde 40 yaşından 60 yaşına kadar kalp krizi görülme oranında 5 kattan fazla artış olduğu dikkat çekmektedir [19]. Bizim analizimizde de 42 yaşın üzerinde olan hastaların kalp krizi geçirme ihtimali 42 yaşın altında olan hastalara göre 10 kat daha fazladır. 42 yaş üzerinde bulunup kalp krizi geçiren hastalarda önemli bir etken faktör ise çarpıntı şikayetidir. Buna göre bu hastaların çarpıntı şikayeti olmayan hastalarda kalp krizi ihtimali çarpıntı şikayeti olanlara göre yaklaşık 5 kat daha fazladır.

Bir diğer analiz sonucu ise göğüs ağrısıdır. 2012 yılında Özen ve ark.'larının yaptığı çalışmaya göre kalp krizi ile acil servise başvuran hastaların %72.6'sının göğüs ağrısı şikayetinin olduğu belirtilmiştir [20]. Çalışma grubundaki kalp krizi şikayetiyle hastaneye başvuran hastalardan 42 yaş üzerinde olup çarpıntı şikayeti olmayıp göğüs ağrısı şikayeti olanlarda göğüs ağrısı şikayeti olmayanlara göre kalp krizi geçirme ihtimali yaklaşık 6 kat daha fazladır.

Diğer karar ağacı istatistiksel analizde de en önemli faktör Troponin I'olarak belirlenmiştir. Çalışma grubunda bulunan hastalardan Troponin I değeri 1.9 ve altında olanların hiçbiri kalp krizi geçirmemiştir. Troponin I değeri 4.1 ile 22.9 arasında olanlardan kalp krizi geçirenler, Troponin I değeri 1.9 ile 4.1 arasında olanlardan 2 kat daha fazladır. Troponin I değeri 22.9 ve üzerinde olanlardan kalp krizi geçirenler Troponin I değeri 4.1 ile 22.9 arasında olanlardan yaklaşık 4 kat daha fazladır. Buna göre, çalışmanın yapıldığı hastanede kullanılan cihazın referans Troponin I değeri 0 ile 40 arası iken yapılan istatistiksel analizler sonucunda Troponin I değeri 22.9 ve üzerinde olan hastalarda kalp krizi geçirme ihtimalinin daha fazla olduğu sonucu çıkarılmıştır. Kalp krizi geçiren ve Troponin I değeri 1.9 ile 4.1 arasında olan hastaların hepsi erkektir. Kalp krizi geçiren ve Troponin I değeri 4.1 ile 22.9 arasında olan erkek hastaların kadın hastalardan 7 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. İlk yapılan analizde de görüldüğü gibi bu analizde de kalp krizi geçirme olasılığının erkeklerin kadınlardan daha fazla olduğu saptanmıştır.

Çalışmamızda yaptığımız diğer bir karar ağacı modellenmesinde en önemli değişken çarpıntı şikayetidir. Bilindiği üzere kalp damar hastalıklarının en temel belirtilerinden biri de çarpıntıdır [21]. Fakat çalışma grubundaki hastalardan kalp krizi geçirenlerden çarpıntı şikayeti olmayanlar, çarpıntı şikayeti olanlardan yaklaşık 5 kat daha fazladır. Bu sonuç bize çalışma grubundaki kalp krizi geçiren hastaların

acil servise başvurdularında çarpıntı şikayetlerinden bahsetmemiş olabileceklerini düşündürmektedir. Ayrıca, kalp krizi geçiren hastalardan çarpıntı şikayeti olanların hepsi erkektir. Kalp krizi geçiren hastalardan çarpıntı şikayeti olan erkek hastaların diyastolik arteriyel kan basınçları 180 mmHg üzeri olanlar, 180 mmHg ve altı olanlardan 14 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu sonuç bize diyastolik arteriyel tansiyonu 180 mmHg üzeri olanların kalp krizi geçirme ihtimalinin daha fazla olduğunu göstermiştir.

IV. SONUC

Türk Kardiyoloji Derneği verilerine göre, Türkiye'de yaklaşık 3.5 milyon koroner kalp hastası bulunduğu ve her yıl %4 artış ile 200-210 bin yeni olgu eklendiği belirtilmektedir. Bir yıl içinde kalp krizi geçirenlerden 100 bin kişi yaşamını yitirmektedir. Kalp krizi DSÖ tarafından yapılan tanıma göre tipik göğüs ağrısı, serumda artmış CK-MB konsantrasyonu ve patolojik Q dalgalarını içeren tipik EKG bulgularından en az ikisinin olması durumu olarak tanımlanmaktadır [22]. Akut kalp krizinden ölümlerin çoğu, medikal tedaviye başlanmadan gelişse de hastane içi mortalite 1950-1960 yıllarında %30-35 oranında iken günümüzde akut kalp krizinin hastane mortalitesi %5-7 civarına indiği görülmektedir. Bunun başlıca nedeni biyokimyasal belirteç kontrollerinin gelişen teknoloji ile artması ve tanı sistemlerinin gelişmesidir. Ancak bu belirteçlerin referans aralığının kontrolü de önemlidir. Çünkü günümüze kadar pek çok hastalığın referans değerlerinin yıllara ya da farklı faktörlere göre farklılıklar gösterdiği bilinmektedir [23]. Buna paralel olarak; Troponin I değeri hastane laboratuvarı cihazlarının referans değeri 0 ile 40 arasında olmasına karşın yapılan çalışma sonucu kritik değerin 22.9 olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre belirli periyotlarla hastane laboratuvarlarında kullanılan cihazların referans değerlerinin kontrol edilip düzenlenmesi önerilmektedir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, kalp krizi ile göğüs ağrısı, çarpıntı, terleme ve nefes darlığı şikayetlerinin bağımlı olduğu belirlenirken; cinsiyete göre de karın ağrısı, çarpıntı, sırt ağrısı, baş dönmesi, halsizlik, nefes darlığı, bulantı ve kusma şikayetlerinin bağımlı olduğu görülmüştür. Karar ağacı modellemesinde ise, 4 farklı modelde incelemeler sonucunda yaş, çarpıntı, terleme, cinsiyet, göğüs ağrısı, diyastolik arter basıncı ve Troponin I'nın önemli olduğu saptanmıştır. Oluşturulan 4 farklı karar destek sistemi sayesinde, hekimlerin acile gelenlerdeki ilk bulgulara göre kalp krizi geçirme riskini karar destek sistemleri vasıtasıyla belirleyebilmeleri sağlanmaktadır. Bu gibi çalışmaların artırılarak gelecekte yapay zeka içeren programlar ile entegre edilmesi ve acil servislerdeki yoğunlukların azaltılması hedeflenmektedir.

Çalışma grubumuzdaki kalp krizi geçiren hastalardan çarpıntı şikayeti olmayanlardan terleme şikayeti de olmayan hastalar, terleme şikayeti olan hastalardan 7 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kalp krizi geçiren hastalardan çarpıntı ve terleme şikayeti olmayıp göğüs ağrısı şikayeti olan hastalar göğüs ağrısı şikayeti olmayan hastalardan 10 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Kalp damar hastalıklarının en temel belirtileri arasında hiç şüphesiz terleme şikayeti de bulunmaktadır. Fakat yapılan istatistiksel analiz sonucunda acil servise kalp krizi ile başvuran hastaların terleme şikayetlerinden bahsetmemiş olabilecekleri düşünülmektedir.

Sonuç olarak yapılan çalışmada, kalp krizi şüphesiyle acil servise farklı şikayeti ile başvuran hastalardan kadın ve erkek hasta sayıları yaklaşık olarak eşittir. Fakat, kalp krizi geçirenler arasında erkek hasta sayısı daha fazladır. Ayrıca çalışma sonucunda riskli yaş grubunun 42 ve üzeri olduğu saptanmıştır.

Kalp krizi şüphesiyle acil servise göğüs ağrısı şikayeti ile başvuran hasta sayısı 6607 olmasına rağmen kalp krizi geçiren hasta sayısı 41'dir. Kalp krizi şüphesi ile hastaneye başvuran bu kadar hasta olmasına rağmen sadece 41 hastanın kalp krizi geçirmiş olması oldukça düşündürücüdür. Sayının az olması kişilerin gereksiz panik yaptıklarını ya da acil servislerin gereksiz yere meşgul edilmesi ile ilintili olabileceğini düşündürmektedir.

Çalışma süresince hastane bilgi sisteminden çekilen veri dosyasının istatistiksel analizler yapılması için uygun olmadığı tespit edilmiştir. Hasta verilerinin belirli bir düzenle hastane bilgi sistemine girişlerinin yapılması daha sonra yapılacak olan araştırmalar için uygun olacağı düşünülmekte ve önerilmektedir.

Hastane Bilgi Sistemi'nden çekilen veri dosyamızda kalp krizini etkileyen önemli faktörlerden olan sigara, diyabet ve aile öyküsü bilgileri bulunmadığından, bu verilerle herhangi bir istatistiksel analiz yapılamamıştır. Bu gibi verilerin de hastanelerin acil servislerinde sisteme girişlerinin yapılması daha güvenilir istatistiksel analizler yapılması için önemlidir. Son olarak hastaların acil servislerde belirttiği şikayetlerin standardize edilerek yazılımsal bir program oluşturulmasının acil servis hekimlerine fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] C. J. McAloon, L. M. Boylan, T. Hamborg, N. Stallard, F. Osman, P. B. Lim and S. A. Hayat, "The changing face of cardiovascular disease 2000-2012: An analysis of the world health organisation global health estimates data," *International Journal of Cardiology*. vol. 1, no. 224, pp. 256-264, 2016.
- [2] F. Bulut, "Heart Attack Risk Detection Using Bagging Classifier," *24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), Zonguldak*, 2016.
- [3] A. B. Storrow and W.B. Gibler, "Chest Pain Centers: Diagnosis of Acute Coronary Syndromes," *Annals of Emergency Medicine*, vol., 35, no. 5, pp. 449-461, 2000.
- [4] İ. Buçan, "Kalp Krizi Karar Destek Sistemi," *Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, 2017.
- [5] İ. B. Kırkkebir, T. Kurt, "Hemşirelik Bilişimi ve Karar Verme Sürecinde Klinik Karar Destek Sistemlerinin Önemi," *Hemşirelik Bilimi Dergisi*, c.3,s.3,ss. 28-31, 2020.
- [6] F. Temoçin, H. Köse, A. A. Sürel, "Enfeksiyon kontrol önlemlerine ilişkin klinik karar destek sistemlerinin hazırlanması ve etkililiğın değerlendirilmesi," *Journal of Health Sciences and Medicine*, c.2, s.2, ss.54-57, 2019.
- [7] M. Özata, Ş. Aslan, "Klinik karar destek sistemleri ve örnek uygulamalar," *Kocatepe Tıp Dergisi*, c.5, s.2, ss. 11-17, 2004.
- [8] P. S. Roshanov, S. Misra, H. C. Gerstein, A. X. Garg, R. J. Sebaltd, J. A. Mackay, L. Weise-Kelly, T. Navarro, N. L. Wilczynski and R. B. Haynes, "Computerized clinical decision support systems for chronic disease management: A decision-maker-researcher partnership systematic review," *Roshanov et al. Implementation Science*, vol.6, no.92, 2011.
- [9] S. U. Amin, K. Agarwal and R. Beg, "Data Mining in Clinical Decision Support Systems for Diagnosis, Prediction and Treatment of Heart Disease," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)* vol.2, no.1, 2013.
- [10] S. Safdar, S. Zafar, N. Zafar and N. F. Naurin. "Machine learning based decision support systems (DSS) for heart disease diagnosis: a review," *Artificial Intelligence Review*. vol50, pp.597-623, 2018.
- [11] R. Das, I. Turkoglu and A. Sengur, "Effective diagnosis of heart disease through neural networks ensembles." *Expert Systems with Applications*, Elsevier, no.36 pp.7675- 7680 2009.

- [12] K. Srinivas, B. K. Rani and A. Govrdhan, "Applications of Data Mining Techniques in Healthcare and Prediction of Heart Attacks." *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, vol.2, no.2, pp.250-255, 2010.
- [13] V. A. Sitar-Taut, et al., "Using machine learning algorithms in cardiovascular disease risk evaluation." *Journal of Applied Computer Science & Mathematics*, 2009.
- [14] M. Kartal, "Hipotez Testleri," *Erzurum: Şafak Yayınevi*, 103, 1998.
- [15] Ö. Serper, "Uygulamalı İstatistik," *Bursa: Ezgi*, 147-148, 2000.
- [16] Y. Z. Ayık, A. Özdemir ve U. Yavuz, "Lise Türü ve Lise Mezuniyet Başarısının, Kazanılan Fakülte ile İlişkisinin Veri Madenciliği Tekniği ile Analizi," *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c.10, s.2, 2007.
- [17] S. R. Safavian and D. Landgrebe, "A survey of decision tree classifier methodology," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 21, no. 3, pp. 660-674, 1991.
- [18] E. H. Awtry and J. Loscalzo, "Koroner Kalp Hastalığı," T.E. Andreoli, C.C.J. Carpenter, R.C. Griggs, J. Loscalzo, editors. Çeviri Editörü: Çavuşoğlu H. Cecil *Essentials of Medicine* Türkçesi. Beşinci Edisyon. Philadelphia: WB Saunders, 79, 2001.
- [19] G. Akyol, "Kan Damarları," S.L. Robbins, R.S. Cotran, V. Kumar, editors. Çeviri Editörü: U. Çevikbaş, *Basic pathology, Temel patoloji*. Altıncı Edisyon. Philadelphia: WB Saunders, 284-8, 2000.
- [20] M. Özen, M. Serinken, A. Yılmaz, Ş. Özen, "Acil Servise Başvuran Akut Koroner Sendrom Tanılı Hastaların Sosyodemografik ve Klinik Özellikleri," *Türkiye Acil Tıp Dergisi*, c. 12, s. 3, ss. 117-12, 2012.
- [21] M. Güçlü, M. Sağlam, D. İnal İnce, S. Savcı ve H. Arıkan, "Kalp Damar Hastalıkları ve Egzersiz," *Ankara, Sağlık Bakanlığı Yayın No: 730*, 2008.
- [22] M. A. DeWood, W. F. Stifter, C. S. Simpson, J. Spores, G. S. Eugster, T. P. Judge and M. L. Hinnen, "Coronary arteriographic findings soon after non-Q-wave myocardial infarction," *New England Journal of Medicine*. vol. 315, pp. 417-423, 1986.
- [23] S. Akbayır, Ş. Balcı Fidancı, F. Şen, A. Yurtsever Bakır, G. Orekici Temel, N. Ünal ve L. Tamer Gümüş, "Mersin Bölgesinde Homosistein, Vitamin A ve Vitamin E Düzeylerine Ait Referans Aralıklarının Belirlenmesi," *Mersin Univ Sağlık Bilim Derg*, c. 4, s. 1, ss. 7-11, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bi-2223 Süperiletken Seramiklerde Peletizasyon Basıncının Yapısal, Elektriksel ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi

Emre KARA^a, Muhsin Uğur DOĞAN^a, Şenol KAYA^c, Rifki TERZİOĞLU^{a,*}, Gürcan Yıldırım^d, Cabir TERZİOĞLU^e

^a Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

^b Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Mehmet Tanrıku Sağlık Hizmetleri MYO Enstitüsü, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

^c Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

^d Fizik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: rifkiterzioglu@ibu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1080267

ÖZ

Bu çalışmada Bi-2223 tozlar farklı peletizasyon basınç değerleri ile külçe formuna getirilmiş ardından külçeler 840°C'de 36 saat tavlansmıştır. Basıncın Bi-2223 külçelerin yapısal, mekanik ve elektriksel özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Yapısal analizlerin değerlendirilmesi için X-ışını Kırınımı (XRD) spektroskopisi ölçümleri kullanılmıştır. Mekanik analizler için oda sıcaklığında Vickers Mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Elektriksel analizlerde ise dört kontak I-V ölçümleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Bi-2223 kristal faz yoğunluğunun, sertlik değerinin ve elektrik taşıma kapasitesinin basınca ciddi bir şekilde bağlı olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, basıncın artması ile sertlik değerlerinin kristal yapıdaki faz geçişlerine ve yüzey artı basınç gerilim bölgelerinin artışına bağlı olarak yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, hesaplanan elastisite modülü ve akma dayanımı gibi genel mekanik performans değerlerinin basınca bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu kristal yapıda hali hazırda var olan kovalent ve özellikle iyonik bağ kuvvetlerinin artmasının sonucu olabilir. Bununla birlikte, numunelerin plato limit bölgelerinde yükten bağımsız mikrosertlik değerleri Meyer yasası, Orantılı Numune Direnç (OND) ve Indentation Induced Cracking (IIC) yöntemleri ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda IIC modelin gerçek mikrosertlik değerlerini incelemede daha başarılı olduğu bulunmuştur. Kritik akımın uygulanan basıncın artması ile düştüğü gözlemlenmiştir. Örneklerin yoğunlukları Arşimet yasası kullanılarak ölçülmüştür. Teknolojik kullanım alanına bağlı olarak külçe Bi-2223 örneklerin üretiminde uygulanması gereken optimum basınç değeri detaylarıyla tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bi-2223, Vickers Mikrosertlik, Basınç etkisi

The Effect of Pelletization Pressure on Structural, Electrical, and Mechanical Properties of Bi-2223 Superconducting Ceramics

ABSTRACT

In this present work, Bi-2223 powders were used to fabricate the bulk form via various pelletization pressures and then bulks were annealed at 840 °C for 36 hours. The effects of pressure on the structural, mechanical and electrical characteristics of Bi-2223 bulks were investigated. X-ray Diffraction (XRD) spectroscopy measurements were used to evaluate the structural analysis. Vickers Microhardness measurements were

2107

performed at room temperature for mechanical analysis. Four contact I-V measurements were used in evolution of electrical analysis. Considering to the obtained results, it was observed that the relative ratio of the Bi-2223 crystalline phase, the hardness value and the electrical carrying capacity were strictly dependent on the pressure. In this context, it has been determined that with the increase of pressure, the hardness values increase depending on the phase transitions in the crystal structure and the rise in the surface residual pressure stress regions. In addition, it has been observed that the overall mechanical performances such as the calculated modulus of elasticity and yield strength increase with the pressure. This finding may be the result of improved covalent and especially ionic bond strengths already present in the crystal structure. Also, load-independent microhardness values at plato regime of the samples were analyzed through the Meyer's law, Proportional Sample Resistance (PSR), and Indentation Induced Cracking (IIC) model. The ICC was found to be more effective in determination of the real microhardness values. The decline on the critical current was also observed with increasing the pressure. Densities of the samples were calculated through the Archimedes' law. The optimum pressure value to be applied in the fabrication of bulk Bi-2223 samples, depending on the technological usage field, is discussed in detail.

Keywords: Bi-2223, Vickers Microhardness, Pressure effect

I. GİRİŞ

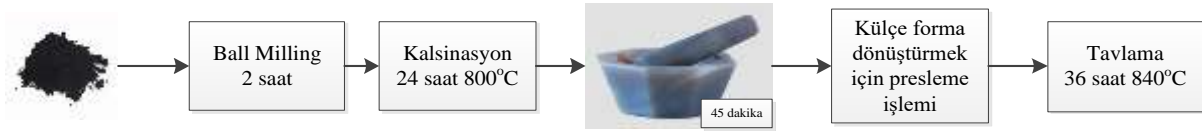
Süperiletkenler doğru akıma sıfır direnç gösterme ve belirli şartlarda üzerlerine uygulanan manyetik alana mükemmel diyamanyetik özellik sergilemeleri gibi geleneksel malzemelerde bulunmayan eşsiz özelliklere sahiptirler [1]. Ancak belirli bir sıcaklık altına soğutulma gereksinimleri, taşıyabildikleri akım ve dışlayabildikleri manyetik alanların sınırlı olması uygulamalarda geleneksel ekipmanların yerini almakta güçlük yaşamalarına sebep olmuştur. Süperiletkenlerin bilimde [2], [3], güç sistemlerinde [4], [5], ve medikal alanlarda [6], [7] daha fazla uygulama alanı bulmaları seramik bazlı Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerin (YSS) keşfi ile gerçekleşmiştir [8]. YSS'lerin kullanımının daha da artması ve geleneksel iletkenlerin yerini alabilmesi için bilim insanları YSS'lerin kritik sıcaklıklarını (T_c) ve kritik akım yoğunluklarını (J_c) geliştirmek adına birçok çalışma yapmışlardır [9]–[11]. Basınç ve katkılama işlemleri YSS'lerin T_c ve J_c değerlerini yükseltmek için kullanılan en yaygın ve etkili yöntemlerdir.

Sen ve arkadaşları, Bi-2212 ve Bi-2223 örneklerine farklı peletizasyon basınçları uygulanmış ve en iyi süperiletkenlik özellikleri Bi-2212 fazı için 600 MPa, Bi-2223 fazı için ise 400 MPa basınç ile üretilen örneklerde gözlemlemiştir [12]. Tepe ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, Bi-2223 seramiklerine son presleme aşamasında 100-500 MPa değerleri arasında basınç uygulanarak seramiklerin yapısal ve elektriksel özellikleri incelenmiş olup 400 MPa basınç altında üretilen örneklerde akım taşıma kapasitelerinin geliştiği gözlemlenmiştir [13]. Kocabaş ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, normal ve Ag katkılı Bi-2223 seramiklerin süperiletkenlik özellikleri 150, 300, 450, 600 ve 750 MPa basınç değerleri uygulanarak hazırlanan örnekler için incelenmiş olup en iyi süperiletkenlik özelliklerin 450 MPa basınç değeri ile üretilen örneklerde olduğu gösterilmiştir [14]. Marconi ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, Ba katkılı Bi-2223 seramiklerin yapısında farklı sıcaklıklardaki sinterleme öncesi presleme için 196 ve 392 MPa basınç değerlerini uygulayarak örneklerin süperiletkenlik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmada daha yüksek basınç ve daha yüksek sinterleme sıcaklığı ile Bi-2223 yüksek sıcaklık faz yoğunluğunun arttığı görülmektedir [15]. Habanjar ve arkadaşları, Bi-2223 seramikleri kalsinasyon işlemi öncesi 300-1900 MPa basınç değerleri arasında peletizasyon işlemine tabii tuttular ve en iyi numunenin 1400 MPa üretildiğini belirttiler [16]. Abdulridha ve arkadaşları, Tungsten katkılı Bi-2223 seramiklerin 200-1000 MPa basınç değerleri arasında pelet haline getirmişler ve en iyi özelliklere sahip numunenin 400 MPa'da üretilen numune olduğunu göstermişlerdir [17].

Bu çalışmanın amacı farklı peletizasyon basınç değerleri ile üretilen külçe Pb katkılı Bi-2223 seramiklerin yapısal, mekanik ve elektriksel özelliklerini karşılaştırarak numune üretiminde optimum basınç değerini tespit etmektir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada örneklerin hazırlanması için %99.9 yüksek saflıkta ticari Kurşun katkılı Bizmut Kalsiyum Stronsiyum Bakır Oksit (BPSCCO) (ALFA AESAR) tozları kullanıldı. $\text{Bi}_{1.8}\text{Pb}_{0.4}\text{Ca}_{2.2}\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Bi-2223 fazlı) nominal bileşimine sahip polikristal numuneler, standart katı hal reaksiyon yöntemleri ile hazırlandı. Öncelikle yüksek saflıktaki toz 20 farklı boyutta seramik bilye ile cam bir kaba konuldu, 2 saat boyunca bilyeli öğütme (ball milling) yapılarak karıştırıldı ve öğütüldü. Öğütme işleminden sonra homojen toz 800°C 'de 24 saat kalsinasyon işlemine tabi tutuldu. Kalsine edilen toz bir akik havanda 45 dakika boyunca iyice öğütüldükten sonra numunelerin sıkıştırılması için 25mm x 4mm boyutunda kalıp kullanıldı. Kalıptaki tozlar oda sıcaklığında 25 ton kapasiteli SPECAC (Model GS25011) hidrolik baskı kullanılarak farklı sıkıştırma basınçlarında (2.5, 5, 10 Ton, 3 dakika boyunca) dikdörtgen külçe seramikler haline getirildi. Son olarak preslenen numuneler, faz oluşumu için PROTHERM (Model PTF 12/75/200) programlanabilir kül fırını kullanılarak 840°C sıcaklıkta 36 saat $5^\circ\text{C}/\text{dk}$ ısıtma hızında ve $5^\circ\text{C}/\text{dk}$ soğutma hızında tavlandı. Örneklerin hazırlanış prosedürleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Buradan sonra 2.5 ton ile preslenen numune *P1*, 5.0 ton ile preslenen numune *P2* ve 10 ton ile preslenen numune *P3* olarak adlandırılmıştır. Numunelere uygulanan basıncın temas ettiği yüzey 1 cm^2 'dir. Bu sebeple 2.5, 5.0 ve 10 ton sırasıyla 245, 490 ve 980 MPa'a karşılık gelmektedir.



Şekil 1. Numune hazırlanış prosedürü.

Tavlama işlemi ardından oluşan süperiletken ve safsızlık fazlarını saptamak için X-ışını kırınım desenini (XRD) elde etmek gerekir. Bu amaçla XRD ölçümleri Fizik bölümünde yer alan Rigaku difraktometresinde $\text{CuK}\alpha$ X-ışınlarından yararlanılarak $5^\circ \leq 2\theta \leq 65^\circ$ aralığında gerçekleştirildi. Bu çalışmada örneklerin mekanik özelliklerinin tespitinde statik Vickers Mikro-Sertlik yöntemi kullanılmıştır. Ölçümler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Kuvvetler 0.245-2.94 N aralığında 10 saniye süre ile uygulanmıştır. Ölçümlerin doğruluğu için her kuvvet değerindeki ölçüm 3 defa tekrarlanmıştır. Vickers sertliği aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır [18]:

$$H_v = 1.8544 * F / d^2 \quad (1)$$

Burada H_v , MPa cinsinden Vickers sertliği, F (veya P), Newton cinsinden uygulanan kuvvet ve d , μm cinsinden numune üzerine bırakılan izin değeridir. d değeri numune üzerine bırakılan izin iki farklı yerinden ölçülüp ortalaması hesaplanarak alınmıştır. Elastisite modülü (E) ve akma dayanımı (Y) aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır [19], [20]:

$$E = 81.9635 H_v \quad (2)$$

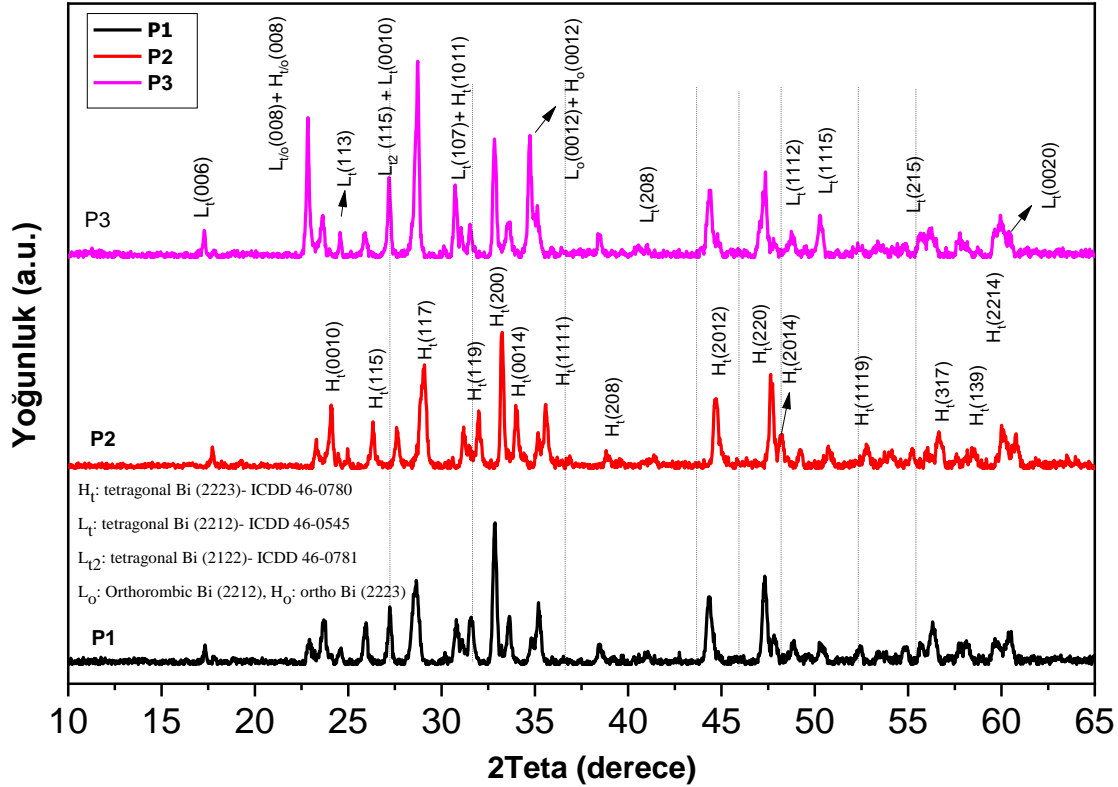
$$Y = H_v \quad (3)$$

Sertlik değerlerinin analizi ve modellenmesinde Meyer yasası, Orantılı Numune Direnç (OND) ve Indentation Induced Cracking (IIC) modelleri kullanılmıştır.

III. DENEYSEL BULGULAR

A. YAPISAL ANALİZ

Üretilen Bi-2223 seramiklerin kristalin mükemmelliğinin yorumlanmasında, örgü parametreleri belirlenmesinde ve kristal yüzlerinin indislenmesinde X-ışını Kırınımı (XRD) spektroskopisi kullanılmıştır. Farklı peletizasyon basıncında üretilen seramiklere ait XRD spektrumları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı peletizasyon basınçlarında üretilen Bi-2223 örneklerine ait XRD ölçümleri.

XRD ölçümünden elde edilen pik değerleri Uluslararası Kırınım Verileri Merkez (ICDD) yazılımı vasıtasıyla analiz edilerek örnekteki farklı süperiletken fazları ve Miller indis değerleri saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, ana fazın tetragonal kristal yapıya Bi-2223 fazı olduğu gözlemlenmiştir. Bi-2223 fazı yanı sıra yapıda bir miktar Bi-2212 fazı ve belirli belirsizde olsa Bi-2122 fazının da yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen verilerin literatürde yer alan BPSCCO seramiklerinin süperiletken fazlarıyla uyumlu olduğu bulunmuştur [21], [22]. Ayrıca, kırınım pik şiddetleri (kristallerin yönelimi) peletizasyon basıncı arttırıldıkça artış göstermiştir. Bu kristal yapının daha düzenli hale geldiğinin göstergesidir. Ancak, peletizasyon basıncının artışı BPSCCO sisteminde istenmeyen Bi-2212 fazlarının oluşumuna pozitif bir etki oluşturduğu ve yapıdaki mevcut Bi-2212 fazlarının pik şiddetlerini orantısal olarak Bi-2223 fazından daha fazla artırdığı görülmüştür. Bi-2212 fazına ait L(008), L(107) ve L(1115) pik şiddetlerindeki belirgin yükseliş bu durumun bir göstergesidir.

Diğer taraftan, ortalama tanecik boyutu (D) üretilen örnekler için literatürden iyi bilinen Debye-Scherrer formülü [23] kullanılarak H(200) pik değerine ait parametreler aracılığıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan D değerleri Tablo 1’de listelenmiştir. Tablodan açıkça görüleceği üzere, peletizasyon basıncının artmasıyla D değeri bir miktar artış göstermesine karşın, basınç en yüksek değere çıktığında D değeri 36.5 nm civarına düşmüştür. Yine de en düşük basınç değerinde üretilen P1 örneğine kıyasla

D değeri artış göstermiştir. Tetragonal kristal yapıya ait örgü parametreleri olan a değeri H(200) piki kullanılarak, c değeri ise Bi-2223 fazının diğer bir karakteristik piki olan H(117) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan a ve c örgü parametrelerinin numerik değerleri Tablo 1’de listelenmiştir. BPSCCO formundaki süperiletken seramiklerde akımın c -parametresi üzerinden taşındığı göz önüne alındığında, c -parametresindeki değişimler önem arz etmektedir. ICDD analiz programından elde edilen referans numuneye ait c -parametresi 37.202 Å olarak belirlenmiştir. Düşük peletizasyon basıncında üretilen P1 örneğinin c -parametresinin ideal değere en yakın olduğu gözükmektedir. Basınç artışıyla beraber P2 ve P3 örneklerindeki c -parametresinde P1 örneğine kıyasla azalma gözükmektedir. Bu azalmanın nedeni yüksek basınçla beraber örgü parametrelerine etki eden sıkıştırma kuvveti olabilir. Hesaplanan c -parametrelerinin literatürle uyumlu olduğu ayrıca gözlemlenmiştir [24], [25]. XRD analizlerinden elde edilen veriler gözetildiğinde P1 örneği düşük miktarda istenmeyen Bi-2212 fazı oluşması ve ideale en yakın c -parametresine sahip olmasıyla önce çıkarken, pik şiddetlerinin yüksekliği nedeniyle P3 örneği öne çıkmaktadır.

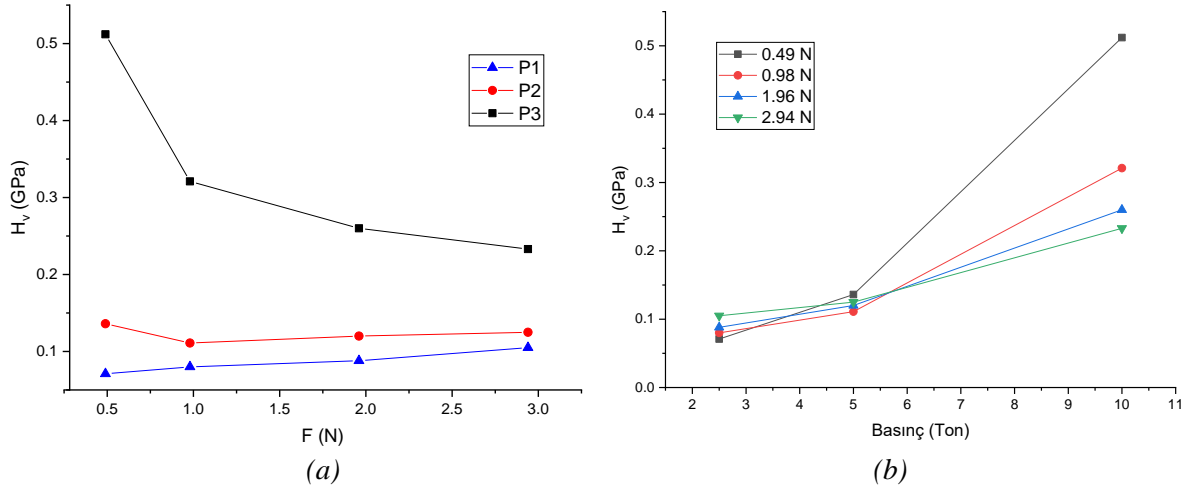
Tablo 1. XRD analizleri sonucunda elde edilen bazı büyüklükler.

Örnek	2θ (200) (Derece)	Tanecik Boyutu (nm)	a değeri (Å)	c değeri (Å)	Bi-2212 Oranı
P1	32.855	34.4	5.446	37.097	Düşük
P2	33.236	40.6	5.384	36.296	Orta
P3	32.846	36.5	5.447	36.691	Yüksek
Ref. (ICDD)	33.078	-	5.409	37.202	-

B. MEKANİK ANALİZ

Vickers mikrosertlik ölçümleri sonucunda elde edilen verilerin Denklem (1)’de yerine konulmasıyla H_v değerleri elde edilmiş olup sonuçlar Şekil 3’te gösterilmiştir. Uygulanan yükün artması ile sertlik değeri artan örneklerin Ters Çentik Boyutu Etkisi (TÇBE), azalan örneklerin ise Çentik Boyutu Etkisi (ÇBE) davranışı gösterdiği bilinmektedir [26], [27]. P1 ve P2 örnekleri yüke karşı fazla değişiklik göstermemiştir. Ölçümlerin 3’er defa tekrarlanması sonucunda P1 ve P2 örneklerinin kısmen TÇBE davranışı gösterdikleri görülmektedir. Bi-2223’ün literatürde ÇBE davranışı gösterdiği bilinse de üretilen örneklerin yeterli preslenmediği (yumuşak olmalarından) ve TÇBE davranışı gösterdikleri görülmüştür (basınç parçacıkların birbirine daha da yaklaşmasına neden olmuştur). P3 örneği ise belirgin bir şekilde ÇBE davranışı göstermektedir. Bu davranış önceden yapılmış çalışmalar ile paralellik göstermektedir [16], [17]. Şekil 3a’da peletizasyon işleminde uygulanan basınç artışı ile sertlik değerinin arttığı açıkça görülmektedir. Bu artışın sebebi kristal yapıdaki iyonik bağ kuvvetlerinin, kayma sistemlerinin ve yüzey artık basınç gerilim bölgelerinin artmasındandır. Yine benzer olarak, basınç artışı Bi-2223 süperiletken içerisinde dayanıklı tetragonal fazı daha fazla stabilize ederken stres kaynaklı fazın aktivasyonu ise azaltmıştır. Bu bağlamda, kritik çatlak boyut büyümesi için dislokasyon hareketini ve çatlak ilerlemesini terminal hıza kadar hızlandırmak için çok daha fazla yük gereklidir. Böylece, materyal üzerine yeteri büyüklükte yük uygulandığında kırılma ağırlıklı olarak transkristal (tanecik içerisinde) bölgelerde meydana gelir ve çatlak ilerlemesi ideal peletizasyon basınç değeri ile kolayca kontrol edilir. Öte yandan, düşük/yetersiz peletizasyon basıncı yeni stres konsantrasyon bölgeleri için çatlak başlatıcı kusurlarını, kafes gerilim alanlarını ve kristal iç yapı stres konsantrasyon yükseltici bölgelerini arttırmıştır. Bu durumda, çatlak ilerlemesi ve hatta kırılmalar yoğunluklu olarak taneler arası bölgeler boyunca meydana gelmiştir.

Ayrıca Arşimet yasası yardımıyla örneklerin yoğunlukları ölçülmüştür. P1, P2 ve P3 örneklerinin yoğunlukları sırasıyla 2.806, 3.719 ve 4.018 gr/cm³ ölçülmüştür. Basınç değerinin artmasıyla sıkışma miktarı artmakta bu da yoğunluğu geliştirmektedir. Dolayısıyla, sertlik değerinin basınca paralel olarak artması örneklerinin yoğunluklarının gelişimi ile ilişkili olabilir.



Şekil 3. (a) H_v - F grafiği, (b) H_v -basınç grafiği.

Şekil 3b’de ayrıca sertlik-basınç grafiği verilmiştir. Bu grafikte sertlik-uygulanan yük grafiği hakkında söylenenler daha açık görülmektedir. Görüldüğü üzere düşük basınç ile preslenen örneklerin sertlik değerleri uygulanan kuvvete karşı farklılık göstermez iken yüksek basınç ile üretilen örnekte uygulanan kuvvete karşı bağımlılık daha yüksektir. Tablo 2’de Denklem 2 ve 3 ile elde edilen Elastisite modülü ve akma dayanımı sonuçları verilmiştir. Elastisite modülü ve akma dayanımı değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Aynı kuvvet değerlerinde, basınç artışı ile iki büyüklüğünde arttığı gözlenmiştir. Elastisite modülü (E), kuvvet uygulandığında meydana gelen şekil değişiminin, kuvvetin kaldırıldıktan sonra malzemenin eski şekline gelme özelliğini ifade eden bir değerdir. Sonuçlardan görüldüğü üzere P3 örneği diğer örnekler göre daha elastik formdadır. Ayrıca, bu numune için her uygulama yükünde kaydedilen (maksimum) değerler, sadece dayanıklı tetragonal fazın stabilizasyonunu ve transgranüler boyunca çatlak yayılımından değil, aynı zamanda Bi-2212 süperiletken sistemdeki aktif çalışabilir kayma sistemindeki artıştan kaynaklanmaktadır. Diğer bir yandan, P1 numunesinde oluşan stres konsantrasyon bölgelerinin oluşumlarına dayalı olarak stres kaynaklı faz dönüşümünün başlaması, numuneyi uygulanan dış kuvvete en duyarlı materyal yapmaktadır. Akma dayanımı (Y) ise malzemenin elastiklik sınırından sonra ani olarak uzamaya başladığı ve belirli bir kalıcı deformasyon sağlayan mukavemet değeridir. Bulunan diğer mekanik karakteristik değerlerine paralel olarak P3 malzemesi her uygulanan test yükünde en yüksek Y değerini sergilemektedir. Aksine, P1 örneği en düşük Y değerini sergilemiştir. Diğer bir deyişle, uygulanan peletizasyon basınç değerinin artmasıyla, stres konsantrasyonu ve yapısal problemler ciddi şekilde artar ve daha düşük test yükünde dislokasyon ve çatlak ilerlemesi ortaya çıkar.

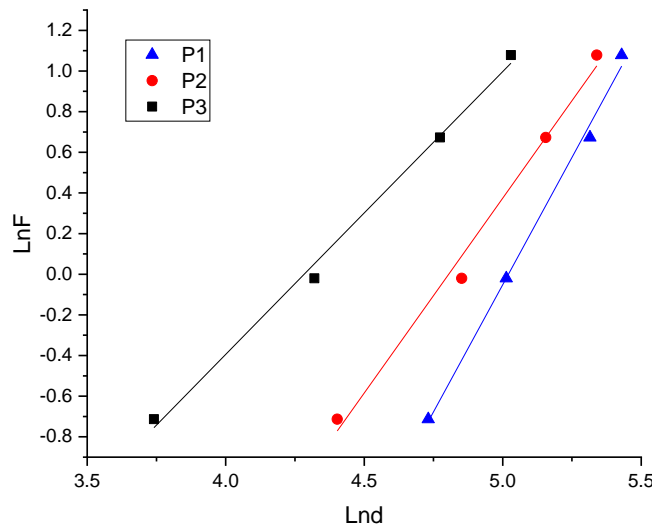
Tablo 2. Sertlik ölçümleri sonucu elde edilen büyüklükler.

Örnek	F (N)	d (μm)	H_v (MPa)	E (GPa)	Y (MPa)
P1	0.49	113.439	71	5.8194	23.7
	0.98	150.33	80	6.5571	26.7
	1.96	203.355	88	7.2128	29.3
	2.94	227.97	105	8.6062	35
P2	0.49	81.66	136	11.147	45.3
	0.98	127.97	111	9.0979	37
	1.96	173.41	120	9.8356	40
	2.94	208.423	125	10.2454	41.7
P3	0.49	42.14	512	41.9653	170.7
	0.98	75.22	321	26.3103	107
	1.96	118.35	260	21.3105	86.67
	2.94	152.88	233	19.0975	77.7

Deneyisel olarak elde edilen sertlik değerleri kullanılarak bazı modellemeler oluşturulmakta ve örnekler hakkında yorumlar yapılabilmektedir. Bu bölümde yüke bağımlı mikrosertlik değerleri modellenerek analizleri yapılmıştır. ÇBE davranışını modellemek için kullanılan basit bir yöntem Meyer yasasıdır. Bu yasada aşağıdaki denklem kullanılır.

$$F=Kd^n \quad (4)$$

Burada n Meyer sayısı ve K sertlik sabitidir. Bu modelleme sonucunda n değeri 2'den küçük ise malzeme ÇBE davranışı, büyük ise TÇBE davranışı göstermektedir. Bu değer 2'ye eşit olduğunda ise Kicks yasası kullanılmaktadır [28]. Burada Şekil 4'te görüldüğü gibi $\ln F$ - $\ln d$ grafikleri çizdirilmekte ve bu eğrilerde eğim n 'yi, dikey kesişim ise $\ln K$ değerini vermektedir. Tablo 3'te elde edilen n ve $\ln K$ değerleri verilmiş olup n değerleri incelendiğinde P3 örneğinde ÇBE, P1 ve P2 örneklerinde ise TÇBE davranışı görülmektedir.

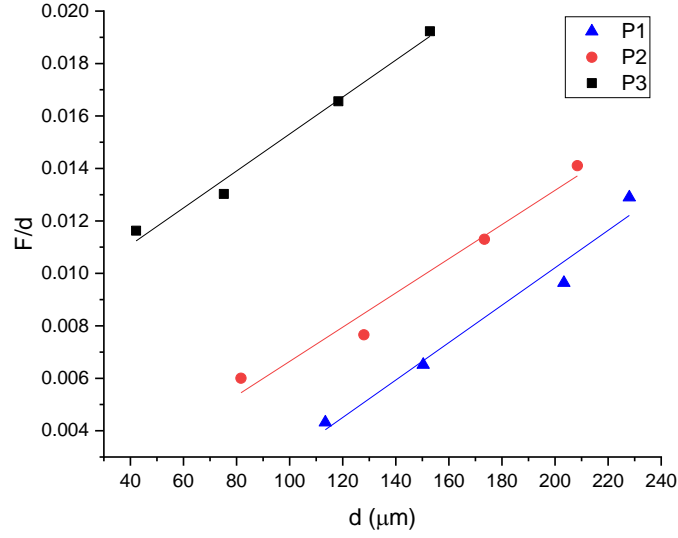


Şekil 4. $\ln F$ - $\ln d$ grafiği.

Başka bir çalışmada Li ve Bradt [29] ÇBE davranışı gösteren malzemelerde gerçek sertlik değerini hesaplamak için OND modelini geliştirmiş ve aşağıdaki denklemi kullanmışlardır:

$$F/d=K_1+K_2d \quad (5)$$

Burada K_1 , K_2 değerleri yüke bağımlı birer katsayı olup Şekil 5'te gösterilen F/d - d grafiklerinden elde edilmektedirler. Hesaplanan K_1 , K_2 ve H_{OND} değerleri Tablo 3'te verilmiştir.



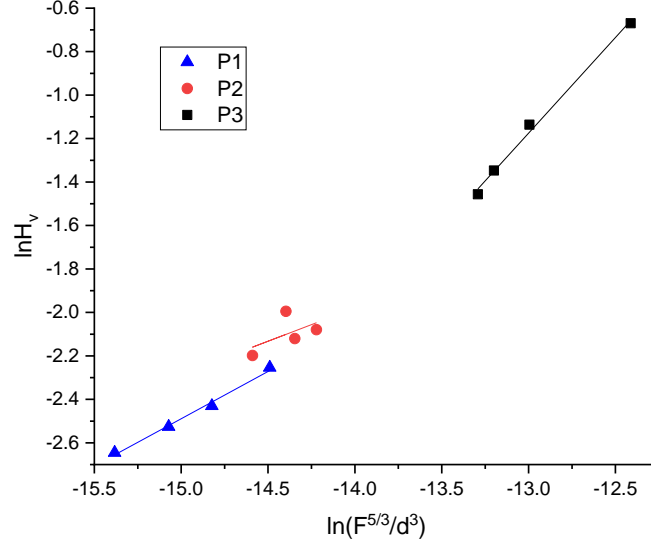
Şekil 5. $F/d-d$ grafiği.

K_1 değerinin negatif çıkması örneğin TÇBE davranışı gösterdiğini belirtmektedir [29]. Bu sonuç, P1 ve P2 örneklerine uygulanan kuvvetin kaldırılması sonucunda örneklerin plastik deformasyon gösterdiğini ve rahatlama gerçekleştirmediklerini göstermektedir. P3 örneğinin K_1 değeri ise pozitif çıkmıştır. Bu da örneğin ÇBE davranışı gösterdiğini belirtmektedir. Bu modelleme sonucunda elde edilen diğer bir değer olan K_2 ise farklı basınç ile üretilen örneklerde sistematik bir davranış göstermemektedir. Ayrıca, elde edilen K_2 değeri 1854.4 ile çarparak plato bölgesinde OND modeli ile elde edilen gerçek sertlik (H_{OND}) değeri bulunur. Her bir numunenin H_{OND} değerleri Tablo 4'te listelenmiştir. Tablodan görüldüğü üzere OND modelin bulguları gerçek mikrosertlik değerlerinden uzak kalmıştır. Bu bağlamda, OND model materyallerin mekanik karakteristik özelliklerini açıklamada başarılı olsa da teorik olarak yük bağımsız mikrosertlik değerleri hesaplamada yeterli değildir.

Çalışmada kullanılan diğer bir model de IIC yaklaşımıdır [30], [31]. Bu yaklaşımda Li ve Bradt'in önerdiği modelin geliştirilerek TÇBE davranışını açıklamak hedeflenmiştir.

$$H_{app}=K_3(P^{5/3}/d^3)^m \quad (6)$$

Burada m ve K_3 yüke bağımlı katsayılarıdır. $\ln H_v - \ln(F^{5/3}/d^3)$ grafikleri Şekil 6'da verilmiş olup buradaki eğrilerin eğimi m 'yi, dikey kesişimler ise K_3 'ü vermektedir. Eğer m katsayısı 0.6'dan büyük ise ÇBE aksi durumda TÇBE davranışı görülmektedir [31].



Şekil 6. $\ln H_v - \ln(F^{5/3}/d^3)$ grafiği

Modelleme sonucu elde edilen m değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. P1 ve P2 örneklerine ait m değerleri 0.6 değerinden küçük iken P3 örneğine ait m değeri 0.6 değerinden büyüktür. Bu da yukarıda da bahsedildiği üzere P1 ve P2 örneklerinin uygulanan kuvvete karşı TÇBE, P3 örneğinin ise ÇBE davranışı gösterdiğini tekrar kanıtlamıştır.

Tablo 3. Meyer, OND ve IIC modelleri sonucunda elde edilen büyüklükler.

Örnek	Meyer Kanunu			OND Modeli			IIC Modeli		
	n	$\ln K$ (GPa)	LRC	K_1 (N/ μ m)	K_2 (MPa)	LRC	m	K_3	LRC
P1	2.505	-12.577	0.994	-0.0041	0.071	0.971	0.4351	7.2140	0.993
P2	1.917	-9.211	0.990	-0.00012	0.065	0.972	0.3055	0.2395	0.999
P3	1.392	-5.96	0.995	0.0083	0.070	0.986	0.8795	28253	0.999

Ayrıyeten, Şekil 6'daki grafikler kullanarak üretilen tüm numunelerin k değerleri bulunmuştur. Altıncı eşitlikten gereken hesaplar yapılarak plato bölgesinde IIC modeli ile gerçek sertlik (H_{OND}) değeri hesaplanmıştır. Tablo 4'te elde edilen H_{IIC} değerleri verilmiştir. Tablodan açıkça görüldüğü üzere ICC modelin bulguları gerçek mikrosertlik değerlerine yakındır. Bu bağlamda, ICC model çalışma kapsamında üretilen numunelerin hem mekanik karakteristik (ÇBE ve TÇBE davranışı) özelliklerini açıklamada hem de yükten bağımsız bölgede gerçek mikrosertlik değerleri incelemede başarılı bulunmuştur.

Tablo 4. H_{OND} ve H_{IIC} parametreleri ile plato limit bölgelerinin yakınında yükten bağımsız mikrosertlik parametrelerinin karşılaştırılması.

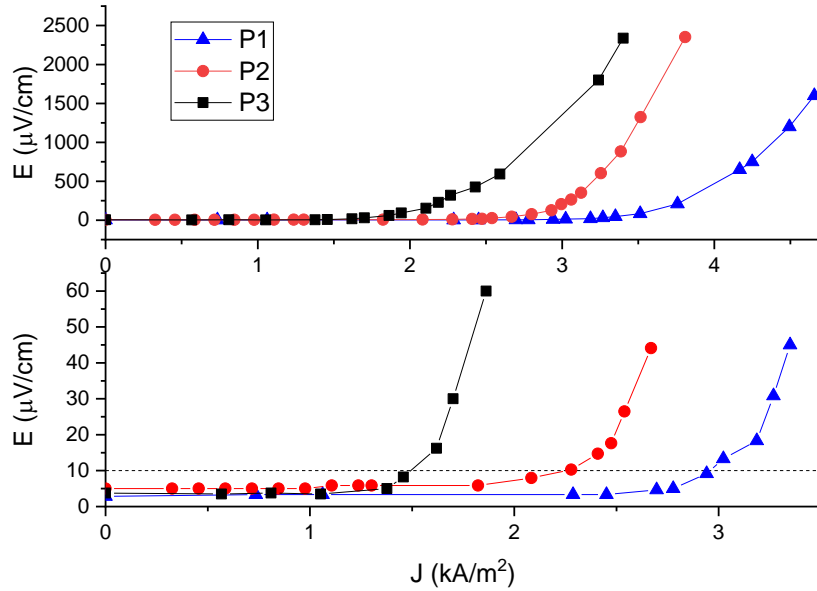
Örnek	H_{OND} (MPa)	H_{IIC} (MPa)	H_v (MPa)
P1	132	85	88-105
P2	121	122	120-125
P3	129	331	233-226

C. ELEKTRİKSEL ANALİZ

Kritik akım, bir süperiletkenin kayıpsız olarak taşıyabildiği diğer bir deyişle süperiletken durumunu koruyabildiği maksimum doğru akım değeridir. Üretilen örneklerin elektriksel özelliklerini incelemek

amacıyla 4 kontak kritik akım ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen akım ve gerilim değerleri kullanılarak örnekler için Elektrik Alan-Akım Yoğunluğu eğrileri Şekil 7’de verilmiştir. Kritik akım tespiti için ölçümün yakınlştırılmış bir görüntüsü Şekil 7’de ayrıca verilmiştir. Literatürde farklı yöntemler ile kritik akım yoğunluğu tespiti yapılmaktadır [16], [32], [33]. Ölçüm düzeneğimize ve okunan gerilim değerlerimize en uygun kriter olarak, örneklerin üzerindeki elektrik alanın $10\mu\text{V}/\text{cm}$ olduğu değerlere karşılık gelen akım değerleri kritik akım olarak seçilmiştir.

Kritik akım yoğunluk değerleri P1, P2 ve P3 örnekleri için 77 K’de sırasıyla $2.941\text{ kA}/\text{m}^2$, $2.278\text{ kA}/\text{m}^2$ ve $1.538\text{ kA}/\text{m}^2$ olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla peletizasyon basıncının artması ile kritik akım yoğunluk değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. XRD sonuçlarında bu çalışma özelinde istenmeyen faz olan Bi-2212 fazının yapı içerisindeki oranın peletizasyon basıncı ile arttığı belirlenmiştir. Ayrıca BPSCCO süperiletkenlerde akımın *c*-örgü parametresi üzerinden taşındığı da bilinmektedir. İdeale en yakın *c*-parametresi de düşük peletizasyon basıncında üretilen P1 örneği için elde edilmiştir. Dolayısıyla kritik akımın P1 örneğinden P3 örneğine doğru sistematik olarak azalması kristal yapıdaki değişimlerden kaynaklı olabilir. Yine peletizasyon basıncının artması ile tanecikler arası bağların artması numunenin içerisinde var olan akı çivileme merkezlerinde bir azalmaya neden olmuştur. Diğer bir deyişle, daha düşük uygulanan akımda numune içerisinde daha büyük yarıçaplı akı girdapları oluşmuş (daha az akı çivileme bölgeleri olması yüzünden) ve numunenin akı taşıma kapasitesi hızlı bir şekilde düşmüştür. Bunu nedeni, materyal içerisinde elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüşümüne ve akı çizgilerinin hızlıca oluşumuna neden olan Lorentz kuvvetinin artmasıdır.



Şekil 7. E-J ölçümleri.

IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada hazır Bi-2223 tozlar farklı basınç değerleri ile külçe haline getirilmiş ve basıncın külçelerin yapısal, mekanik ve elektriksel özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda ortaya çıkan sonuçlar özet olarak verilecek olursa;

- Farklı basınçlarda üretilen külçe örneklerin basınca duyarlı olduğu XRD, sertlik ve elektriksel ölçümler sonucunda gözlemlenmiştir.
- XRD sonuçlarına göre peletizasyon basıncı arttıkça yapı içindeki Bi-2223 fazı azalırken Bi-(2212) fazı orantısal olarak artmaktadır. Ancak peletizasyon basıncı her iki fazda kristal pik şiddetlerini geliştirmektedir.
- Yine XRD sonuçlarına göre süperiletkenlerde akımın taşındığı kabul edilen *c*-parametresi en uygun olarak düşük peletizasyon basıncında üretilen P1 örneğinden elde edilmiştir.

- Basınç değeri arttıkça örneklerin yoğunluklarının da arttığı gözlemlenmiştir.
- Sertlik sonuçları sonucunda farklı basınç değerlerinde preslenmiş örneklerin prese bağımlı olduğu görülmüştür. P3'ün kristal yapısının ise diğer örneklere göre daha fazla aktif kayma sistemi ile daha elastik formda ve daha rijit olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, yine P3 örneği daha dayanıklı tetragonal fazı sergilemiş ve bu numunenin kristal yapısında çatlak yayılımları tanecikler arası yerine transgranüler bölgeleri tercih ettiği sonucuna varılmıştır.
- Mekanik karakteristik özelliklerine gelinecek olursa, P1 ve P2 örnekleri uygulanan yüke karşı TÇBE, P3 örneği ise ÇBE davranışı göstermiştir. Benzer olarak, mekanik modelleme çalışması sonucunda tüm modeller bu bulguları desteklemiştir. Ayrıca, bu iki model arasında çalışma kapsamında üretilen numunelerin yükten bağımsız bölgede gerçek mikrosertlik değerlerini incelemede IIC teorik yaklaşımı OND modeline göre daha başarılı bulunmuştur.
- I-V ölçüm sonuçlarına göre, peletizasyon basıncının yükselmesi ile Lorentz kuvvetinin artması materyal içi akı çivileme merkezlerinde azalmaya neden olmuştur. Bu nedenle, düşük elektriksel akımlarda bile numune içerisinde direnç oluşumuna sebep olan akı girdapları oluşmaktadır.

TEŞEKKÜR: Sarflar ve ölçümler yazarlar tarafından karşılanmıştır.

V. KAYNAKLAR

- [1] H. K. ONNES, "The superconductivity of mercury," *Comm. Phys. Lab. Univ. Leiden*, vol. 122, pp. 122–124, 1911, Accessed: Jan. 24, 2022. [Online]. Available: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10027961803>.
- [2] Z. Deng ve diğ., "A High-speed Running Test Platform for High-temperature Superconducting Maglev," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, pp. 1–1, 2022, doi: 10.1109/TASC.2022.3143474.
- [3] Y. Xiao, H. Jin, X. Pan, W. Luo, H. Lin, ve Y. Zhao, "Fabrication and Superconducting Properties of 19-Filamentary $Sr_{0.6}K_{0.4}Fe_2As_2/Ag/Monel$ Composite Wires and Tapes," *J. Supercond. Nov. Magn.* 2022, pp. 1–7, Jan. 2022.
- [4] H. Liang, Y. Chen, R. Duan, Y. Lu, ve J. Sheng, "Numerical Study on the On-Grid Performance of Superconducting Cable Cooperated With R-SFCL," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 32, no. 4, pp. 1–5, Jun. 2022.
- [5] Z. A. Thoker ve S. A. Lone, "Dynamic performance improvement of wind-diesel power system through robust sliding mode control of hybrid energy storage system," <https://doi.org/10.1177/0309524X211066787>, p. 0309524X2110667, Jan. 2022.
- [6] J. Shi, X.-F. Li, ve J. Sheng, "Compensation effect of Superconducting Hybrid Trapped Field Magnet," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, pp. 1–1, 2022.
- [7] D. Patel ve diğ., "MgB₂ Superconducting Joint Architecture with the Functionality to Screen External Magnetic Fields for MRI Magnet Applications," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 14, no. 2, pp. 3418–3426, Jan. 2022.
- [8] K. A. Müller ve J. G. Bednorz, "The Discovery of a Class of High-Temperature Superconductors," *Science (80-.)*, vol. 237, no. 4819, pp. 1133–1139, Sep. 1987.
- [9] D. Yegen, A. Varilci, M. Yilmazlar, C. Terzioglu, ve I. Belenli, "Magnetic properties of Sm-

doped Bi-2223 superconductor studied by low field local Hall generator ac susceptibility,” *Phys. C Supercond. its Appl.*, vol. 466, no. 1–2, pp. 5–10, 2007.

[10] M. Yilmazlar, H. Aydin, A. Varilci, ve C. Terzioglu, “The effect of Sm substitution on properties of $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_{2-x}\text{Sm}_x\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductors,” *J. Mater. Sci.*, vol. 42, no. 21, pp. 9030–9036, 2007.

[11] N. K. Saritekin, C. Terzioglu, M. Pakdil, T. Turgay, ve G. Yildirim, “Solubility limit of tetravalent Zr nanoparticles in Bi-2223 crystal lattice and evaluation of fundamental characteristic properties of new system,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 27, no. 2, pp. 1854–1865, 2016.

[12] P. Sen ve diğ., “The study of texturing of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ and $\text{Bi}_{1.84}\text{Pb}_{.34}\text{Sr}_{1.91}\text{Ca}_{2.03}\text{Cu}_{3.06}\text{O}_{10+\delta}$ superconductors as a function of pelletization function,” *Phys. C Supercond. its Appl.*, vol. 255, no. 3, pp. 306–310, Feb. 1995.

[13] M. Tepe, I. Avcı, ve D. Abukay, “Effect of pelletization pressure on structural properties and critical current hysteresis of ceramic superconducting $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}$,” *Phys. stat. sol.*, vol. 198, no. 2, pp. 420–426, 2003.

[14] K. Kocabaş, M. Gökçe, M. Çiftçioğlu, ve Ö. Bilgili, “Effect of compaction pressure on structural and superconducting properties of Bi-2223 superconductors,” *J. Supercond. Nov. Magn.*, vol. 23, no. 3, pp. 397–410, 2010.

[15] D. Marconi, C. Lung, ve A. V. Pop, “The influence of pelletization pressure on normal and superconducting properties of (Bi,Pb):2223 bulk system,” *J. Alloys Compd.*, vol. 579, pp. 355–359, 2013.

[16] K. Habanjar, A. Najem, A. M. Abdel-Gaber, ve R. Awad, “Effect of pelletization pressure on the physical and mechanical properties of (Bi, Pb)-2223 superconductors,” *Phys. Scr.*, vol. 95, no. 6, 2020.

[17] A. R. Abdulridha, E. Al-Bermany, F. S. Hashim, ve A. H. Omran Alkhayatt, “Synthesis and characterization and pelletization pressure effect on the properties of $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{W}_{0.2}\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\delta}$ superconductor system,” *Intermetallics*, vol. 127, no. May, p. 106967, 2020.

[18] A. Lenders, M. Ullrich, ve H. C. Freyhardt, “Influence of thermal cycling on the mechanical properties of VGF melt-textured YBCO,” *Phys. C*, vol. 279, pp. 173–180, 1997.

[19] C. Veerender, V. R. Dumke, ve M. Nagabhooshanam, “Hardness and elastic moduli of $\text{Bi}_{2-x}\text{Pb}_x\text{Ca}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductors,” *Phys. status solidi*, vol. 144, no. 2, pp. 299–309, 1994.

[20] D. Tabor, *The Hardness of Metals*. Oxford, Clarendon Press, 1951.

[21] G. Yildirim ve diğ., “Effect of Mn addition on structural and superconducting properties of (Bi, Pb)-2223 superconducting ceramics,” *J. Supercond. Nov. Magn.*, vol. 25, no. 2, pp. 381–390, 2012.

[22] N. H. Mohammed ve diğ., “Optimizing the Preparation Conditions of Bi-2223 Superconducting Phase Using PbO and PbO_2 ,” *Mater. Sci. Appl.*, vol. 3, no. 4, pp. 224–233, Apr. 2012.

[23] S. Kaya, “Nanostructure, optical and electrical properties of p-NiO/n-Si heterojunction diodes,” *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.*, vol. 126, no. 8, pp. 1–9, 2020.

[24] B. Akkurt, U. Erdem, Y. Zalaoglu, A. T. Ulgen, T. Turgay, ve G. Yildirim, “Evaluation of

crystallographic and electrical-superconducting features of Bi-2223 advanced ceramics with vanadium addition,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 32, no. 4, pp. 5035–5049, 2021.

[25] O. Bilgili, Y. Selamet, ve K. Kocabaş, “Effects of li substitution in Bi-2223 superconductors,” *J. Supercond. Nov. Magn.*, vol. 21, no. 8, pp. 439–449, 2008.

[26] O. Ozturk, H. A. Cetinkara, E. Asikuzun, M. Akdogan, M. Yilmazlar, ve C. Terzioglu, “Investigation of mechanical and superconducting properties of iron diffusion-doped Bi-2223 superconductors,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 22, no. 9, pp. 1501–1508, 2011.

[27] M. Dogruer, C. Aksoy, G. Yildirim, O. Ozturk, ve C. Terzioglu, “Influence of Sr/Nd partial replacement on fundamental properties of Bi-2223 superconducting system,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 32, no. 6, pp. 7073–7089, 2021.

[28] O. Ozturk, G. Yildirim, E. Asikuzun, M. Coskunyurek, M. Yilmazlar, ve A. Kilic, “Change of formation velocity of Bi-2212 superconducting phase with annealing ambient,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 24, no. 11, pp. 4643–4654, Nov. 2013.

[29] H. Li ve R. C. Bradt, “The microhardness indentation load/size effect in rutile and cassiterite single crystals,” *J. Mater. Sci.*, vol. 28, no. 4, pp. 917–926, Jan. 1993.

[30] K. Sangwal, “On the reverse indentation size effect and microhardness measurement of solids,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 63, no. 2, pp. 145–152, Feb. 2000.

[31] E. Asikuzun, O. Ozturk, L. Arda, D. Akcan, S. D. Senol, ve C. Terzioglu, “Preparation, structural and micromechanical properties of (Al/Mg) co-doped ZnO nanoparticles by sol–gel process,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 26, no. 10, pp. 8147–8159, Oct. 2015.

[32] D. Dew-Hughes, “The critical current of superconductors: an historical review,” 2001.

[33] R. Terzioglu, M. Vojenčiak, J. Sheng, F. Gömöry, T. F. Çavuş, ve I. Belenli, “AC loss characteristics of CORC[®] cable with a Cu former,” *Supercond. Sci. Technol.*, vol. 30, no. 8, 2017.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Industry 4.0 and Cybersecurity at Automobile Manufacturing in Smart Factories

 Cevat ÖZARPA^a,  İsa AVCI^{b,*}

^aDepartment of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Karabuk University, Karabuk, TURKEY

^bDepartment of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Karabuk University, Karabuk, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: isaavci@karabuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1027236

ABSTRACT

The automotive industry in smart factories is constantly developing depending on technology. Depending on the developing technology, security problems come to the fore. Industry 4.0 and cyber security are widely used in automotive sector applications as well as in all areas of our lives. These applications pose security threats to automotive users and drivers. Attacks on vehicle software, especially by autonomous vehicle users, endanger passengers and vehicle safety. It should take the necessary precautions to be protected against cyber-attacks and be equipped to solve the problem. The rapid change of technology in smart factories and with industry 4.0 brings new security vulnerabilities and new cyber attacks. The hostility arising from inter-sectoral competition has lost its value compared to previous periods and has left its authority to cyberattacks, threats, and damaging moves against system security. Industry 4.0 is also known as the Industrial Revolution Industry, which covers a specific production technology and the interests of many groups, and exchanges data without human use and innovative system. With this industrial revolution, which also plays an active role in the establishment of a smart factory, more useful work examples are obtained as it ensures that each data is collected and analyzed in the best way in the production area. In this study, cyber attacks in the automotive industry and cyber threats in automobile factories are examined. In addition, layered protection has been proposed by investigating how to take precautions against these attacks and threats.

Keywords: Cybersecurity, Cyber-attacks, Industry 4.0, Smart factories.

Akıllı Fabrikalardaki Otomobil İmalatında Endüstri 4.0 ve Siber Güvenlik

ÖZ

Akıllı fabrikalardaki otomotiv sektörü, teknolojiye bağlı olarak sürekli gelişmektedir. Buna bağlı olarak güvenlik sorunları ön plana çıkmaktadır. Endüstri 4.0 ve siber güvenlik hayatımızın her alanında olduğu gibi otomotiv sektörü uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalar, otomotiv kullanıcıları ve sürücüleri için güvenlik tehditleri oluşturur. Özellikle otonom araç kullanıcıları tarafından araç yazılımlarına yönelik saldırılar, yolcuları ve araç güvenliğini tehlikeye atıyor. Siber saldırılara karşı korunmak için gerekli önlemler alınmalı ve sorunları çözebilecek donanımlara sahip olunmalıdır. Akıllı fabrikalarda ve endüstri 4.0 ile teknolojinin hızlı değişimi, yeni güvenlik açıklarını ve yeni siber saldırıları beraberinde getirmektedir. Sektörler arası rekabetten kaynaklanan siber saldırılar, tehditler ve sistem güvenliğine yönelik zarar verici sorunlar yaşanmaktadır. Endüstri 4.0, belirli bir üretim teknolojisini ve birçok grubun ilgi alanlarını kapsayan, insan kullanımı ve yenilikçi sistem olmadan veri alışverişi yapan Sanayi Devrimi Endüstrisi olarak da bilinir. Akıllı fabrikanın kurulmasında da etkin rol oynayan bu sanayi devrimi ile üretim alanında her bir verinin en iyi şekilde

toplanıp analiz edilmesini sağladığı için daha faydalı çalışma örnekleri elde edilmektedir. Bu çalışmada otomotiv endüstrisindeki siber saldırılar ve otomobil fabrikalarındaki siber tehditler incelenmiştir. Ayrıca bu saldırı ve tehditlere karşı nasıl önlem alınacağı araştırılarak katmanlı bir güvenlik koruması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Siber güvenlik, Siber saldırılar, Endüstri 4.0, Akıllı fabrikalar.

I. INTRODUCTION

With industry 4.0, the rapid transition to industry 5.0 all over the world has started in recent years. This development changes depending on the technologies. In particular, industry 5.0 is considered a smart society, and developments in the field of artificial intelligence are also taken into account. With the information itself increasingly feeling like a power factor, thinking shapes our perceptions, our research methods, and going significant changes in our lifestyle in many different areas [1]. However, making it a portable technology, producing and using autonomous vehicles is a beneficial innovation. It brings cyber threats, security vulnerabilities, cyber-attacks, and accessing and deactivating personal and system software. Since the personal sharing of data by individuals on social platforms disables their security, individuals should be made aware of and trained in cybersecurity. The same situation here applies to factories and autonomous vehicle users. The competitiveness of manufacturing enterprises in local and global markets is essential for private sector-based economies. With the changing conditions in the world and Turkey, "industrialization" has ceased to be the main objective, and now it has become the main objective to increase competitiveness [2]. Employees should receive the necessary cyber training, and a cybersecurity committee should be established. Security vulnerabilities should be identified, and complete security should be ensured so that autonomous vehicle users do not suffer any cyber attacks during their journey and that hackers do not control the vehicle. The automotive sector affects the economy by creating a multiplier effect for Turkey, as in many countries. This is why; digitalization in the industry should be followed closely. More efficient and customized production should be possible [3]. Unauthorized access to data, hijacking and controlling software is termed theft. Those who commit cybercrimes are considered guilty by law and are punished. The cyberattack area is an area that attracts attention and studies in the changing world of technologies.

Many technological developments in this field have been achieved within the scope of research. The development of industry 4.0, especially in smart factories, is a remarkable feature. Especially in Germany, the concept of cyber security systems and the Internet of Things have become an important area in automotive production in smart factories [4]. The main purpose of Industry 4.0 can be expressed as the needs of advanced industrialized countries, with the digitalization of the industry, to significantly increase the competitiveness of the manufacturing industry and to eliminate the competitive advantage of developing countries in this area. Intense trade relations with the EU and other European countries, especially the manufacturing industry sector, industrial investments of these countries in our country, our investment goods, and technology imports from these countries have brought digitalization in the sector to our country's agenda[5]. Although Industry 4.0 seems to have emerged based on production, similar to other industrial revolutions in the past, it is estimated that its possible effects will not be only in this area. Digitalization and the systems it supports affect all business functions, from production to marketing. Moreover, this process seems to affect a much wider area, not just at the enterprise level. Examples of macro-level issues such as growth, employment, education, investment climate, and entrepreneurship can be given [6]. In the information age, where data privacy and our information are the most valuable, being cyber-attacked indicates the collapse of the security system.

The industrial revolution, defined as Industry 4.0, has been replaced by smart factories in recent years [7]. Industry 4.0 is to continue production with robots that interact with each other, control the environment with sensors, analyze the data it collects, and find and meet needs. It also aims for more capable, safer, faster, and less wasteful production. However, Industry 4.0 examines cyber systems in smart factories using disassembled structures, controlling the cooperation between objects and people.

In an inter-sectoral competitive environment, it is necessary to include Industry 4.0 in their work and plan to maintain their strength and maintain their existence for the future. Smart factories can be developed in the production process and organization, software, hardware, and mechanical structure [8]. The factory, which has a strong, flexible, and agile production suitable for production, becomes possible. In this study, industry 4.0 and cyber security in automobile production in smart factories are examined [9]. Right now the industry is turning the physical world of real things into "virtual replicas". This transformation is a core element of industry 4.0, and industry 5.0 is becoming more and more popular due to the high requirements of end-users for the personalization of the purchased product [10]. However, institutions need to be ready in terms of infrastructure to make the transition to this. This transition implies the penetration of artificial intelligence into human life to increase human capabilities [11]. When industry 4.0 and cyber security are evaluated in terms of efficiency in smart factories and automobile manufacturing facilities, advanced analytical techniques in predictive maintenance programs can prevent machine errors encountered [12]. In addition, disruptions, problems, and job losses that may occur in cyber security, designing systems with the following technology, and using secure models provide advantages in terms of efficiency. Efficiency is achieved by preventing job loss, using innovations in technology, reducing maintenance errors, using automation systems, and establishing smart factories. In addition, some companies will be able to establish factories that continue production without employees. In these factories, a workforce will be needed and employees will work more efficiently [13].

This study aims to reveal the technology dependency for automotive production, industry 4.0, and later versions, especially in smart factories. These technologies are aimed at automating production, especially in the fields of IoT, 5G, AI, and cloud computing. However, according to these developing technologies, security vulnerabilities and cyber security threats should be investigated and necessary precautions should be taken. In this study, the ISA-99 PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) model, which is also a layered model, consists of the end-user layer, protection layer, and smart factory equipment layers. There are certain protection methods in each layer and there is separate equipment specific to each layer. In this study, a general evaluation has been made by researching industry 4.0 and cybersecurity in automobile manufacturing in smart factories. First of all, the industrial revolution, cybersecurity, the internet of things in automobile manufacturing, cyber-attacks, and precautions against cyber-attacks are explained.

II. REVOLUTION OF THE INDUSTRIAL AND SMART FACTORIES

The industrial revolution generally consists of four periods. These industries are 1.0, 2.0, 3.0, and 4.0. Industry 4.0 is known as the latest industrial revolution. The industrial revolution that has developed up to this time consists of these four periods. With the industrial revolutions, many understandings of production have changed, new rules have begun to be applied, and decisions have been made by looking at the development levels of countries and their industrialization levels. Industrialization can be defined as the transformation of nature parallel to human needs.

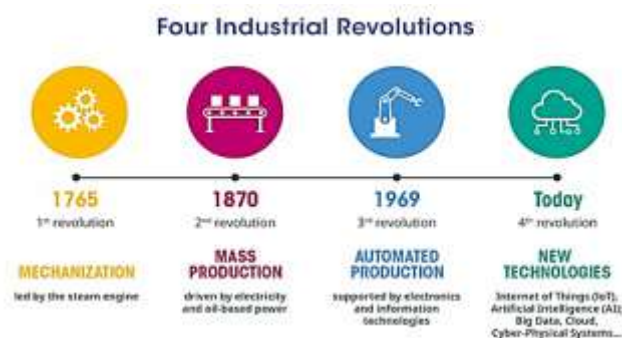


Figure 1. Industrial revolutions.

A. INDUSTRY 1.0

At the end of the 18th century, the first mechanical weaving was made in 1784. In this period, the 1st Industrial period, mechanical production facilities working with water and steam power were established. In steam machines, the pressure was obtained by heating water and creating steam. With the use of steam, most human-powered movements were eliminated. Great convenience was provided. Considering the vehicle manufacturing factories established in this period, we would need intensive labor and a labor force. The process of completing the production line took a long time. This industrial revolution has enabled the increase of capital accumulation in Europe and the United States of America and the increase in welfare in these societies [14].

B. INDUSTRY 2.0

At the beginning of the 20th century, the first production line of Cincinnati slaughterhouses was established in 1870. It has become possible to start mass production based on work sharing, taking into account electrical energy. In this period, the 2nd Industrial Revolution, considerable efficiency was achieved from the energy and time allocated to the workforce. Steel production increased, and thanks to this, fantastic acceleration and profit began to be gained from trade. Toyota made progress on this production line and left its competitors behind. The telegraph, the telephone, was invented. This revolution came to an end at the end of the 1973 oil crisis. In addition, the change in the energy sources and raw materials used and the advancement of technology day by day are the cornerstones of the Second Industrial Revolution [15].

C. INDUSTRY 3.0

In 1969, the third industrial revolution entered. In the production stages, analog systems have been replaced by digital systems. The first microprocessor is put on the market. The development of 3D printers has advanced and has begun to be used in automobile manufacturing. Growth and progress have been observed in production.

D. INDUSTRY 4.0

Although it is a new concept, Industry 4.0 applications are becoming increasingly widespread and are starting to show their effects, especially in production processes [16]. It is the industrial revolution that we have recently put into practice and continue to work on. This revolution, is aimed to work on autonomous machines and virtual platforms. Cyber-physical systems and the internet of things have been tried to be implemented. Communication and production are integrated between devices without human influence. Compared to other revolutions, a more efficient and advantageous production has been achieved. Industry 4.0 was the main topic of the World Economic Forum held in Davos. How a small smart factory would work has been implemented for the first time. In this industrial revolution, remarkable innovations in manufacturing and manufacturing use were developed. Developing and innovating the production line for the needs of the consumption group has made progress possible. However, the fourth industrial revolution is in its infancy, to communicate with each other all the actors involved in industrial production, access all data, and prepare the ground to create high-added value through this data. 3. Industrial Revolution determines which computer hardware, software, networks, and the rapid development of digital technology and integration, just as it transformed the agrarian revolution or after the industrial revolution, society, and the economy. Information technology and the widespread use of cyber-physical system automation have reached a new data processing stage and connected the dynamic value chain [17]. Regional, economic, technological, and commodity flows affect the course of the world and shape its future; Sensors and industrial chains beyond a single company have been created by linking the production means and information technology [18].



Figure 2. Industry 4.0 [18].

E. INDUSTRY 4.0 COMPONENTS

Industry 4.0 components are the internet of things, artificial intelligence, big data, 5G technology, renewable energy, autonomous robots, cybersecurity, manufacturing of objects, simulation, system integration, additive manufacturing, and augmented reality.

Table 1. Industry 4.0 key components [19].

Components	Explains
Smart factory, smart production, the future of production	Smarter, more flexible, and more dynamic factories. Machinery and equipment will be able to improve processes by making their own decisions.
Self-organization	In manufacturing, processes will become dynamic in all supply and production chains. A decentralized, self-regulating system will emerge.
New systems for the production of new products and services	Product and service development issues will generally be individualized.
Smart product	Products are embedded with sensors and chips that enable them to communicate with each other and with humans. While this makes products smart, it also introduces security and privacy risks.
New systems in distribution	Distribution and supply will become increasingly individual.
Cyber-physical systems	Production systems designed to follow human needs can be compatible with Siri, Cortana, and Google Now. A new interaction may occur between buyers and sellers.
Smart Cities	Smart cities are cities formed by using other sensor networks based on the combination of the internet, telecommunications network, broadcast network, wireless broadband networks, next-generation information technologies and networks, and accelerated development of the information-based economy.
Digital Sustainability	Sustainability and resource efficiency, smart cities, and smart factories are becoming increasingly central in design. Ethical rules must be followed in the use of private information. These factors form a basic framework for successful products across all systems.

With smart tools connecting to the internet and using networks, an environment suitable for threats is created. Malicious hackers who want to take advantage of this situation work against the system. All built-in systems, from road lines to traffic signs, from traffic lights to person and object detection methods, from accident warning systems to speed regulation systems, have an essential role in smart vehicles, which emerged as a result of researching the use of "Autopilot" application used in airplanes in land vehicles [20]. First of all, as much information as possible about the system to be attacked is collected [21].

F. SMART FACTORIES

The definition of smart factory has been defined differently by many academics and people working in this field [22], [23]. Park [24] defines the smart factory as a system that collects all information about production facilities in real-time over the internet, and as a network-based integrated production system that independently changes a production method, changes raw materials, and ultimately develops an optimized dynamic structure. Chen et al. [25] a smart factory is an intelligent production system that integrates communication processes, information processing processes, and control processes in production and services to meet the needs of manufacturing factories.

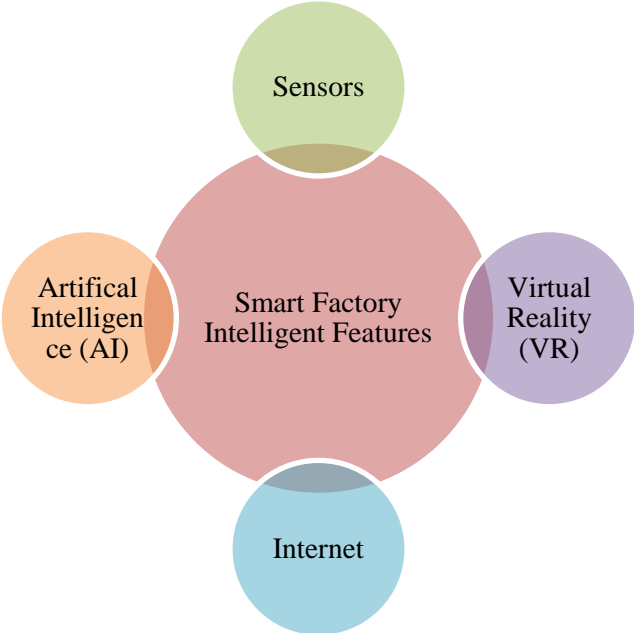


Figure 3. A smart factory intelligent features [26].

G. AUTOMOTIVE INDUSTRY IN SMART FACTORIES

Automotive production in smart factories is possible only by integrating the smart production of automotive components. Especially for this situation, automatic technology, personnel, and innovation are required together with the developing technologies today. But this technology can be used for the Internet of Things, blockchain, cloud computing, and 5G. It will certainly redefine its solutions and improve design and communication possibilities.

III. CYBER-ATTACK METHODS AND MEASURES

A. CYBERATTACK METHODS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

In smart factories, there are cyber attacks and attack vectors that may occur depending on the technologies used in the automotive industry in general. Cyberattack methods are likely to experience the same methods in each component. These attacks occur in cyber attack components such as V2S, V2V, V2I, and V2N. The cyberattack methods that may occur in these components are shown in Table 2 [27].

Table 2. Cyberattack methods in the automotive industry in smart factories [27], [28].

Cyber Attack Components	Cyber Attack Methods
Vehicle-to-sensor cyberattacks (V2S)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jamming attack 2. False data injection attack 3. GPS deception 4. Denial of Service attack (DoS)
Vehicle-to-vehicle cyberattacks (V2V)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selfish attack 2. Modification cyber-attack 3. FDI attack 4. Eavesdropping 5. Blackhole cyber-attack 6. Gray hole attack 7. Wormhole attack 8. Denial of Service attack (DoS)
Vehicle-to-infrastructure cyber-attacks (V2I)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Attack replays 2. Referrer ad fraud 3. Privacy attacks 4. RSU spoofing 5. Duplicate address blocking (DAD)
Vehicular-to-network communications attacks (V2N)	<ol style="list-style-type: none"> 1. At the roadside Wi-Fi access point (Wi-Fi AP) 2. DDoS 3. MiTM 4. Rogue attacks 5. Physical attacks 6. Eavesdropping 7. Jamming attack 8. Configuration attacks

B. CYBERATTACK INCIDENTS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

With the rapid development of smart factories and industry 4.0 concepts and the fact that everything is smart, cyber incidents occur due to cyber attacks that can be experienced. The cyber incidents experienced in the research and the root causes of these incidents are shown in Table 3 by year.

Table 3. Cyber attack incidents in the automotive industry[29],[30].

Year	Location	Cyber Incident	Cyber Incident Cause
2019	USA / Texas	An accident in a vehicle with autopilot on.	For the autopilot to be activated, there must be lanes on the road, and there is no lane line at the place where the accident occurred.

2018	Andes / Arizona	The car in automatic driver mode collides with a pedestrian.	He first perceived the pedestrian as an unknown object, then as a vehicle, and then as a bicycle. Although the system slowed down, the car hit the pedestrian.
2017	San Francisco	Car lane to the left. He started to change but suddenly went back to his first lane and collided with Nilsson.	The vehicle driving in autonomous mode stops changing lanes.
2016	California	The person inside the vehicle thinks that the bus will slow down, so it does not interfere with the vehicle's automatic driver system.	The test driver in his self-driving car takes control.

C. MEASURES AGAINST CYBER-ATTACKS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Information and communication and the public that people nowadays become an indispensable part of daily life in various application services technology realizes the many organizations in both the private sector in cyberspace [31]. Evaluating cyber security vulnerabilities in big data has become much more critical today. Cybersecurity vulnerabilities in big data can be detected on Log IDS [32]. While technology provides convenience to people's lives, it also captures specific centers. Transactions made in the virtual environment make users' information easily accessible and processable. Hackers can use and sell the data they collect as they wish. As the cyber threat landscape changes, the measures must change as well. Developments in information and communication technology should be followed closely. In light of experience, a higher safety net should be created and constantly updated [33].

Table 4. Measures against cyber-attacks in the automotive industry [34].

Measures	Detailed Description
Keeping the firmware up to date	NVR, DVR, and IP software to keep up to date.
Using strong passwords	Password must be at least 8 characters. In addition, these characters consist of a combination of memorable characters, uppercase and lowercase letters, and numbers.
Changing passwords regularly	With regular password changes, your accessibility to your password will decrease.
Disabling UPNP	Your router or your modem will try to forward ports automatically. Typically, this is a method that facilitates the user's work. However, if you leave your system and automatically redirect ports by default credentials, you experience unwanted visitors.
Disable P2P	P2P is used to access a system remotely via a serial number. Your system's username, password, and serial number are also required, so it is unlikely that someone hacked into your system using P2P.
Disable SNMP	If you do not use SNMP as Disabled, you only need to do this temporarily for monitoring and testing if you are using SNMP.
Enable HTTPS / SSL	Make sure that you create an SSL HTTPS. This code takes advantage of all the communication from the communication service unit.
Change ONVIF Password	When you change the system's credentials, the software does not change the old IP Camera ONVIF password. The IP camera's firmware to the latest revision to update or ONVIF will need to change the password manually. Enabling your IP filter will prevent anyone other than the specified IP

	addresses from accessing the system.
Enable IP Filtering	A recording device is used to change between two video recordings of broadcast and multicast. Currently, there are no known issues involving posting a multi-point, but you should disable this feature if you do not use it.
Disabling Multicast	Be sure to change the HTTP and TCP ports.
Changing Default HTTP and TCP Ports	If you suspect someone is accessing your system without authorization, you can check the system logs. These logs will show from which IP addresses your system was accessed and from which it was accessed.
Check the log	POE ports on the back of the camera connected to the NVR should be isolated.
Connect IP Cameras to POE Ports on the Back of the NVR	You should avoid unauthorized physical access to your system.
Physically Locking the Device	If the cameras are connected to a recording device, you need not transmit ports for individual cameras; Simply forward the port you want to NVR.
Forward Only Ports You Need	In case of a violation of any of the accounts, have been collecting these passwords and security you do not want to try in video surveillance systems.
Use a Different Username and Password for IP Camera Security Management Software	If your system is configured for more than one user, checks must be made.
Limited Features of Guest Accounts	NVR and IP cameras on your network must have the same network as the overall computer network. This, of any visitor or an attacker, will prevent network access is necessary for the proper operation of the safety system.

D. USING LAYERED MODEL AGAINST CYBER-ATTACK

All systems should be examined and a safe layered model should be created against cyber security vulnerabilities that may occur during the production of automobiles in smart factories and among the end-users. In this model, all systems are divided into layers and important protection devices such as firewalls are used between each layer. The most important feature in layered structures is the data flow between the layers and the protection of the equipment to be controlled against attacks. This protection is also aimed at ensuring sustainability in terms of production in smart factories and protecting corporate reputation. Disclosure of data has undesirable consequences for all companies. In particular, it becomes possible to sell the information of customers and employees stolen by the attackers for money. It is possible to make layered structures according to the ISA-99 PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) model to protect all systems [35]. Therefore, when a system is attacked, it becomes possible to prevent the attacker from accessing other systems. Although these layered structures are high in cost in the first installation phase, it is possible to compensate for this in the following years[36], [37].

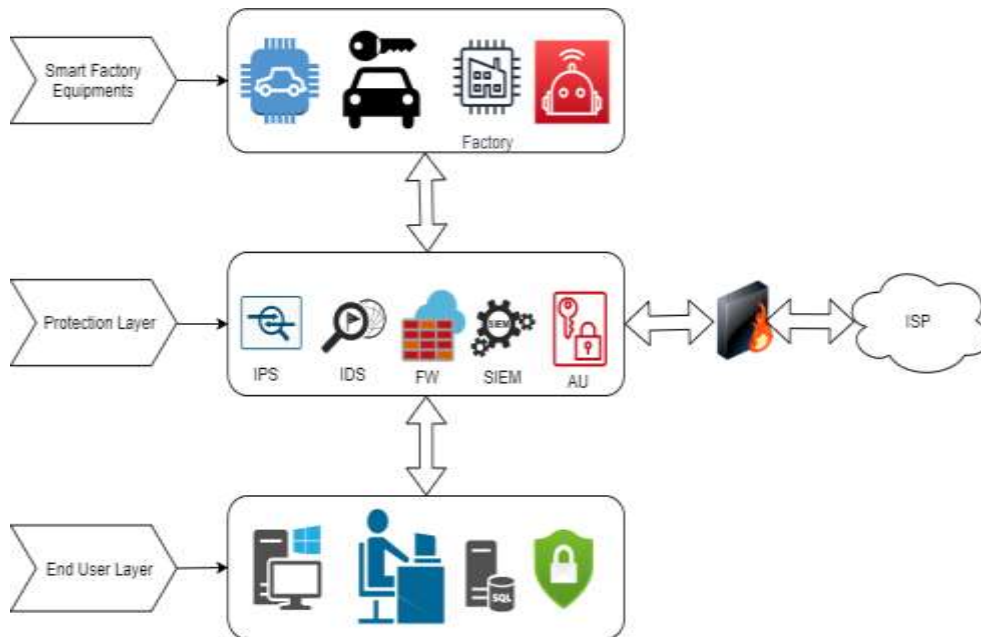


Figure 3. Using layered model [35].

The feature of using a layered structure is to protect other layers when there is weakness in one layer. In particular, software and hardware measures to be used between layers are expected to protect systems in terms of security. Each system installation may incur high costs in terms of initial installation, but these costs may decrease over the years. There is financial risk, security risk, strategic risk, compliance risk, and security risk in terms of applications made in smart factories. SCADA systems are used especially for the control of industrial equipment used in smart factories. When we exemplify the security weaknesses that may occur in these systems for automobile production, interruptions in automotive production, theft of information and projects, financial losses, and sabotage may become possible. For this reason, layered protection is important in terms of not interrupting production and sustainability. The most important feature of layered protection is that it is possible to prevent attackers from accessing other layers, depending on which layer the attack occurs.

IV. CONCLUSION AND DISCUSSION

Cyber security is of great importance in automobile production in smart factories. The production and increase in the automotive sector also increase the safe usage areas in this sector. In this study, Industry 4.0 and cyber security issues in automotive manufacturing are discussed and cyber attacks in the automotive sector and methods of protection from cyberattacks are mentioned. In Industry 4.0, the Fourth Industrial Revolution is assumed and businesses; move forward with their role of succeeding, creating value, creating strategy, competing, and changing the way it is implemented, which is still at the beginning of this subject. In this study, comprehensive and practical information is given to researchers who will work on this subject in the future. In this article, the automotive sector has been examined in terms of cyber security, and past cyber incidents in the automotive sector have been mentioned and should be adopted in some way. Increasing productivity in smart factory environments, that is, in the digital factory environment, is one of the greatest conveniences it provides. It is necessary to protect and filter from attacks. While providing network security with the help of the internet of things in smart factories, support should be sought when it is insufficient due to its complex structure. Production in smart factories should be protected against cyberattacks, especially with layered secure architectures. Layered models prevent an attacker from taking over entire systems. Therefore, smart factories need to be protected as a systemic whole. Industry 4.0 and cyber security were evaluated in terms of efficiency in automobile production facilities in smart factories. In future studies, efficiency analyzes can be put forward in production environments made according to industry 5.0 principles in smart factories. In addition, the reliability, sustainability of these systems, and the

cost risks that may arise in case of a cyber attack can be calculated. This article describes cyber systems and attacks in smart factory manufacturing. It was also written to facilitate research in the literature. Societies developing with Industry 4.0 will use the gains of new technologies as an advantage over Industry 5.0. Therefore, this development will have both social and technological security in the future.

V. REFERENCES

- [1] F. Özdemirci, M. Torunlar, 'Bilgi-değişim-siber güvenlik-bağımsızlık,' *Bilgi Yönetimi*, c.1, s.1, ss.78-83, 2018.
- [2] E. Çağlar, Türkiye'de yerelleşme ve rekabet gücü: Kümelenmeye dayalı politikalar ve organize sanayi bölgeleri, *Bölgesel Kalkınma ve Yönetişim Sempozyumu Kitabı*, TEPAV Yayını, Ankara, 2006, ss. 305-316.
- [3] N. Gabaçlı, M. Uzunöz, "IV. Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0 ve Otomotiv Sektörü," *International Congress on Politic, Economic and Social Studies*, Ankara, Türkiye, 2017.
- [4] K. C. Koca, "Industry 4.0: Chances and threats from the point of Turkey," *Sosyoekonomi Journal*, vol. 26, no. 36, pp. 245-252, 2018.
- [5] M. Lazoi, A. Corallo, "Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework," *Computers in Industry*, vol. 103, pp. 97-110, 2018.
- [6] X. Krasniqi, E. Hajrizi, "Use of IoT technology to drive the automotive industry from connected to fully autonomous vehicles," *IFAC-Papers Online*, vol. 49, no. 29, pp. 269-274, 2016.
- [7] A. C. Pereira, F. Romero, "A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1206-1214, 2017.
- [8] E. Kamber, G. İ. S. Bolatan, "Endüstri 4.0 Türkiye Farkındalığı," *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 11, no. 30, ss. 836-847, 2019.
- [9] İ. Akben, İ. İ. Avşar, "Endüstri 4.0 ve Karanlık Üretim: Genel Bir Bakış," *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, vol. 3, no. 1, ss. 26-37, 2018.
- [10] L. Monostori, B. Kadar, T. Bauernhansl, S. Kondoh, S. Kumara, G. Reinhart, and K. Ueda, 'Cyber-physical systems in manufacturing,' *Corp Annals*, vol. 65, no.2, pp. 621-641, 2016.
- [11] V. V. Martynov, D. N. Shavaleeva, A. A. Zaytseva, "Information Technology as the Basis for Transformation into a Digital Society and Industry 5.0," *2019 International Conference "Quality Management, Transport, and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS)*, 2019, pp. 539-543.
- [12] O. Doğan ve N. Baloğlu, 'Üniversite Öğrencilerinin Endüstri 4.0 Kavramsal Farkındalık Düzeyleri,' *TÜBAV Bilim Dergisi*, c.13, s. 1, ss. 126-142, 2020.
- [13] K. Atashgar, O. A. Zargarabadi, "Monitoring multivariate profile data in plastic parts manufacturing industries: An intelligent data processing," *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 8, pp. 38-48, 2017.
- [14] M. A. Arıcıoğlu, B. Yiğitöl, A. Yılmaz, "Endüstri 4.0 Üzerine Yöntem ve Literatür Çalışması: Türkiye'deki Lisansüstü Tez Çalışmaları," *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 57, ss. 293-324, 2018.

- [15] J. Hertin, K. Jacob, U. Pesch, and C. Pacchi, "The production and use of knowledge in regulatory impact assessment – An empirical analysis," *Forest Policy and Economics*, vol. 11, Issues 5–6, pp. 413-421, 2009.
- [16] Imascon, International Marmara Sciences Congress IMASCON 2020, *P. Book*, December 2020.
- [17] C. Daban, "Siber Güvenlik ve Uluslararası Güvenlik İlişkisi," *Cyberpolitik Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 78-94, 2016.
- [18] A. Çarkacıoğlu, "Kripto-para bitcoin, Sermaye piyasası kurulu araştırma dairesi araştırma raporu," Sermaye Piyasası Kurulu Araştırma Dairesi, Türkiye, 2016.
- [19] V. Roblek, M. Maja, and K. Alojz, "A complex view of industry 4.0.," *Sage Open*, vol. 6, no. 2, 2016.
- [20] H. Gökozan, M. Taştan, "Akıllı taşıtlar ve kontrol sistemleri," *Mesleki Bilimler Dergisi*, c.7, s. 2, ss. 58-62, 2018.
- [21] C. Özarpa, M. A. Aydın, İ. Avcı, 'International Security Standards for Critical Oil, Gas, and Electricity Infrastructures in Smart Cities: A Survey Study,' *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 183, pp. 1167-1179, 2021.
- [22] S. Park, Development of innovative strategies for the Korean manufacturing industry by use of the Connected Smart Factory (CSF). *Procedia Computer Science*, 91, pp. 744–750, 2016.
- [23] N. Biccocchi, G. Cabri, F. Mandreoli, & M. Mecella, Dynamic digital factories for agile supply chains: An architectural approach, *Journal of Industrial Information Integration*, 15, pp. 111–121, 2019.
- [24] H. Cai, L. Xu, B. Xu, C. Xie, S. Qin, & L. Jiang, IoT-based configurable information service platform for product lifecycle management, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.10, no. 2, pp. 1558–1567, 2014.
- [25] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee & B. Yin, Smart factory of Industry 4.0: Key technologies, application case, and challenges, *IEEE Access*, no. 6, pp. 6505–6519, 2017.
- [26] M. Afrin, J. Jin, A. Rahman, Y. C. Tian, & A. Kulkarni, Multi-objective resource allocation for edge cloud-based robotic workflow in smart factory, *Future Generation Computer Systems*, vol. 97, pp. 119–130, 2019.
- [27] D. K. Nilsson & U. E. Larson, Conducting forensic investigations of cyber attacks on automobile in-vehicle networks, *International Journal of Digital Crime and Forensics (IJDCF)*, 1(2), pp. 28-41, 2009.
- [28] A. Seetharaman, N. Patwa, V. Jadhav, A. S. Saravanan & D. Sangeeth, Impact of Factors Influencing Cyber Threats on Autonomous Vehicles, *Applied Artificial Intelligence*, vol.35, no. 2, pp. 105-132, 2021.
- [29] S. K. Khan, N. Shiwakoti, P. Stasinopoulos & Y. Chen, Cyber-attacks in the next-generation cars, mitigation techniques, anticipated readiness and future directions, *Accident Analysis & Prevention*, vol.148, pp.105837, 2020.
- [30] R. Bolz & R. Kriesten, Automotive Vulnerability Disclosure: Stakeholders, Opportunities, Challenges, *Journal of Cybersecurity and Privacy*, vol.1, no.2, pp. 274-288, 2021.

- [31] C. Özarpa, S. A. Kara, İ. Avcı, Siber Güvenlik Savunma Hiyerarşisinde Yeni Bir Eğitim Modeli, *4.Uluslararası Eğitim ve Değerler Sempozyumu ISOEVA-2020*, Karabük, Türkiye, 2020, ss. 939-947.
- [32] M. Koca, M. A. Aydın, A. Sertbaş, A. H. Zaim, 'A New Distributed Anomaly Detection Approach for Log IDS Management Based on Deep Learning,' *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, vol. 29, no. 5, pp. 2486-2501, 2021.
- [33] İ. Avcı, C. Özarpa, M. A. Aydın, "A Survey of International Security Standards for Smart Grids, Industrial Control System and Critical Infrastructure," *12th International Exergy, Energy and Environment Symposium (IEEEES-12)*, Doha, Qatar, 2020, pp. 421-424.
- [34] M. Piccarozzi, B. Aquilani, and C. Gatti, "Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review," *Sustainability*, vol. 10, no. 10, pp. 3821, 2018.
- [35] ISA. (2021, 25 Ağustos) [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa99>.
- [36] A. M. Shaaban, E. Kristen, & C. Schmittner, Application of IEC 62443 for IoT components. In *International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security*, 2018, pp. 214-223, *Springer, Cham*.
- [37] S. Suarez-Fernandez de Miranda, F. Aguayo-González, J. Salguero-Gómez, & M. J. Ávila-Gutiérrez, Life cycle engineering 4.0: A proposal to conceive manufacturing systems for industry 4.0 centred on the human factor (DfHFinI4. 0), *Applied Sciences*, vol.10, no.13, pp. 4442, 2020.



Düzce University Journal of Science & Technology

Araştırma Makalesi

Employing of 2-Acetylpyridine Based Chalcone as Hg²⁺ Sensing Material: Experimental and Theoretical Examination

 Ahmad Badreddin MUSATAT^{a,b},  Alparslan ATAHAN^{a,*},  Mecit AKSU^a,
 Mustafa ZENGİN^b

^a Department of Chemistry, Faculty of Arts & Sciences, Düzce University, Düzce, TURKEY

^b Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Sakarya University, Sakarya, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: alparslanatahan@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1148897

ABSTRACT

This study reports the evaluation of 2-acetylpyridine based chalcone structure as a useful sensing material for Hg²⁺ ion detection by the means of UV-visible spectroscopy. In this context, firstly, the most common twenty metal ions were treated by the chalcone structure which was synthesized from 2-acetylpyridine and 4-diphenylaminobenzaldehyde according to the known procedures. As result, the studied chalcone compound exhibited good sensing activity towards Hg²⁺ ion in acetonitrile/water medium with significant red-shift phenomenon. In addition, some photophysical/electronic parameters of the chalcone and its Hg²⁺ complex were determined experimentally and theoretically. B3LYP, PBE0 methods and SVP, TVZP, and TVZPP basis sets were used for theoretical calculations in acetonitrile media. Finally, experimental results were explained and the proposed sensing mechanism was supported via density functional theory (DFT) outputs.

Keywords: Chalcone, Sensors, UV/Vis Spectroscopy, Density functional theory

2-Asetilpiridin Bazlı Kalkonun Hg²⁺ Sensör Malzemesi Olarak Kullanılması: Deneysel ve Teorik İnceleme

ÖZ

Bu çalışma, Hg²⁺ iyonunun belirlenmesinde 2-asetilpiridin bazlı kalkon yapısının UV-görünür bölge spektroskopisi yardımıyla kullanışlı bir sensör malzemesi olarak değerlendirilmesini rapor etmektedir. Bu bağlamda, ilk olarak, en yaygın yirmi metal iyonu, bilinen reaksiyonlara göre 2-asetilpiridin ve 4-difenilaminobenzaldehitten sentezlenen kalkon yapısı ile etkileştirildi. Sonuç olarak, çalışılan kalkon bileşiği asetonytril/su ortamında önemli oranda kırmızıya kayarak Hg²⁺ iyonuna karşı oldukça iyi sensör aktivitesi gösterdi. Ayrıca, kalkonun ve onun Hg²⁺ kompleksinin bazı fotofiziksel/elektronik parametreleri deneysel ve teorik olarak belirlendi. Asetonytril ortamındaki teorik hesaplamalar için B3LYP, PBE0 metotları ile SVP, TVZP ve TVZPP temel setleri kullanıldı. En son olarak ise, deneysel sonuçlar açıklandı ve önerilen sensör mekanizması yoğunluk fonksiyon teorisi (DFT) çıktıları ile desteklendi.

Anahtar Kelimeler: Kalkon, Sensörler, UV/Vis Spektroskopisi, Yoğunluk fonksiyon teorisi

I. INTRODUCTION

Toxicology of mercury is well known by human being and exposure to all forms of it results in severe diseases [1]. For example, direct inhalation of mercury causes pulmonary diseases and chronic exposure to mercury results neurological and renal disorders [2]. Emitted mercury to the atmosphere later accumulated to aquatic media, then bioaccumulated to food chain [3]. There are many works on toxicology and measurement techniques of mercury in the literature [4-6].

Being one of the most toxic heavy metal, mercury, is a glossy white silver, odourless liquid and becomes colorless and odourless gas when it was heated. Mercury can exist mainly in three forms: metallic form, inorganic salt form and as organic complex. Every form has its own toxicity and biological activity effects. It has a severe, massive threat on the health in general beside its toxicity effects on the human beings even for other creatures as well. In general, numerous health measures have been undergoing to control and prevent metal toxicity at different levels [7]. Due to this reason, sensing and determination of mercury have been important for many years [8].

In addition to expensive instrumental techniques such as AAS and ICP, some inexpensive techniques using simple sensing materials are also available. In this context, some specially designed organic structures can serve as sensing materials against metal ions in these techniques. They can hold a metal ion by heteroatoms forming new complexes [9-12].

Chalcones, are a member of naturally occurring flavonoid family and have huge attracting potential as naturally occurred products due to their remarkable biological properties such as anticancer, enzyme inhibitor, antibacterial, and antifungal [13-16], can also be used as sensing materials in mentioned techniques. Thus, numerous studies investigating of the synthesis methods and evaluation in novel applications of these compounds have been reported [17-20].

In this study, we have reported an easy, cheap and rapid method for the detection of Hg^{2+} ions by a known chalcone ligand (ChL) structure, (E)-3-[4-(diphenylamino)phenyl]-1-(pyridin-2-yl)prop-2-en-1-one, using spectrophotometric techniques. In addition, geometric optimizations, electronic structures, and other energy parameters of the mentioned ligand and complex structures were studied by the help of computational calculations to illustrate the sensing mechanism. The B3LYP and PBE0 functionals were tested for the geometry and other electronic calculations by using different basis sets (SVP, TVZP, and TVZPP).

II. RESULTS AND DISCUSSION

A. SYNTHESIS

The studied chalcone based chemosensor ligand (ChL: (E)-3-[4-(diphenylamino)phenyl]-1-(pyridin-2-yl)prop-2-en-1-one) was obtained as in Fig. 1 according to the previous literature procedures. [21-23] 1H -NMR and ^{13}C -NMR spectra were compared with related literature and the structure of chalcone based ligand (ChL) was verified as in Fig 1.

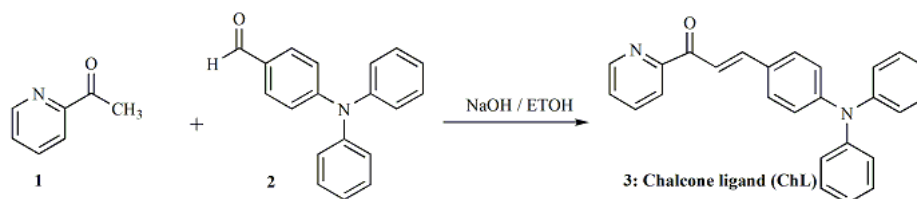


Fig. 1 Synthesis of chalcone ligand (ChL).

B. SENSING STUDIES

In this study, the synthesized chalcone ligand (ChL) has been investigated for its sensing behavior against common metal ions. In the chalcone structure, 2-acetylpyridine residue provides binding site for potential ion selectivity. Besides, triphenylamine derived aldehyde residue provides electron donation throughout the chalcone skeleton to advance the photophysical properties. In order to authenticate the photophysical nature of the ChL, firstly, absorption spectrum has been recorded in acetonitrile (10^{-5} M). In this medium, the main absorption band related with π - π^* transition was observed at around 432 nm. At this point, any changing on this spectrum by the coordination of any metal ion may signify that the chalcone compound can be used as a turn-on chemosensor. For this reason, to find out the considerable changes in the spectrum of the ChL by the interaction with any metal ions, subsequent experiments were carried out. The interaction between the ChL and a series of common metal ions such as Na^+ , Cd^{2+} , Ag^+ , K^+ , Li^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , and Al^{3+} were monitored by UV-Vis spectroscopy. For this target, 10^{-4} M water solutions (0.5 ml) of metal nitrate salts were added to 10^{-5} M ChL solution (5.0 ml). During this detection process, a strong red-shift was shown only by addition of Hg^{2+} ion and the color of the solution has clearly turned to blue from yellow (Fig. 2). This red-shift phenomenon may signify the interaction between the ChL and Hg^{2+} ion in the mixture of acetonitrile/water (10:1, v/v). The resulting new signal appeared at 592 nm in the absorption spectrum (Fig. 3) of the mixture. Based on the absorption responses of chalcone derivative against studied metal ions, it can be suggested that the ChL can serve as a highly selective Hg^{2+} ion sensing material.



Fig. 2 Colorimetric change of ChL solution after addition of metal ions (1:1 metal-ligand stoichiometry in acetonitrile/water 10:1).

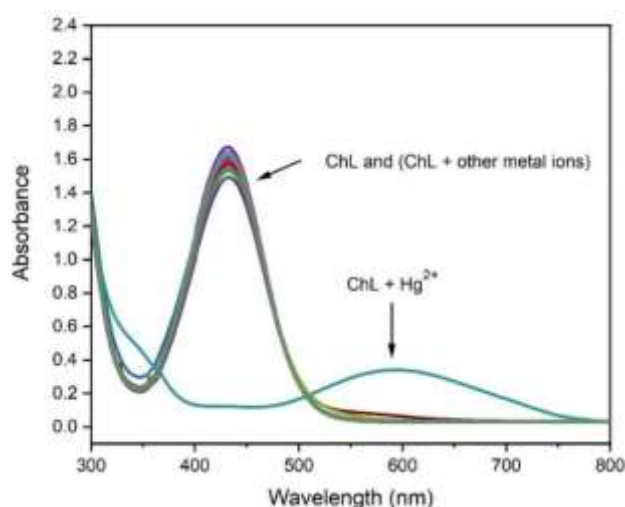


Fig. 3 Absorption spectra of the ChL with different metal ions (1:1 metal-ligand stoichiometry in acetonitrile/water 10:1).

To illuminate the binding stoichiometry between the ChL and Hg^{2+} , Job's plot experiments were performed. The intensity of the absorbance (592 nm) was monitored by increasing the molar ratio of Hg^{2+} . It can be clearly seen from Fig. 4A, measured absorbances exhibit a maximum at 0.5 molar fraction indicating the formation of 1:1 ratio of the ChL and Hg^{2+} ion. In order to obtain more evidence about binding mechanism of ChL toward Hg^{2+} ions, titration experiment was carried out using the solution of the ChL (10^{-5} M) in presence of increasing equimolar amounts of Hg^{2+} (0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0). In the titration study, the addition of Hg^{2+} gradually increased absorbance for the band at 592 nm up to 1.0 equivalent which support a 1:1 stoichiometry (Fig. 4B). Besides, addition of more Hg^{2+} exhibited no significant change in the absorption intensity. Further, binding stoichiometry was supported via mass analysis. The peak at 721.28 m/z indicates the structure of $[(\text{ChL})+\text{Hg}^{2+}+2x\text{NO}_3^-+\text{H}_2\text{O}+\text{H}^+]$ (calcd: 721.12). Because of the formation of more rigid and planar orientation and restriction of the rotation of pyridine ring, a new transition band was appeared in absorption spectrum of the final structure. Thus, the ChL serves as a Hg^{2+} ion sensor by the absorbance based process with 1:1 stoichiometric factor.

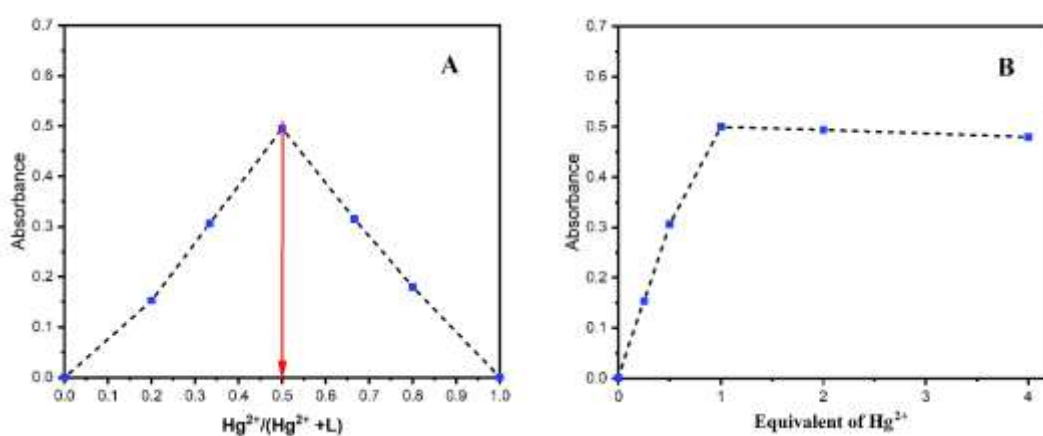


Fig. 4 Job's plot (A: 2×10^{-5} M total concentration) and titration (B) experiments in acetonitrile/water mixture.

One of the most important factors is the response time which should be considered in the detection process of an analyte for practical applications. It is expected that the response to an analyte should be as rapid as possible. From Fig. 5A, it can be clearly seen that the maximum value of absorption intensity was almost shown within 15-30 minutes due to the rapid response performance of the ChL towards Hg^{2+} ions at ambient temperature. Therefore, all spectra were recorded after standing an hour upon addition of Hg^{2+} unless otherwise mentioned. Moreover, the absorbance profile of the ChL and Hg^{2+} mixture remained unchanged during a long time (24 hours) indicating that the ChL- Hg^{2+} complex is quite stable. On the other hand, slightly heating up of the mixture up to 40-50 °C resulted in a faster response in a few minutes. Based on its good response time and stability of the resulting complex, the ChL presents a rapid and reasonable detection strategy for Hg^{2+} . On the other hand, a different important factor is actually pH effect on the sensing behavior and this parameter may affect the reliable working range of the sensor. Herein, the pH effect investigations showed that the determination of Hg^{2+} ions is operative only under acidic conditions ($\text{pH} \leq 6$) (Fig. 5B). Neutral and basic conditions did not response for the determination of Hg^{2+} ions.

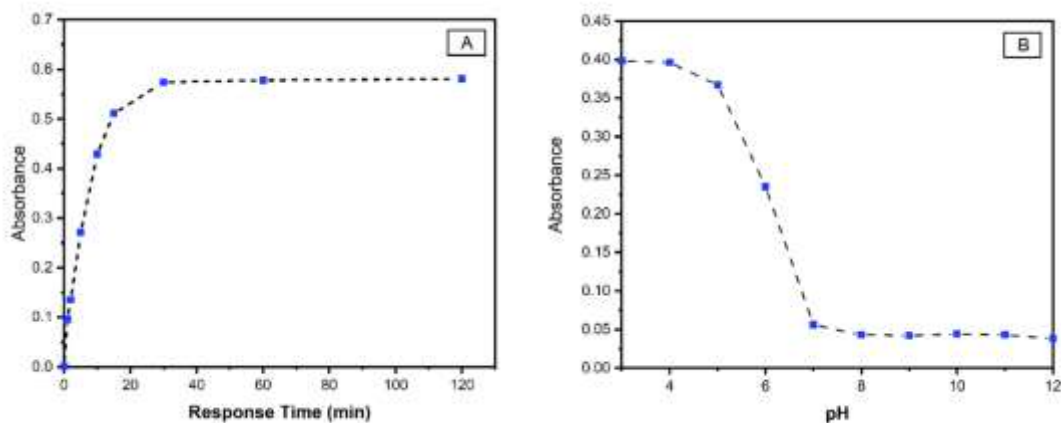


Fig. 5 Response time of the ChL towards Hg²⁺ ion (A) and pH effect on Hg²⁺ detection (B) (1:1 metal-ligand stoichiometry).

To investigate the effect of other metal ions during Hg²⁺ ion sensing of the ChL, interference tests were performed by mixing of the ChL, Hg²⁺ and other competitive metal ion. Absorption intensities of each solution at 592 nm were measured one hour later and the obtained results were illustrated in Fig. 6. As seen in Fig. 6, the test mixtures including other competitive metal ions displayed almost same absorption profile compared to the ChL+Hg²⁺ mixture. This indicates that Hg²⁺ ion sensing ability of the ChL was not considerably affected by the presence of other ions and this means that the ChL exhibited promising selectivity for Hg²⁺ ion compared to other metal ions.

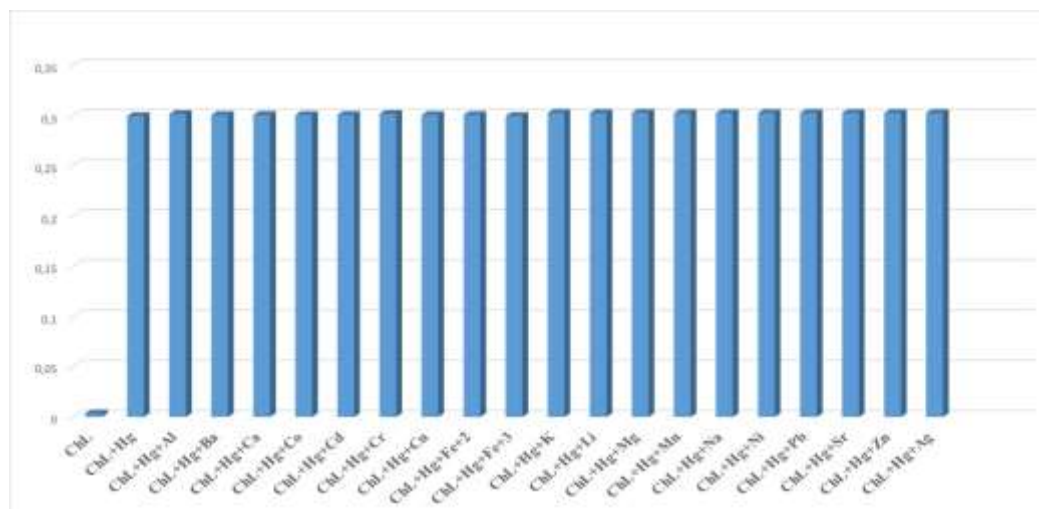


Fig. 6 The effects of other metal ions on Hg²⁺ detection ($\sim 10^{-5}$ M, 1:1:1 stoichiometry in acetonitrile/water 10:2).

Finally, considering the sensing studies, the Job's plot, titration experiment, and mass analysis result, Hg²⁺ ion has been clearly bonded to the studied ligand compound (ChL) at 1:1 equivalent and it can be said that the final structure of the resulting complex is as in Fig 7.

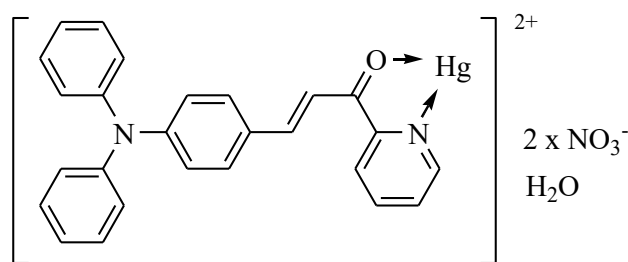


Fig. 7 Proposed structure of the ChL-Hg²⁺ complex.

C. THEORETICAL STUDIES

In order to verify the proposed sensing mechanism, geometric optimizations and theoretical calculations of the ChL and ChL-Hg²⁺ complex were performed. Thanks to TD-DFT calculations, frontier orbital energy differences, and absorption profiles of the studied compounds (ChL and ChL-Hg²⁺) were determined. Then, the obtained energy differences and absorbance results were organised in Table 1. Moreover, experimental energy differences between HOMO and LUMO were also calculated by the Tauc-Plot method [24]. When looked at the calculation results in Table 1, it can be seen the differences in frontier MO energies and λ_{\max} values before and after Hg²⁺ binding to the ChL. Considering the experimental and theoretical frontier orbital energy differences, B3LYP was more suitable method for the chalcone ligand (ChL) while PBE0 is better for ligand-metal structure (Fig. 8). On the other hand, theoretical absorption λ_{\max} values were close to experimental result for both the ChL and ChL-Hg²⁺ for studied methods (Fig. 9). As result, calculated HOMO-LUMO energy differences and significant red-shift in theoretical UV spectra were in accordance with observed experimental results.

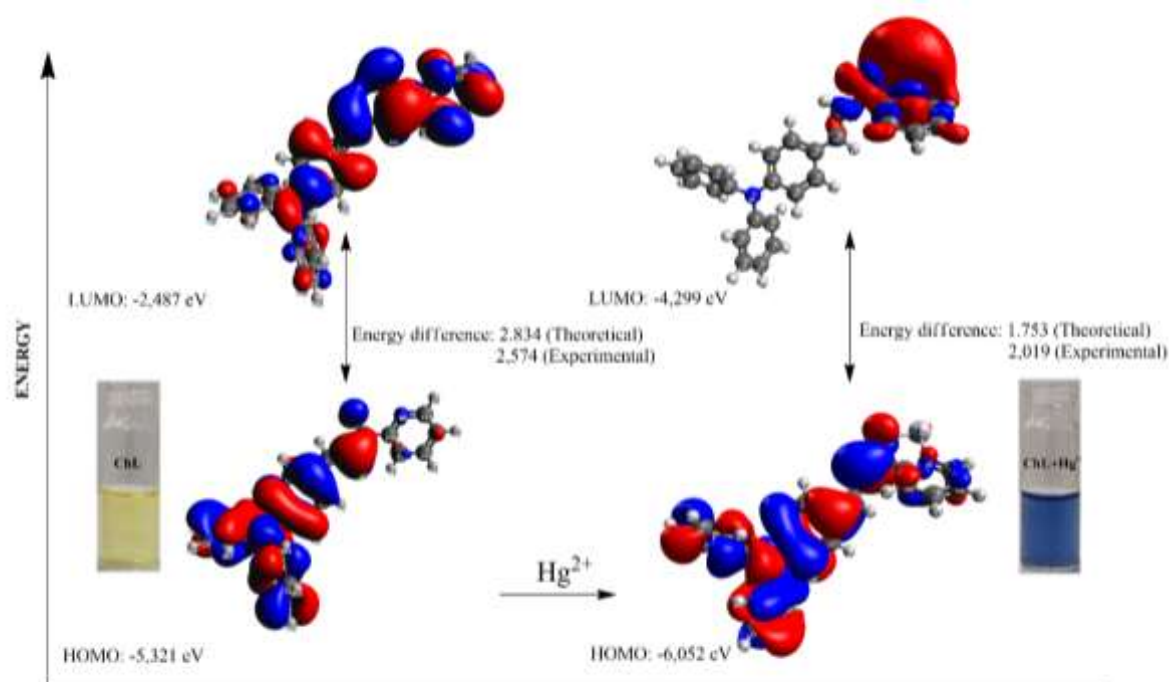


Fig. 8 HOMO and LUMO diagrams of the ChL and ChL-Hg²⁺ complex.

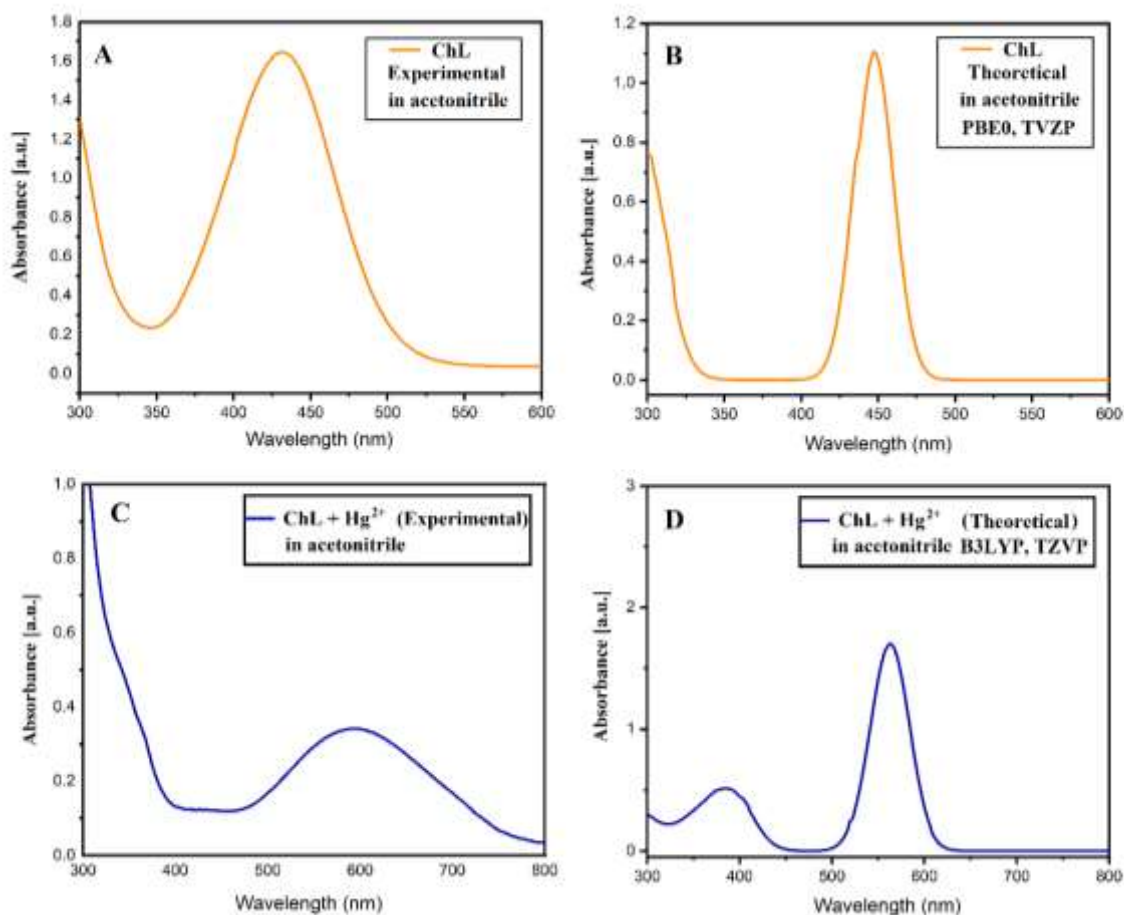


Fig. 9 Comparison of the experimental and theoretical UV/vis spectra of the ChL and ChL-Hg²⁺ complex.

Table 1. Theoretical and experimental UV spectra of the ChL and ChL-Hg²⁺ complex.

	Method/ Basis sets	Energy difference (eV)			λ_{max} (Abs., nm)		
		B3LYP	PBE0	Exp.	B3LYP	PBE0	Exp.
ChL	SVP	2.904	3.232		462	438	
	TZVP	2.834	3.151	2.574	473	451	432
	TZVPP	2.833	3.151		473	451	
ChL+Hg²⁺	SVP	1.132	1.765		560	538	
	TZVP	1.155	1.753	2.019	555	538	592
	TZVPP	1.155	1.754		555	538	

III. EXPERIMENTAL

A. GENERAL

All chemicals were purchased from the Sigma-Aldrich, Merck, and Fluka with high-grade purity and used without further purification. The used solvents were distilled according to the standard procedures. Ultrapure distilled water was used to prepare metal solutions. Acetonitrile with gradient grade for liquid chromatography was used as a solvent in metal sensing studies. The NMR spectra were obtained by a Bruker 400 MHz instrument in CDCl₃ using TMS as internal standard. The UV measurements were

realized in a quartz cell of 1 cm optical path length by PG instruments T80+ double beam UV-vis spectrophotometer at room temperature. The melting point was measured by Electrothermal IA 9100. The geometric optimizations and theoretical calculations were performed via ORCA 5.0.2 [25,26] open source code. These theoretical calculations were performed for acetonitrile media and the outputs visualized Avogadro 1.2.0 [27,28] as graphical user interface.

B. SYNTHESIS

The studied chalcone based chemosensor ligand (**ChL**: (E)-3-[4-(diphenylamino)phenyl]-1-(pyridin-2-yl)prop-2-en-1-one) was obtained as in Fig. 1 according to the previous literature procedures [21-23]. First of all, 0.242g of 1-(pyridin-2-yl)ethanone and 0.546g of 4-(diphenylamino)benzaldehyde were dissolved in 20 ml of ethanol in the presence of 0.08 g of NaOH at room temperature. After completing reaction, 20 mL water was added to the mixture and neutralised with addition of diluted HCl solution. Then, the mixture was extracted by using 3x20 ml of dichloromethane and organic phase dried on Na₂SO₄. After filtration and evaporation of volatiles, the crude product recrystallized in MeOH/DCM solvent system. The structure of chalcone based chemosensor compound (ChL) was verified by NMR techniques. Melting point was found as 193 °C (Ref: 467 K). ¹H-NMR, ¹³C-NMR spectra and melting point were found to be identical with the ones described in Ref. [21-23].

C. SENSING STUDIES

The stock solutions of ChL in acetonitrile (10⁻⁵ M) and metal solutions (10⁻⁴ M) in pure water were freshly prepared and metal sensing studies were performed with 1:1 stoichiometry by addition of metal solution (0.5 ml) to the ChL solution (5 ml). Using the UV spectrophotometric technique after one-hour timing, we investigated the changes in absorbance of chalcone ligand after addition of metal solutions. The results showed that the chalcone compound can be specific and selectively detecting substance for Hg²⁺ ions, and then cause a remarkable color change from yellow to blue. The Britton-Robinson buffer solutions were used to determine pH effect on sensing behavior. Time-dependent absorbance changings were monitored after mixing the chalcone ligand with Hg²⁺ solution at 1:1 equivalents in 24 hours period. The interaction between metal and ligand was investigated with the Job's plot method. Spectrophotometric titrations were made at constant ligand concentration [10⁻⁵ M] and varying Hg²⁺ equivalents [0-4 equivalents]. Competition tests were performed by using a mixture of ChL (1.0 eq.), Hg²⁺ ion (1.0 eq.) and other competitive metal ions (1.0 eq.).

D. THEORETICAL STUDIES

In order to calculate the electronic properties of ground state ChL and ChL-Hg²⁺ complex, we performed DFT and TD-DFT studies via ORCA 5.0.2 [25,26] open source DFT code by using an overclocked CPU Ryzen 5 3600 (4.1 GHz) with 24 GB of RAM. These calculations were carried out using two methods (B3LYP, PBE0) and three basis sets (def2-SVP, def2-TVZP, def2-TVZPP) in acetonitrile as solvent. Implicit solvation was included through the C-PCM model [29]. Also, the outputs visualized by Avogadro 1.2.0 [27, 28] as graphical user interface and the obtained HOMO-LUMO energy difference results and absorption data were tabulated in Table 1.

IV. CONCLUSION

In summary, a known compound, (E)-3-[4-(diphenylamino)phenyl]-1-(pyridin-2-yl)prop-2-en-1-one, has been re-synthesized and evaluated as a Hg²⁺ ion sensing material. The ChL showed an absorption band at 432 nm and a significant naked eye red-shift response towards Hg²⁺ ions in 10:1 acetonitrile-water medium. New absorption band has been shown at 592 nm and it can be said that this absorption band was observed due to the formation of Hg²⁺ complex resulting new electronic transitions and blocking conformational rotations. By considering this and other experimental results, it can be deduced 1:1 binding stoichiometry for the resulting ChL-Hg²⁺ structure. Also, the ChL exhibited acceptable

response time and quite good sensitivity towards Hg^{2+} ions. In contrast to promising selectivity, sensitivity and response time of ChL, the reliable working range is limited only under acidic conditions. In addition, theoretical studies were performed to explain the sensing mechanism and the outputs supported this complex formation in 1:1 stoichiometry by the means of frontier molecular orbital energy differences and calculated absorption results. Consequently, this report presents a quite convenient method to detect Hg^{2+} ions by a 2-acetyl pyridine based chalcone structure.

ACKNOWLEDGEMENT: The authors are thankful to Department of Chemistry in Düzce University and Department of Chemistry in Sakarya University for the laboratory facilities.

V. REFERENCES

- [1] T.W. Clarkson, "The toxicology of mercury, critical reviews in clinical laboratory sciences," *Crit Rev Clin Lab Sci*, vol. 34, no. 4, pp. 369-403, 1997.
- [2] L. Bensefa-Colas, P. Andujar, A. Descatha, "Intoxication par le mercure," *Rev Med Interne*, vol. 32, no. 7 pp. 416-424, 2011.
- [3] K. Lohman, P. Pai, C. Seigneur, L. Levin. "Sensitivity analysis of mercury human exposure," *Sci Total Environ*, vol. 259, pp. 3-11, 2000.
- [4] T. W. Clarkson, "Human toxicology of mercury," *J Trace Elem Exp Med*, vol. 11, pp. 303-317, 1998.
- [5] S. K. Pandey, K.H Kim, R.J.C Brown, "Measurement techniques for mercury species in ambient air," *RJC Trends Anal Chem*, vol. 30, no. 6, pp. 899-917, 2011.
- [6] S.M. Wilhelm, N. Bloom, "Mercury in petroleum," *Fuel Process Technol*, vol. 63, pp 1-27. 2000.
- [7] R. Wagemann, E. Trebacz, G. Boila, W.L. Lockhart, "Mercury species in the liver of ringed seals," *Sci Total Environ*, vol. 261, pp. 21-32 2000.
- [8] N.J. Langford, R.E. Ferner J, Hum, "Toxicity of mercury," *Hypertens*, vol. 13, pp. 651-656.
- [9] E. Orhan, E. Ergun, K. Şarkaya, Ü. Ergun, "A novel benzimidazole-based chemosensor for fluorometric determination of zinc ions," *J Fluoresc*, vol. 31, pp. 1833-1842, 2021.
- [10] E. Halay, "Cation sensing by a novel triazine-cored intermediate as a fluorescent chemosensor incorporating benzothiazole fluorophore," *Res Chem Intermed*, vol. 47, pp. 4281-4295, 2021.
- [11] A. Ciupa, M.F. Mahon, P.A. De Bank, L. Caggiano, "Simple pyrazoline and pyrazole "turn on" fluorescent sensors selective for Cd^{2+} and Zn^{2+} in MeCN," *Org. Biomol. Chem*, vol. 10, pp. 8753-8757, 2012
- [12] Y. Chen, T. Tang, Y. Chen, D. Xu, "Novel 1,8-naphthalimide dye for multichannel sensing of H^+ and Cu^{2+} ," *Res Chem Intermed*, vol. 44, pp. 2379-2393, 2018.
- [13] B. Ngameni, K. Cedric, A.T. Mbaveng, M. Erdoğan, I. Simo, V. Kuete, A. Daştan, "Design, synthesis, characterization, and anticancer activity of a novel series of O-substituted chalcone derivatives," *Bioorg Med Chem Lett*, vol. 35 no. 127827, 2021.

- [14] N. Gencer, C. Bilen, D. Demir, A. Atahan, M. Ceylan, M. Kucukislamoglu, "In vitro inhibition effect of some chalcones on erythrocyte carbonic anhydrase I and II," *Artif Cells Nanomed Biotechnol*, vol. 41, no. 6, pp. 384-388, 2013.
- [15] S. Narwal, S. Kumar, P. Kumar Verma, "Synthesis and biological activity of new chalcone scaffolds as prospective antimicrobial agents," *Res Chem Intermed*, vol. 47, pp. 1625-1641, 2021.
- [16] I. Karaman, H. Gezegen, M.B. Gurdere, A. Dingil, M. Ceylan, "Screening of biological activities of a series of chalcone derivatives against human pathogenic microorganisms," *Chem Biodivers*, vol. 7, no. 2, pp. 400-408, 2010.
- [17] A. Gupta, S. Garg, H Singh, "Development of chalcone based derivatives for sensing applications," *Anal Methods*, vol. 12, pp. 5022-5045, 2020.
- [18] S.W. Khor, Y.K. Lee, M.R. Bin Abas, K.S. Tay, "Application of chalcone-based dithiocarbamate derivative incorporated sol-gel for the removal of Hg (II) ion from water," *J Sol-Gel Sci Technol*, vol. 82, pp. 834-845, 2017.
- [19] S.H. Mashraqui, T. Khan, S. Sundaram, S. Ghadigaonkar, "Phenothiazine-pyridyl chalcone: an easily accessible colorimetric and fluorimetric 'on-off' dual sensing probe for Cu²⁺," *Tetrahedron Lett*, vol. 49, pp. 3739-3743, 2008.
- [20] A.M. Asiri, M.M. Al-Amari, S.A. Khan, "Synthesis of nitrogen containing chalcone: a highly sensitive and selective fluorescent chemosensor for the Fe³⁺ metal ion in aqueous media," *J Fluoresc*, vol. 30, pp. 969-974, 2020.
- [21] C. Fan, X. Wang, "(E)-3-[4-(Diphenylamino)phenyl]-1-(pyridin-2-yl)prop-2-en-1-one," *Acta Cryst*, vol. 68, pp. o417, (2012)
- [22] Z. Liang, X. Wang, G. Dai, C. Ye, Y. Zhou, X. Tao, "The solvatochromism and aggregation-induced enhanced emission based on triphenylamine-propenone," *New J Chem*, vol. 39, pp. 8874-8880, 2015.
- [23] C. Fan, C. Ye, X. Wang, Z. Chen, Y. Zhou, Z. Liang, X. Tao, "Synthesis and electrochromic properties of new terpyridine-triphenylamine hybrid polymers," *Macromolecules*, vol. 48, no. 18, 6465-6473, 2015.
- [24] J. Tauc "Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si," *Mater Res Bull*, vol. 3, no. 37-46, 1968.
- [25] F. Neese, "The ORCA program system," *Wiley Interdiscip Rev Comput Mol Sci*, vol. 2 no. 1, pp. 73-78, 2012.
- [26] S. Majumder, A. Pramanik, S. Mandal, S. Mohanta, "Experimental and theoretical exploration of sensing and magnetic properties of a triply bridged dicopper(ii) complex: the first discrete metal complex to sense picric acid in pure water," *J Photochem Photobiol*, vol. 38 no. 111987, 2019. J
- [27] T. Cornell, G.R. Hutchison. (2022, July 20). *Avogadro: An Open-Source Molecular Builder and Visualization Tool* [Online]. Available: <http://avogadro.cc>
- [28] M. D. Hanwell, D. E. Curtis, D. C. Lonie, T. Vandermeersch, E. Zurek, G. R. Hutchison, "Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform," *J Cheminformatics* vol. 4, no. 1, pp. 1-17, 2012.

[29] V. Barone, M. Cossi, "Quantum calculation of molecular energies and energy gradients in solution by a conductor solvent model," *J Phys Chem A*, vol. 102, no. 11, pp. 1995-2001, 1998.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Impact of Some Entomopathogenic Fungi on the Growth of *Zea mays* L. and *Helianthus annuus* L.

Fadime DONBALOĞLU BOZCA^{a,*}, Ardahan ESKİ^b, Sema LEBLEBİCİ^c

^a Institute of Graduate Education, Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, TURKEY

^b Program of Biomedical Equipment Technology, Vocational School, Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, TURKEY

^c Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Sciences, Bilecik Şeyh Edebali University, Bilecik, TURKEY

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

DOI:10.29130/dubited.1086307

ABSTRACT

Entomopathogenic fungi, a promising alternative to conventional insecticides, have been widely used as biocontrol agents for the regulation of pest populations. Furthermore, recent studies have shown that entomopathogenic fungi also have growth-promoting properties in plants. The purpose of this investigation was to assess the effects of indigenous entomopathogenic fungi strains, *Beauveria bassiana* Pa4, *Cordyceps fumosorosea* KTU-42, and *Metarhizium flavoviride* As-18, on the germination and early development period of sunflower and maize plants. In this study, it was determined that EPF application did not affect the seed germination percentage in maize, but increased the germination percentage of sunflower seeds. It was determined that *M. flavoviride* application significantly increased root-stem weight, root length, stem diameter and biomass in sunflower samples compared to other EPF applications and control. In maize, it was determined that EPF applications had a positive effect only on root length. The most effective fungus to increase growth on maize plants was *C. fumosorosea* KTU-42. On the other hand, the same result was obtained with *M. flavoviride* As-18 on sunflower plants. The present study reported that these fungi promote plant development and should be considered an important factor in plant production besides pest management.

Anahtar Kelimeler: Entomopathogen fungus, Germination, Plant growth, Maize, Sunflower

Bazı Entomopatojenik Fungusların *Zea mays* L. ve *Helianthus annuus* L.'nin Büyümesi Üzerindeki Etkisi

ÖZET

Geleneksel insektisitlere umut verici bir alternatif olan entomopatojenik funguslar, bitki zararlı popülasyonlarının azaltılması için biyokontrol ajanları olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, son çalışmalar, entomopatojenik fungusların bitkilerde büyümeyi teşvik edici özelliklere de sahip olduğunu göstermiştir. Bu araştırmanın amacı, yerli entomopatojenik fungus suşları olan *Beauveria bassiana* Pa4, *Cordyceps fumosorosea* KTU-42 ve *Metarhizium flavoviride* As-18'in ayçiçeği ve mısırın çimlenme ve erken gelişme periyodu üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Bu çalışmada, EPF uygulamasının mısırdaki tohum çimlenme yüzdesini etkilemediği ancak ayçiçeği tohumlarının çimlenme yüzdesini artırdığı tespit edilmiştir. Ayçiçeği örneklerinde *M. flavoviride* uygulamasının diğer EPF uygulamalarına ve kontrole göre kök-gövde ağırlığını, kök uzunluğunu, gövde çapını ve biyokütleyi önemli ölçüde artırdığı belirlendi. Mısırdaki ise EPF uygulamalarının sadece kök uzunluğuna olumlu etki yaptığı belirlendi. Mısır bitkilerinde büyümeyi arttırmada en etkili mantar *C. fumosorosea* KTU-42 oldu.

Ayçiçeği bitkilerinde ise *M. flavoviride* As-18 ile aynı sonuç elde edilmiştir. Bu çalışma, bu mantarların bitki gelişimini desteklediğini ve zararlı yönetiminin yanı sıra bitki üretiminde önemli bir faktör olarak görülmesi gerektiğini bildirmiştir.

Keywords: Entomopatojen fungus, Çimlenme, Bitki büyümesi, Mısır, Ayçiçeği

I. INTRODUCTION

Some synthetic chemicals called pesticides are used to prevent losses in crop yield and quality in plants and to eliminate the effects of biotic-abiotic stresses. The use of these chemicals causes soil pollution and has long-term negative consequences for the environment [1], [2], [3]. In recent years, the use of entomopathogenic fungi (EPF) as an alternative to pesticides, especially in the biocontrol of insects, which is among the biotic stress factors, has come to the fore and attracted a lot of attention due to its agronomic importance [4], [5], [6]. Plants maintain a symbiotic life with endophytic fungi that live inside their tissues but cause no harm. Although the plant-fungi relationship is a symbiotic life, these fungi do not need plants to live and can survive without plants [7, 8]. Entomopathogenic fungi directly or indirectly promote plant growth. Transforming atmospheric nitrogen into a form that the plant can use, improving water transport, increasing the uptake of potassium and phosphorus, which are necessary for growth and development, and promoting the synthesis of phytohormones are among the direct effects it provides to the plant. It is known that they are effective in the synthesis of indole-3-acetic acid, which is in the auxin group of plant growth regulators, which is especially important in cell elongation, cell division, and differentiation. Indirect effects are antibiotics, siderophores, metabolites with low molecular weight such as hydrogen cyanide, synthesis of enzymes, inhibition of ethylene production, suppressing the negative effects of phytopathogens and thus reducing the stress effect [9], [5]. More than 700 fungal species belonging to 90 genera, including entomopathogenic fungi in the rhizosphere, are defined as insect pathogens. Research on these fungi; focused on the taxonomy, phylogeny, mode of action, and use of fungi as a biocontrol agent. *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill., *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin, *Isaria* spp. and *Lecanicillium* spp. are some of the entomopathogenic fungi that can colonize the plant and are used as biopesticides against insect pests [8]. Different species of *Beauveria* produce oxalic and citric acids, as well as formic, lactic, orotic acids. These organic acids change the pH of the medium. Iron is required for fungal cell growth. *B. bassiana* produces siderophores that play an important role against cellular stress caused by iron deficiency [7]. *Metarhizium anisopliae* reduces the effects of salt stress on plants. The presence of *B. bassiana* and *Isaria fumosorosea* in cabbage plants grown under artificial light and in the absence of water reduces the effect of these stress factors [10].

Maize is an important industrial plant used as a raw material in the production of vegetable-origin protein, starch, glucose, and oil. Maize, which is a monocot plant, is very selective in terms of soil requirements. The plant has hairy roots, like warm, nutrient-rich, well-aerated soils with a pH of 6-7 [11], [7]. Sunflower is an important industrial plant cultivated in more than 70 countries with suitable climatic conditions [12], [13]. It is used in industry to make paint and soap and its pulp is used as feed, especially in cattle breeding, with its rich nutritional content. The optimum temperature for plant growth and flowering is between 21-24°C. It develops optimally in soils that hold moisture well [14].

The aim of this study is to reveal the effects of three different entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana*, *Cordyceps fumosorosea* (formerly known *Isaria fumosorosea*), and *Metarhizium flavoviride*, on germination and early development period in sunflower and maize by examining their morphological characteristics.

II. MATERIALS AND METHODS

A. PREPARATION OF FUNGAL SUSPENSIONS

Entomopathogenic fungi were provided from the entomopathogen culture collection at Karadeniz Technical University. Fungal strains, *B. bassiana* Pa4, *C. fumosorosea* KTU-42 and *M. flavoviride* As-18, were spread on Sabouraud dextrose agar (SDA) supplemented with 1% yeast extract and incubated at $28 \pm 2^\circ\text{C}$, RH > 60% for two weeks in continuous darkness. Then, a sterile liquid solution of 0.1% Tween80 (10 ml) was added to the petri dishes, and conidia were harvested from the medium surface using a sterile scalpel. Conidial suspensions were filtered through a double layer of sterile cheesecloth and stirred for 5 min to homogenize the preparations. The conidial concentration was determined using a Neubauer hemocytometer and adjusted to 1×10^8 conidia ml^{-1} . The viability of conidia was observed microscopically (100 \times) after incubation for 24 h at 26°C on SDA plates. Conidium was considered to have germinated if the germ tube was longer than the diameter of the conidium. Cultures that had more than 90 % conidial viability were used in experiments.

B. GROWING OF PLANTS

The effects of fungi on seed germination and the early development of *Z. mays* and *H. annuus* were evaluated. Sunflower seeds (SY Suzuka) were obtained from Ziya Organic Agricultural Enterprises and maize seeds (ADA523) were obtained from Sakarya Maize Research Institute. The pots (15 \times 25 cm) containing soil (N (%), 3.07; Ca, 617.4 ppm; K, 1163.0 ppm; Mg, 651.0 ppm; and P, 7.396 ppm; Cu, 4.736 ppm; Fe, 50.3 ppm; Mn, 12.73 ppm; Zn, 24.13 ppm; and B, 2.48 ppm in 100 g soil) were inoculated with 100 ml of 1×10^8 conidia/ml fungal suspensions and incubated in a climate chamber at 25°C , 60% RH, and an L16:D8 light cycle [15]. A sterile liquid solution of 0.1% Tween80 was used in the control group. Three days after fungi inoculation, randomly selected ten seeds sterilized by 10% sodium hypochlorite (NaOCl) were planted in each pot, irrigated with sterile distilled water, and grown in the climate chamber for two months. Experiments were repeated three times.

C. PLANT GROWTH MEASUREMENTS

Two months after seed planting, root and stem length were measured with a ruler. Stem diameters were measured with a digital caliper. After weighing the root and stem fresh weights with precision scales, the samples were left to dry overnight at 105°C . The weight of the dried root and stem samples was measured with a precision balance. Then root and stem biomass were calculated according to Sulus and Leblebici (2020) with minor adjustments [16].

D. STATISTICAL ANALYSIS AND EVALUATION OF RESULTS

The results obtained by comparing three different fungi applications with the control group were evaluated statistically by applying one-way ANOVA and Duncan test, one of the multiple comparison tests, in the Graphpad program.

III. RESULTS

All maize seeds germinated in fungi-treated and control group (Table 1). The treatment of conidial suspensions (*B. bassiana* Pa4, *C. fumosorosea* KTU-42 and *M. flavoviride* As-18) to maize plants increased root and stem lengths as compared to control treatment with 0.1% Tween80 two months after application ($p < 0.01$). Also, the best root and stem growth was seen in *C. fumosorosea* treated plants. Two months after inoculation the following average root and stem lengths \pm SD were found, respectively: *B. bassiana* = $70.57 \text{ cm} \pm 0.55$; $65.4 \text{ cm} \pm 0.36$; *M. flavoviride* = $65.9 \text{ cm} \pm 0.53$; 66.4 cm

± 0.3 ; *C. fumosorosea* = 75.75 cm \pm 0.46; 70.57 cm \pm 0.21; and control = 62.33 cm \pm 0.76; 62.83 cm \pm 0.25 (Figure 1a and 1b).

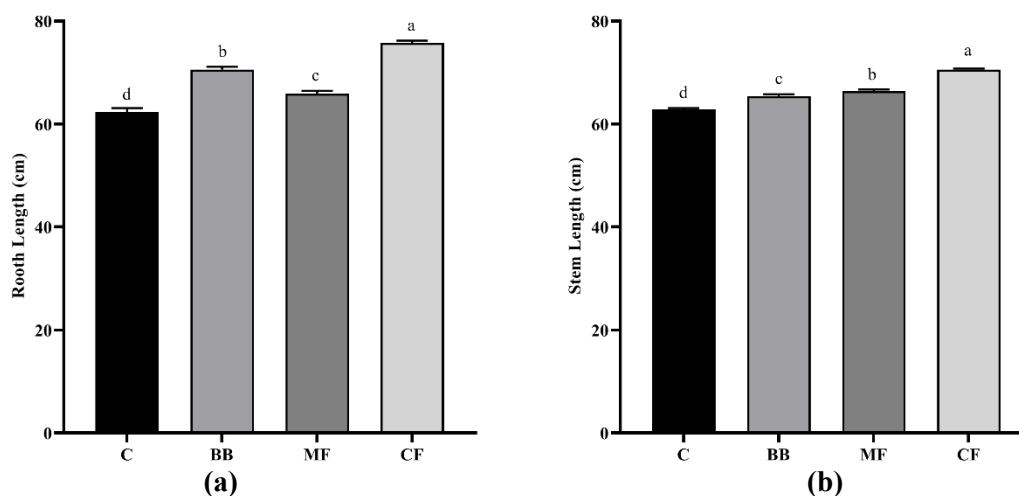


Figure 1. (a) Root length of maize samples **(b)** Stem length of maize samples (Means ($n = 9$) \pm SD are shown, $p < 0.01$, C: Control, BB: *Beauveria bassiana*, CF: *Cordyceps fumosorosea*, MF: *Metarhizium flavoviride*).

The stem diameter of maize plants increased significantly in *C. fumosorosea* treated plants compared to the control group ($p < 0.01$). However, there was no difference in stem diameters among the other fungal treatment ($p > 0.05$). Stem diameters were measured as *B. bassiana* = 6.86 cm \pm 0.06; *M. flavoviride* = 6.72 cm \pm 0.03; *C. fumosorosea* = 7.66 cm \pm 0.11; and control = 6.7 cm \pm 0.18 (Figure 2).

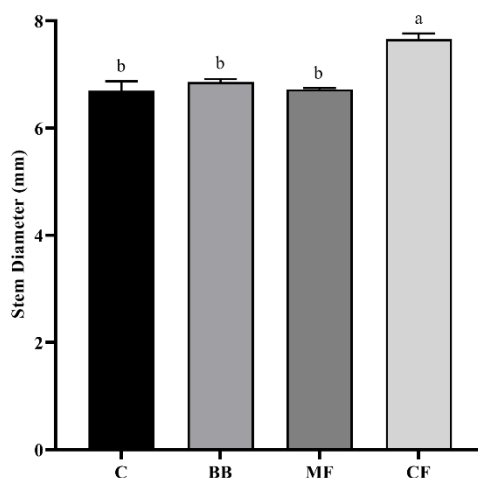


Figure 2. Stem diameter of maize samples (Means ($n = 9$) \pm SD are shown, $p < 0.01$, BB: *Beauveria bassiana*, CF: *Cordyceps fumosorosea*, MF: *Metarhizium flavoviride*).

There was no significant difference between the leaf number of the fungi-treated plants and the control group ($p > 0.01$). The average leaf number \pm SD were calculated, respectively: *B. bassiana* = 4 \pm 0.0; *M. flavoviride* = 3.83 \pm 0.29; *C. fumosorosea* = 4.33 \pm 0.58; and control = 4.17 \pm 0.29. The root fresh and dry weight of *C. fumosorosea* treated plants was higher than control and the other fungi treated plants (Table 1). The fresh and dry weight of roots \pm SD were calculated, respectively: *B. bassiana* = 5.11 g \pm 0.08; 0.51 g \pm 0.01; *M. flavoviride* = 5.27 g \pm 0.07; 0.53 g \pm 0.005; *C. fumosorosea* = 5.8 g \pm 0.1; 0.57 g \pm 0.004; and control = 3.59 g \pm 0.07; 0.37 g \pm 0.007 (Figure 3a). Similarly, the stem fresh and dry weight was higher with *C. fumosorosea* treated plants. The fresh and dry weight of stems \pm SD were calculated, respectively: *B. bassiana* = 8.04 g \pm 0.12; 0.92 g \pm 0.002; *M. flavoviride* = 8.26 g \pm 0.06; 0.89 g \pm 0.004; *C. fumosorosea* = 9.92 g \pm 0.09; 1.06 g \pm 0.008; and control = 7.53 g \pm 0.16; 0.80 g \pm 0.007 ($p < 0.01$, $p < 0.05$ respectively) (Figure 3b).

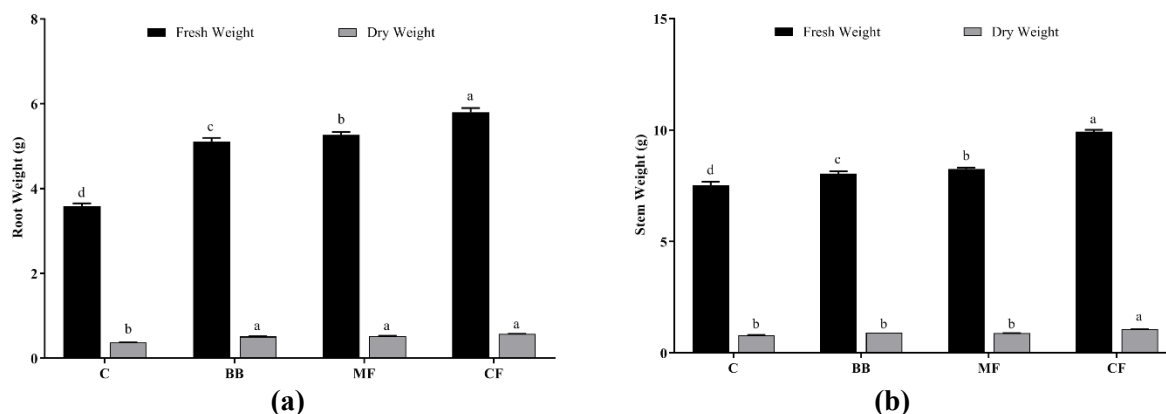


Figure 3. (a) Root fresh and dry weight of maize samples (b) Stem fresh and dry weight of maize samples (Means (n = 9) ± SD are shown, p < 0.01, BB: Beauveria bassiana, CF: Cordyceps fumosorosea, MF: Metarhizium flavoviride).

The root and stem biomass of fungi treated plants was higher than the control. Also, *C. fumosorosea* had the highest root and stem biomass. The root and stem biomass ± SD were calculated, respectively: *B. bassiana* = 45.32 g ± 0.90; 81.06 g ± 0.13; *M. flavoviride* = 46.85 g ± 0.43; 78.29 g ± 0.38; *C. fumosorosea* = 50.71 g ± 0.33; 93.83 g ± 0.66; and control = 32.87 g ± 0.58; 71.03 g ± 0.61 (p < 0.01) (Figure 4).

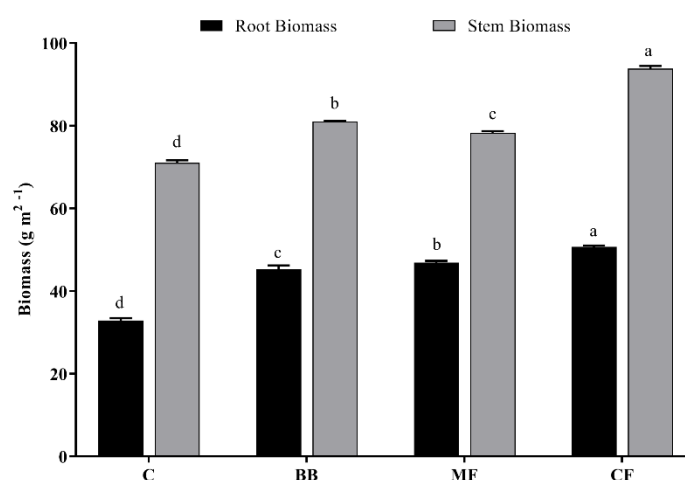


Figure 4. Root and stem biomass of maize samples (Means (n = 9) ± SD are shown, p < 0.01, BB: Beauveria bassiana, CF: Cordyceps fumosorosea, MF: Metarhizium flavoviride).

The germination of fungi-treated sunflower seeds was higher than in the control group. The germination rate was highest (89% ± 2.3) in *C. fumosorosea* treated seeds (Table 1).

Table 1. Seed germination rate (%) and leaf numbers of maize and sunflower samples.

	<i>Zea mays</i> L.		<i>Helianthus annuus</i> L.	
	Germination rate (%)	Leaf number	Germination rate (%)	Leaf number
Control	100±0a	4.17±0.29a	72.22±9.62a	6±0a
BB	100±0a	4.00±0.00a	83.33±28.87a	6±0a
MF	100±0a	3.83±0.29a	83.33±0.00a	6±0a
CF	100±0a	4.33±0.58a	88.89±19.25a	6±0a

(Means (n = 9) ± SD, BB: *Beauveria bassiana*, CF: *Cordyceps fumosorosea*, MF: *Metarhizium flavoviride*. Different case letters in a column represent statistically significant differences amongst the means according to the Duncan multiple comparison test, p < 0.01)

The treatment of conidial suspensions to sunflower plants increased root lengths as compared to control treatment with 0.1% Tween80 two months after application ($p < 0.01$). Also, the best root and stem growth was seen in *M. flavoviride* treated plants. However, the stem lengths of fungi-treated plants were decreased compared to the control treatment. Two months after inoculation the following average root and stem lengths \pm SD were found, respectively: *B. bassiana* = 62.87 cm \pm 1.27; 33.4 cm \pm 0.87; *M. flavoviride* = 75.57 cm \pm 1.01; 34.27 cm \pm 0.68; *C. fumosorosea* = 65.9 cm \pm 1.15; 34.03 cm \pm 0.31; and control = 44.87 cm \pm 1.51; 37.5 cm \pm 1.11 (Figure 5a and 5b). There was no significant difference between the leaf number of the fungi-treated plants and the control group ($p > 0.01$). The stem diameter of sunflower plants increased significantly in *M. flavoviride* treated plants compared to the control and other fungi-treated groups ($p < 0.01$) (Table 1). However, there was no difference in stem diameters among the other fungal treatment ($p > 0.01$). Stem diameters were measured as *B. bassiana* = 4.59 cm \pm 0.09; *M. flavoviride* = 4.95 cm \pm 0.11; *C. fumosorosea* = 4.44 cm \pm 0.09; and control = 4.58 cm \pm 0.04 (Figure 6).

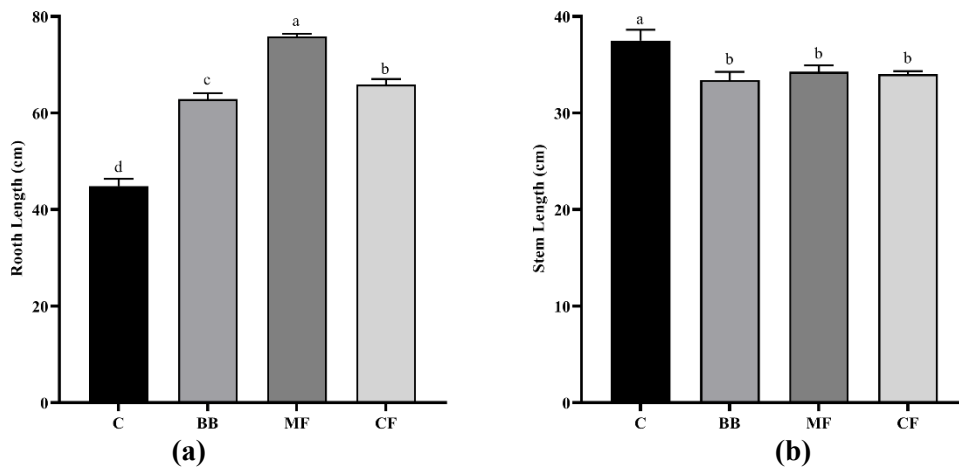


Figure 5. (a) Root length of sunflower samples (b) Stem length of sunflower samples (Means ($n = 9$) \pm SD are shown, $p < 0.01$, BB: *Beauveria bassiana*, CF: *Cordyceps fumosorosea*, MF: *Metarhizium flavoviride*).

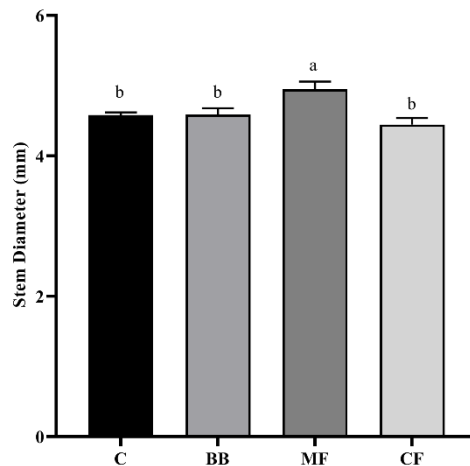


Figure 6. Stem diameter of sunflower samples (Means ($n = 9$) \pm SD are shown, $p < 0.01$, BB: *Beauveria bassiana*, CF: *Cordyceps fumosorosea*, MF: *Metarhizium flavoviride*).

The root fresh and dry weight of *M. flavoviride* treated plants was higher than control and the other fungi-treated plants. However, the root fresh and dry weight of *C. fumosorosea* and *B. bassiana* treated plants were lowest than control. The fresh and dry weight of roots \pm SD were calculated, respectively: *B. bassiana* = 2.05 g \pm 0.03; 0.16 g \pm 0.002; *M. flavoviride* = 2.64 g \pm 0.03; 0.21 g \pm 0.006; *C. fumosorosea* = 1.51 g \pm 0.02; 0.12 g \pm 0.003; and control = 2.28 g \pm 0.04; 0.16 g \pm 0.003 ($p < 0.01$, $p < 0.05$ respectively) (Figure 7a). Similarly, the stem fresh and dry weight was higher with *M. flavoviride* treated plants. The fresh and dry weight of stems \pm SD were calculated, respectively: *B. bassiana* = 8.66

$g \pm 0.11$; $0.92 g \pm 0.005$; *M. flavoviride* = $10.89 g \pm 0.07$; $1.14 g \pm 0.005$; *C. fumosorosea* = $8.59 g \pm 0.06$; $0.88 g \pm 0.006$; and control = $9.95 g \pm 0.13$; $0.95 g \pm 0.005$ ($p < 0.01$, $p < 0.05$ respectively) (Figure 7b). The root and stem biomass of *M. flavoviride* treated plants was higher than the control. However, the root and stem biomass of *C. fumosorosea* and *B. bassiana* treated plants were lowest than the control. The root and stem biomass \pm SD were calculated, respectively: *B. bassiana* = $13.91 g \pm 0.18$; $81.18 g \pm 0.39$; *M. flavoviride* = $18.13 g \pm 0.53$; $100.87 g \pm 0.39$; *C. fumosorosea* = $10.79 g \pm 0.26$; $77.81 g \pm 0.54$; and control = $14.12 g \pm 0.22$; $83.92 g \pm 0.41$ ($p < 0.01$) (Figure 8).

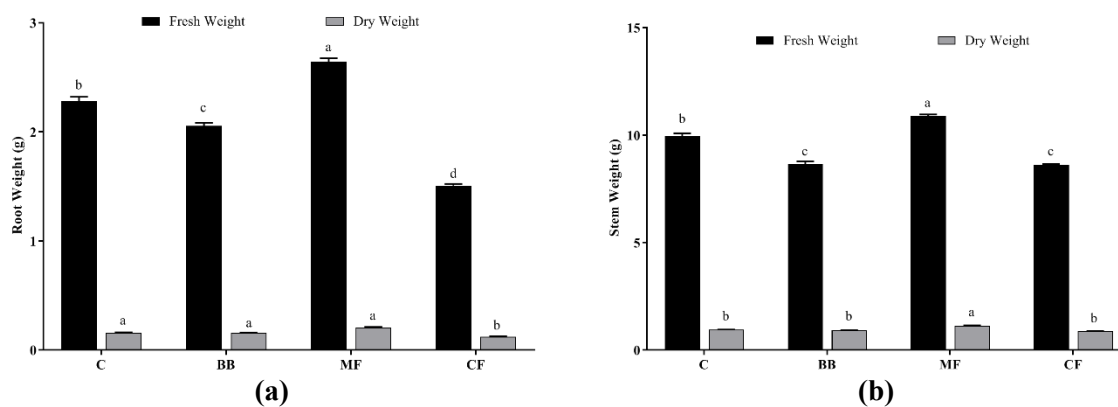


Figure 7. (a) Root fresh and dry weight of sunflower samples (b) Stem fresh and dry weight of sunflower samples (Means ($n = 9$) \pm SD are shown, $p < 0.01$, BB: *Beauveria bassiana*, CF: *Cordyceps fumosorosea*, MF: *Metarhizium flavoviride*).

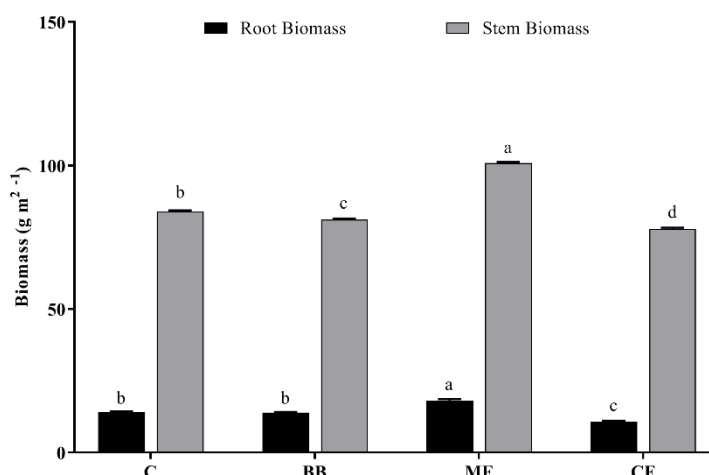


Figure 8. Root and stem biomass of sunflower samples (Means ($n = 9$) \pm SD are shown, $p < 0.01$, BB: *Beauveria bassiana*, CF: *Cordyceps fumosorosea*, MF: *Metarhizium flavoviride*).

IV. DISCUSSION

Numerous studies reported that entomopathogenic fungi not only protect the plants from insects' damage but also promote plant growth. In this study, the effects of three different EPF, *B. bassiana*, *M. flavoviride* and *I. fumosorosea*, on the early development period of sunflower and maize were investigated. The impact of successful colonization of EPF isolates on plant growth parameters was generally positive. Several studies have reported the positive effects of EPF on the growth of different plants such as tomato, wheat, maize, cotton and bean [17], [18], [19].

In our study, maize seed germination percentage was not affected by EPF treatment which was similar to the results reported by Kuzhuppillymyal-Prabhakarankutty et al (2020), who showed that *B. bassiana* did not alter maize seed germination. Likewise, *M. anisopliae* strains did not increase maize seed germination [20], [21]. Also, it has been reported that EPF does not affect seed germination in many

plants such as sweet pepper, peanut, eggplant [22], [23], [24]. In contrast, Russo et al. (2019) reported an increment in the germination of *B. bassiana*-treated maize seeds. Similarly, we observed that the germination percentage of sunflower seeds treated with EPF was higher compared to the control treatment [25].

Fungi-treated maize plants had higher root and stem biomass compared to control plants. These results were similar to those reported in previous studies, which indicated that *Beauveria* sp. and *Metarhizium* sp. isolates increase the biomass of maize [4], [25], cotton [19], faba bean [26], and tomato [7]. However, a few studies reported no significant difference in the growth of *B. bassiana* inoculated maize plant [27] and chives [28] over the control treatment. Limited studies about the effect of *C. fumosorosea* on plant growth revealed that the fungus did not improve growth parameters in sweet sorghum [29] and citrus [30]. In contrast, we observed a significant enhancement in root weight and length, stem weight and length, and stem diameter of maize plants treated with *C. fumosorosea*. In addition, the effect of this fungus on the growth parameters of maize plants was higher than *B. bassiana* and *M. anisopliae*. In contrast to this, the growth parameters of *M. flavoviride* treated sunflower plant was generally higher compared to other fungi treated plants and control treatment. Although the root weight and length, stem weight, stem diameter and biomass of *M. flavoviride* treated sunflower plants increased significantly when compared with control treatment, stem length was decreased. However, other fungi only increased the root length of sunflower plants but decreased the stem weight and length, root weight and biomass. Miranda-Fuentes et al. (2021) treated two different strains of *B. bassiana* in sunflower plants and observed that one of them did not affect the growth parameters while the other caused a decrease in the parameters [31]. Although it is known that *M. flavoviride* is able to colonize some plant roots and shows endophytic properties, its effects on plant growth have not been investigated until now. To the best of our knowledge, this is the first study about the effects of *M. flavoviride* on plant growth.

V. CONCLUSION

This study revealed that the plant-enhancing effects of EPF may vary according to fungal species, and even different strains of the same species exhibit different properties when compared with other studies. *Cordyceps fumosorosea* for maize and *Metarhizium flavoviride* for sunflower can be used to improve plant growth. Considering that fungi have lots of ecological roles, these fungi should also be tested on pathogenic microorganisms and insects that harm these plants. Thus, with the application of a single agent, an important step will be taken towards solving the problems encountered in plants.

ACKNOWLEDGMENTS: We are grateful to Prof Ismail Demir from Karadeniz Technical University for providing the fungal strains.

VI. REFERENCES

- [1] D. Singh, T.K. Raina, and J. Singh, "Entomopathogenic fungi: An effective biocontrol agent for management of insect populations naturally," *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, vol. 9, no. 6, pp. 830–839, 2017.
- [2] L.R. Jaber, and B.H. Ownley, "Can we use entomopathogenic fungi as endophytes for dual biological control of insect pests and plant pathogens?," *Biological Control*, vol. 116, pp. 36–45, 2018.
- [3] Sharma, A. Srivastava, A.K. Shukla, K. Srivastava, A.K. Srivastava, and A.K. Saxena, "Entomopathogenic Fungi: A Potential Source for Biological Control of Insect Pests," *Phytobiomes: Current Insights and Future Vistas*, Springer, Singapore, pp. 225-250, 2020.

- [4] M.L. Russo, S.A. Pelizza, M.F. Vianna, N. Allegrucci, M.N. Cabello, A.V. Toledo, C. Mourellos and A.C. Scorsetti, “Effect of endophytic entomopathogenic fungi on soybean *Glycine max* (L.) Merr. growth and yield,” *Journal of King Saud University – Science*, vol. 31, pp. 728–736, 2019.
- [5] R.E. Jensen, C Cabral., A. Enkegaard, and T. Steenberg, “Influence of the plant interacting entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on parasitoid host choice-behavior, development, and plant defense pathways,” *PLoS ONE*, vol. 15, no. 9, pp. 1–16, 2020.
- [6] L. Kuzhuppillymyal-Prabhakarankutty, F.H. Ferrara-Rivero, P. Tamez-Guerra, R. Gomez-Flores, M.C. Rodríguez-Padilla, and M.J. Ek-Ramos, “Effect of *Beauveria bassiana*-seed treatment on *Zea mays* L. Response against *spodoptera frugiperda*,” *Applied Sciences*, vol. 11 no. 2887, pp. 1-15, 2021.
- [7] L. Barra-Bucarei, M.G. González, A.F. Iglesias, G.S. Aguayo, M.G. Peñalosa and P.V. Vera, “*Beauveria bassiana* multifunction as an endophyte: Growth promotion and biologic control of *Trialeurodes vaporariorum*, (westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato,” *Insects*, vol. 11, no. 591, pp. 1–15, 2020.
- [8] E. González-Pérez, M.A. Ortega-Amaro, E. Bautista, P. Delgado-Sánchez, and J.F. Jiménez-Bremont, “The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* enhances *Arabidopsis*, tomato, and maize plant growth,” *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 176, pp. 34-43, 2022.
- [9] C.M. Senthil Kumar, T.K. Jacob, S. Devasahayam, S. Thomas, and C. Geethu, “Multifarious plant growth promotion by an entomopathogenic fungus *Lecanicillium psalliotae*,” *Microbiological Research*, vol. 207, pp. 153–160, 2018.
- [10] S.K. Dara, S.S.R. Dara, and S.S. Dara, “Impact of Entomopathogenic Fungi on the Growth, Development, and Health of Cabbage Growing under Water Stress,” *American Journal of Plant Sciences*, vol. 08, pp. 1224–1233, 2017.
- [11] A.C. McKinnon, “Interactions between isolates of the fungus *Beauveria bassiana* and *Zea mays*,” Ph.D. dissertation, Plant Pathology, Lincoln University, New Zealand, 2017.
- [12] B.D. Smith, “The domestication of *Helianthus annuus* L. (sunflower),” *Vegetation History and Archaeobotany*, vol. 23, pp. 57–74, 2014.
- [13] G.J. Seiler, L.L. Qi, and L.F. Marek, “Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement,” *Crop Science*, vol. 57, pp. 1083–1101, 2017.
- [14] T. Kalyar, S. Rauf, J.A. Teixeira Da Silva and M. Shahzad, “Handling sunflower (*Helianthus annuus* L.) populations under heat stress,” *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol. 60, no. 5, pp. 655–672, 2014.
- [15] T. Tefera, and S. Vidal, “Effect of inoculation method and plant growth medium on endophytic colonization of sorghum by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*,” *BioControl*, vol. 54, no. 5, pp. 663-669, 2009.
- [16] S. Sulus, and S. Leblebici, “The Effect of Boric Acid Application on Ecophysiological Characteristics of Safflower Varieties (*Carthamus tinctorius* L.),” *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 29, no. 09A, pp. 8177–8185, 2020.
- [17] J. García, J. Posadas, A. Peticari, and R Lecuona, “*Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin Promotes Growth and Has Endophytic Activity in Tomato Plants,” *Advances in Biological Research*, vol. 5, no. 1, pp. 22–27, 2011.

- [18] R.K. Sasan, and M.J. Bidochka, “The insect-pathogenic fungus *Metarhizium robertsii* (Clavicipitaceae) is also an endophyte that stimulates plant root development,” *American Journal of Botany*, vol. 99, no. 1, pp. 101–107, 2012.
- [19] D.C. Lopez, and G.A. Sword, “The endophytic fungal entomopathogens *Beauveria bassiana* and *Purpureocillium lilacinum* enhance the growth of cultivated cotton (*Gossypium hirsutum*) and negatively affect survival of the cotton bollworm (*Helicoverpa zea*),” *Biological Control*, vol. 89, pp. 53–60, 2015.
- [20] J.T. Kabaluk and J.D. Ericsson, “*Metarhizium anisopliae* seed treatment increases yield of field corn when applied for wireworm control,” *Agronomy Journal*, vol. 99, no. September-October, pp. 1377–1381, 2007.
- [21] X. Liao, T.R. O’Brien, W. Fang, and R.J. St. Leger, “The plant beneficial effects of *Metarhizium* species correlate with their association with roots,” *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 98, pp. 7089–7096, 2014.
- [22] K.A. Diniz, P.A. de Silva, J.A. Oliveira, and E. Evangelista, “Sweet pepper seed responses to inoculation with microorganisms and coating with micronutrients, aminoacids and plant growth regulators,” *Scientia Agricola*, vol. 66, no. 3, pp. 293–297, 2009.
- [23] S.F. Liu, G.J. Wang, X.Q. Nong, B. Liu, M.M. Wang, S.L. Li, G.C. Cao, and Z.H. Zhang, “Entomopathogen *Metarhizium anisopliae* promotes the early development of peanut root,” *Plant Protection Science*, vol. 53, no. 2, pp. 101–107, 2017.
- [24] T. Sun, Z. Shen, M. Shaukat, C. Du and S. Ali, “Endophytic Isolates of *Cordyceps fumosorosea* to Enhance the Growth of *Solanum melongena* and Reduce the Survival of Whitefly (*Bemisia tabaci*),” *Insects*, vol. 11, no. 78, pp. 1–11, 2020.
- [25] M.L. Russo, A.C. Scorsetti, M.F. Vianna, M. Cabello, N. Ferreri and S. Pelizza, “Endophytic Effects of *Beauveria bassiana* on Corn (*Zea mays*) and Its Herbivore, *Rachiplusia nu* (Lepidoptera: Noctuidae),” *Insects*, vol. 10, no. 110, pp.1–9. 2019.
- [26] L.R. Jaber, and J. Enkerli, “Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum*,” *Biological Control*, vol. 103, pp. 187–195, 2016.
- [27] L.C. Lewis, D.J. Bruck, R.D. Gunnarson, and K.G. Bidne, “Assessment of plant pathogenicity of endophytic *Beauveria bassiana* in Bt transgenic and non-transgenic corn,” *Crop Science*, vol. 41, pp. 1395–1400, 2001.
- [28] F. Espinoza, S. Vidal, F. Rautenbach, F. Lewu ve F. Nchu, “Effects of *Beauveria bassiana* (Hypocreales) on plant growth and secondary metabolites of extracts of hydroponically cultivated chive (*Allium schoenoprasum* L. [Amaryllidaceae]),” *Heliyon*, vol. 5, no. e03038, pp. 1-6, 2019
- [29] M. Spiridon, “Endophytic Colonization of *Solanum tuberosum* L. (Solanales: Solanaceae) Plants Can Affect the Infestation of Serious Pests,” *Applied Microbiology: Theory & Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 51–57, 2020.
- [30] E.M. Doherty, A.B. Pasco, E.B. Duren, L.M. Cano, and L. Rossi, “In planta Localization of Endophytic *Cordyceps fumosorosea* in Carrizo Citrus,” *Microorganisms*, vol. 9, no. 291, pp. 1–10. 2021.

- [31] P. Miranda-Fuentes, A. B. García-Carneros, and L. Molinero-Ruiz, “Updated Characterization of Races of *Plasmopara halstedii* and Entomopathogenic Fungi as Endophytes of Sunflower Plants in Axenic Culture,” *Agronomy*, vol. 11, vol. 268, pp. 1-14. 2021.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Sismik İzolatörlü Yapıların Tasarımına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi

 Esra ALASAF^a,  Hakan ÖZTÜRK^{b,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: hakanozturk@sakarya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1089421

ÖZ

Bu çalışmada, yalıtım sisteminin tasarımı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de (TBDY-2018) tanımlanan Etkin Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. TBDY-2018 kriterleri dikkate alınarak, 4 katlı betonarme bir yapı altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tasarımı yapılmış olup farklı zemin sınıfları için karakteristik dayanım oranı (Q/W) ile izolasyon periyodu (T) değişiminin sismik izolatör davranışa etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, fay hattından uzaklığın etkisi incelenmiş, bu amaçla Sakarya ilinde biri fay hattına yakın (Arifiye), diğeri fay hattından uzak (Karasu) olmak üzere iki lokasyon seçilmiştir. Sismik izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve ivme-yerdeğiştirme tepki spektrumları belirlenmiştir. Tasarımcıların izolasyon sisteminin tasarım parametrelerini hızlı bir şekilde belirlemelerini sağlamak amacıyla taban kesme oranı-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Araştırmada, fay hattından uzaklığın, zemin sınıfının, izolasyon periyot değerinin ve karakteristik dayanımının, maksimum izolatör deplasmanı ve maksimum izolatör kuvveti değerlerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sismik izolasyon, Kurşun çekirdekli kauçuk izolatör, Taban kesme oranı-deplasman grafikleri

Investigation of the Factors Affecting the Design of Seismic Isolated Structures

ABSTRACT

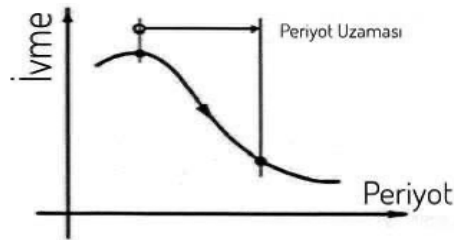
In this study, the design of the isolation system was carried out using the Effective Earthquake Load Method defined in Turkish Building Earthquake Code 2018 (TBEC-2018). Taking into account the TBEC-2018 criteria, a lead rubber isolator was designed for a 4-storey reinforced concrete structure and it was aimed to determine the effect of characteristic strength ratio (Q/W) and isolation period (T) variation on seismic isolator behavior for different soil classes. In addition, the effect of the distance from the fault line was examined, and for this purpose, two locations were selected in Sakarya, one close to the fault line (Arifiye), and the other far from the fault line (Karasu). Displacement, shear force and acceleration-displacement response spectra at the seismic isolation level were determined. Base shear ratio-displacement graphs were obtained in order to enable the designers to quickly determine the design parameters of the isolation system. In the research, it was concluded that the distance from the fault line, soil class, isolation period value and characteristic strength significantly affect the maximum isolation displacement and maximum isolation force values.

Keywords: Seismic isolation, Lead-rubber isolator(LRB), Base shear ratio-displacement graphics

I. GİRİŞ

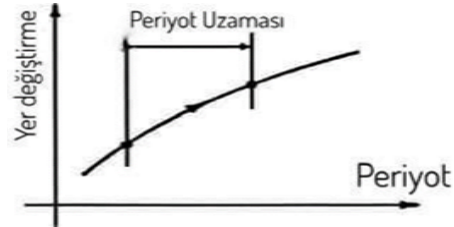
Sismik yalıtım, bir deprem sırasında gelen enerjiyi sönümleyen ve bir yapının üst kısımlarına zarar gelmesini önleyen pasif kontrol sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Bu teknik, yıkıcı sismik kuvvetlere maruz kalan önemli yapıların davranışını iyileştirmeyi, böylece hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanları korumayı amaçlamaktadır [1].

Sismik izolasyon sisteminin temel prensibi, periyot ve sönümünü artırarak yapıda daha küçük deprem kuvvetlerinin oluşmasının sağlanması ve yapıda depremde oluşabilecek hasarının önlenmesi veya en aza indirgenmesidir. Bu amaçla taşıyıcı sistemin doğal titreşim periyodu uzatılmakta ve/veya enerji tüketim kapasitesi artırılmaktadır. Yapı periyodundaki bu artış, Şekil 1'de gösterildiği gibi yapıyı etkileyecek ivme değerlerinde önemli bir azalmaya ve yapıda yatay hareket kabiliyetinde bir artışa yol açmaktadır. Buna ek olarak, aynı zamanda taban kesme kuvvetlerinde de bir azalmaya yol açan nedendir. Bu kuvvetlerin azalma miktarı, esas olarak depremin doğasına ve yalıtımlı ve yalıtımsız yapının periyoduna bağlıdır [1], [2].



Şekil 1. Sismik izolasyon sayesinde elde edilen periyot uzamasının ivme üzerindeki etkisi (ivme tepki spektrumu)[2].

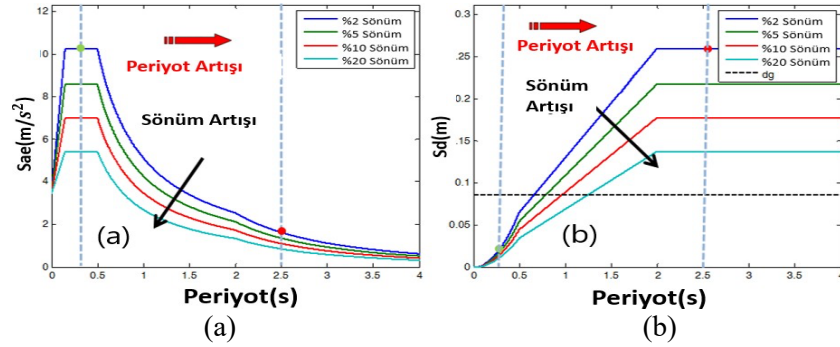
Öte yandan, periyot ile ivme arasındaki ilişki, periyot ile yerdeğiştirme arasındaki ilişkinin tam tersidir. Yani periyottaki artış, Şekil 2'de gösterildiği gibi yatay deplasman değerinde önemli bir artışa yol açacaktır [1], [2].



Şekil 2. Sismik izolasyon sayesinde elde edilen periyot uzamasının yerdeğiştirmeye etkisi (Yer değiştirme tepki spektrumu ve yapı yer değiştirmesi) [2].

Sönüm, yapısal bir sistemin hareketine karşı koyan, sistemi tekrar hareketsiz hale getirme eğiliminde olan bir özelliğidir. Yalıtım sistemleri için, sönüm genellikle viskoz (hıza bağlı) veya hysterik (yer değiştirmeye bağlı) olarak sınıflandırılmaktadır. Yalıtım seviyesinde yapıya büyük ilave sönümleyici elemanlar (damperler, hidrolik piston gibi) eklenmesiyle göreceli ötelemeler kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, sönümlenme büyük bir hysterik enerji kaybı sağlamanın en etkili yollarından biridir. Periyot uzaması etkisi genellikle ivmeyi azaltmakta ve yerdeğiştirmeleri artırmakta iken, sönümlenme her zaman hem ivmeyi hem de yerdeğiştirmeyi azaltmaktadır. Hem periyodu hem de sönümü artırmak, istenen performans elde etmenin en etkili yoludur. Ne var ki standartlarda tanımlanan tepki spektrumları neredeyse her zaman %5 sönümlenme içindir [2], [3].

Şekil 3.a ve Şekil 3.b'de geleneksel bir yapının deprem yalıtım sistemi kullanılarak dinamik davranışının değişimi ile elde edilebilecek kazanımlar deprem davranış spektrumlarında gösterilmiştir [4].



Şekil 3. (a) Spektral ivme değişimi, (b) Spektral yerdeğiştirme değişimi [4], [5].

Sismik izolasyonlu bir binanın izolasyon periyodunun uzatılmasının, izolasyon sistemindeki etkin sönümü arttırmaktan daha faydalı olduğu, sadece sismik taleplerini azaltmak için değil, aynı zamanda üst yapı tepkisinin değişkenliğini azaltmak için de daha faydalı olduğu sonucuna varılabilir [6].

II. MATERYAL VE METOT

Yalıtım sisteminin tasarımı TBDY-2018’de tanımlanan Etkin Deprem Yükü Yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, TBDY-2018 kriterleri dikkate alınarak, 4 katlı betonarme bir yapı altında kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün tasarımı yapılmıştır. Sismik izolatörlü yapı tasarımında 2 farklı zemin sınıfı (ZC, ZD), 5 farklı periyot ($T= 2.0, 2.5, 3.0, 3.5$ ve 4.0) ve 5 farklı karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.05, 0.075, 0.100, 0.125$ ve 0.150) parametreleri dikkate alınmıştır.

Yukarıda belirtilen parametrelere ek olarak, sismik izolasyonlu yapılarda fay hattından olan uzaklığın izolatörün yatay yer değiştirmesine ve üst yapıya etki eden yatay kuvvete etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, Sakarya’da biri fay hattına yakın, diğeri fay hattından uzak olmak üzere iki lokasyon seçilmiş ve bu lokasyonların fay hattına olan uzaklığının sismik tepki üzerindeki etkisi karşılaştırılarak incelenmiştir.

Çalışmada, izolatörlerin yapıldığı malzemelerin özelliklerindeki farklılıkları ve izolatörlerin ömrü boyunca mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri dikkate almak için iki farklı durumda hesaplamalar yapılmıştır. Birinci durumda, üst sınır ($\lambda_{üst}$) için yüksek rijitliğe sahip ve ikinci durumda ise alt sınır (λ_{alt}) için düşük rijitliğe sahip izolatör özellikleri dikkate alınmıştır. Daha sonra bu sınır değerlerin izolatörün yatay yer değiştirmesi ve üst yapıya etki eden yatay kuvvet üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, izolasyon seviyesinde oluşan yerdeğiştirme, kesme kuvveti ve yerdeğiştirme tepki spektrumları belirlenmesi ve sismik izolatörlerin davranışına etki eden parametreler incelenmesi amaçlanmıştır.

A. KURŞUN ÇEKİRDEKLİ KAUÇUK İZOLATÖR TASARIMI

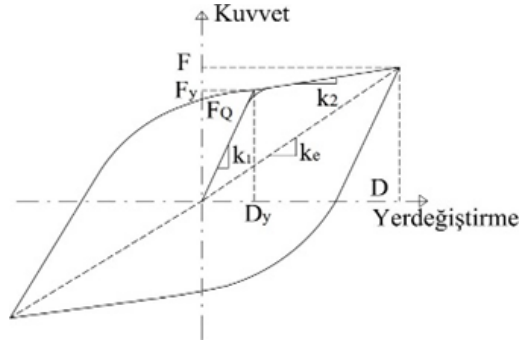
İzolatör tasarımı, izolatörün maksimum yer değiştirmesi ve kesme kuvvetinin belirlenmesine dayanan yinelemeli bir yöntemdir. Sismik yalıtım sistemi tasarlanırken kullanılan analiz yöntemi ne olursa olsun yerdeğiştirme ve tasarım kesme kuvvetlerinin minimum seviyesini belirlemek için statik analiz yapılması gerekmektedir. Ayrıca statik analiz gerektiğinde izolasyon sisteminin ön tasarımı için kullanışlı olup özel durumlarda kullanımına izin verilmektedir. Etkin yeprem yükü yöntemi, zaman tanım alanında doğrusal olmayan (ZTADO) dinamik analiz yönteminin sonuçlarını kontrol eden yöntemdir [6]. Üst yapı ve alt yapının tasarımında etkin deprem yükü yönteminin kullanılabilirliği için TBDY-2018’de belirtilen tüm koşulların sağlanması gerekmektedir. Bu tasarımda öncelikle karakteristik dayanım oranı (Q/W) ve izolasyon periyoduna (T) ihtiyaç duyulmaktadır.

Tasarım spektrumları, her bir tasarım seviyesinde, iki deprem yer hareketi düzeyi (en büyük deprem yer hareketi düzeyi (DD-1) ve tasarım deprem yer hareketi düzeyi (DD-2)) ve iki zemin sınıfı (ZC ve ZD)

kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında kullanılan lokasyonların özellikleri, AFAD web sitesi, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları (TDTH) aracılığı ile elde edilmiştir [8].

A. 1. Yalıtım Sistemini Belirleyen Parametrelerin Hesaplanması

Analiz yöntemlerinde sismik izolatörlerin modellenmesi için idealize edilmiş kuvvet-deplasman ilişkisi Şekil 4'te gösterilen bilineer eğri ile temsil edilmektedir. Grafikte gösterilen F_y etkin akma kuvveti, D_y etkin akma yerdeğiştirmesi, D en büyük izolatör yerdeğiştirmesi, F en büyük izolatör kuvveti, k_e izolatöre ait etkin rijitlik, k_1 ve k_2 ise sırasıyla izolatöre ait akma öncesi ve akma sonrası yatay rijitliği göstermektedir.



Şekil 4. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün idealleştirilmiş kuvvet- yerdeğiştirme ilişkisi [7].

Akma deplasmanı D_y , izolatör akma dayanımının (F_y) elastik rijitliğe (k_1) bölünmesi ile belirlenir. D_y , literatürde 10 ile 25 mm arasında değişen bir değer olarak tanımlanmaktadır [9]. Bu çalışmada, bahsi geçen yöntem için akma deplasmanı (D_y) 25 mm olarak seçilmiştir. Yukarıdaki şekilde gösterilen akma sonrası yatay rijitlik (k_2) değeri, Denklem 1 kullanılarak hesaplanır.

$$k_2 = G_r(A_r/T_r) \quad (1)$$

A_r tek bir elastomer katmanının alanını, T_r toplam elastomer kalınlığını ve G_r elastomer malzemenin kayma modülünü ifade etmektedir. Dairesel kesitli kurşun çekirdekli izolatörler için (A_r) (Denklem 2) ile elde edilmektedir [7].

$$A_r = (\pi/4)(B^2 - B_l^2) \quad (2)$$

B çelik plaka ile yapışmış elastomer levha çapı, B_l ise kurşun çekirdek çapını ifade etmektedir. Bir yükleme döngüsünde tüketilen enerji değerinin (W_d) hesaplaması için TBDY-2018'de verilen (Denklem 3) kullanılmıştır.

$$W_d = 2\pi \times k_e \times \xi \times D_{max}^2 \quad (3)$$

k_e , D yerdeğiştirmesine karşılık gelen etkin rijitliği, D yalıtım birimi için en büyük yerdeğiştirme değerini, ξ etkin sönüm oranını ifade etmektedir. Etkin rijitlik değeri denklem 4 ile hesaplanmaktadır.

$$k_e = k_2 + \frac{F_Q}{D_{max}} \quad (4)$$

k_2 elastomer yalıtım biriminin ikincil (elastik ötesi) rijitliğini, F_Q yalıtım biriminin karakteristik dayanımını ifade etmektedir. Etkin sönüm oranı değerinin ξ hesaplaması için TBDY-2018 tarafından belirlenen Denklem 5 kullanılmıştır.

$$\xi = W_d / (2\pi \times k_e \times D_{max}^2) \quad (5)$$

W_d bir yüklemeye döngüsünde tüketilen enerji değerini, ifade etmektedir. Sismik izolasyonun etkin periyodu (T_e) Denklem 6 ile hesaplanmıştır.

$$T_e = 2\pi \times \sqrt{(W / (g \times k_e))} \quad (6)$$

W binanın toplam kütleyle karşı gelen ağırlığını, g yer çekimi ivmesini ifade etmektedir. Sönüm ölçeklendirme katsayılarının (η) hesaplanabilmesi için Denklem 7 kullanılmıştır.

$$\eta = \sqrt{(10 / (5 + \xi))} \quad (7)$$

ξ etkin sönüm oranını ifade etmektedir. Sönüm ölçeklendirme katsayısı, (η) ve etkin periyot değeri, (T_e) hesaplandıktan sonra tasarlanan izolatörün maksimum yerdeğiştirme değeri (D) Denklem 8 ile hesaplanmıştır.

$$D_M = 1.3 \times \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) T_M^2 \times \eta_M \times S_{ae}^{(DD-1)}(TM) \quad (8)$$

η_M sönüm ölçeklendirme katsayısını, T_e izolasyonun etkin periyodunun değerini, $S_{ae}^{(DD-1)}(TM)$ en büyük deprem yer hareketi seviyesinde T_M periyodundaki spektral ivmeyi ifade etmektedir. Tasarlanan izolatör için maksimum yerdeğiştirme değeri (D) hesaplandıktan sonra, üst yapı ile izolatör sistemi arasındaki burulma sonucu oluşan toplam yer değıştirme değeri (D_{TM}) Denklem 9 ile hesaplanmıştır.

$$D_{TM} = D_M \times \left(1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2}\right) \quad (9)$$

D_M en büyük deprem yer hareketi seviyesinde, göz önüne alınan doğrultuda yalıtım sistemi etkin rijitlik merkezinde oluşacak yerdeğiştirmeyi, y izolasyon sisteminin rijitlik merkezi ile deprem yükünün dik yönünde ilişkili eleman arasındaki mesafeyi, d yapının en uzun plan boyunu, b yapının en kısa plan boyunu, e bileşke dış merkezliği ifade etmektedir.

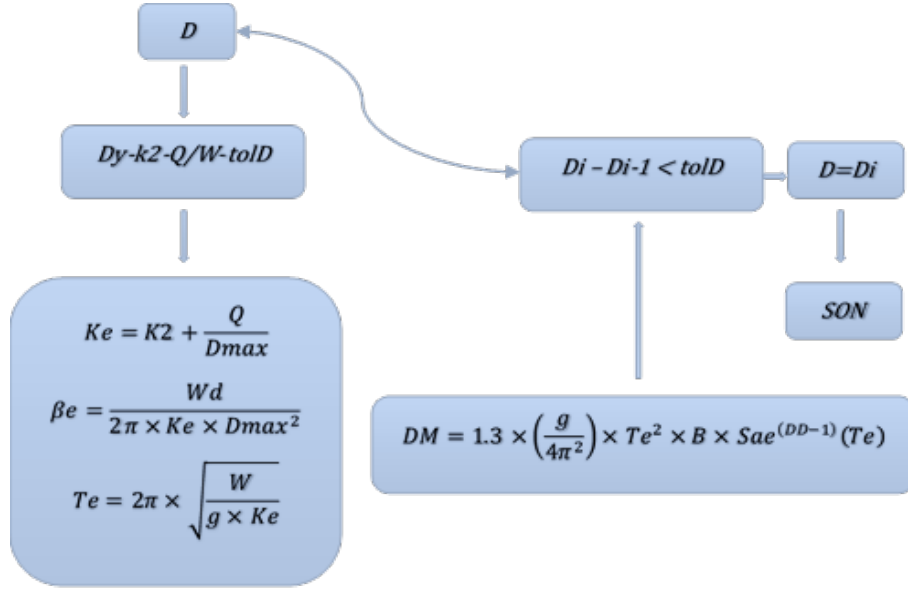
TBDY-2018'e göre, tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için, üstyapıya etkileyen kuvvetin hesaplanabilmesi için Denklem 10 kullanılmıştır.

$$V_D = \frac{S_{ae}^{(DD-2)}(T_D) \times W \times \eta_D}{R} \quad (10)$$

R deprem yükü azaltma katsayısını, $S_{ae}^{(DD-2)}(T_D)$ tasarım deprem yer hareketi seviyesinde T_D periyodundaki spektral ivmeyi ifade etmektedir.

A. 2. Sismik İzolatör Tasarımının İteratif Akış Şeması

Gerekli hesaplamaların yapılmasında kullanılan denklemlerin eksiksiz sunumu tamamlandıktan sonra, hesaplamalarda kullanılan iteratif yöntemin bir özeti burada sunulmuştur. Genel olarak, bu iteratif yöntem, sismik yalıtım sisteminin maksimum yer değıştirme değerini ve en büyük kesme kuvvetini göstermeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda yalıtımın periyodunun değeri (T), yalıtımın üzerindeki eksenel yükün oranı (Q/W) ve yalıtımın maruz kaldığı en büyük yer değıştirme (D) gibi bir takım varsayımlar üzerinden hesaplamalara başlanmaktadır. Ayrıca, bahsi geçen kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlere ait akma deplasmanı (D_y) 25 mm olarak seçilmiştir. İteratif yöntem ile elde edilen en büyük izolatör yerdeğiştirmesi değeri (D), hesaplamaların başında verilen değer ile karşılaştırılır. Değerler önceden tanımlanmış bir aralığa yakınsa değer kabul edilir ve çözüm durdurulur. Ters durumda ise ortaya çıkan değer farz edilen değere yaklaşıncaya kadar hesaplamalar yeniden hesaplanmaktadır. Aşağıda, izolatör tasarımının adımlarını gösteren bir iteratif akış şeması bulunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. İzolatör tasarımı için kullanılan iteratif çözüme ait akış şeması [10].

A. 3. Sismik İzolatör Tasarımında Kullanılacak Alt ve Üst Sınır Değerler İçin Referanslar

İzolasyon birimi parametrelerinin nominal değerleri (F_Q ve k_2) elde edildikten sonra bu değerler sırasıyla üst ve alt sınırlar ($\lambda_{üst}$ ve λ_{alt}) ile çarpılarak hesaplamalarda kullanılacak olan izolasyon birimi parametrelerinin üst ve alt sınır değerleri elde edilir. Üst ve alt limitlerin değerlerini hesaplamak için sırasıyla Denklem 11 ve Denklem 12 kullanılır.

$$\lambda_{üst} = \left(1 + 0,75(\lambda_{ae,üst} - 1)\right) * \lambda_{deney,üst} * \lambda_{spek,üst} \quad (11)$$

$$\lambda_{alt} = (1 - 0,75(1 - \lambda_{ae,alt})) * \lambda_{deney,alt} * \lambda_{spek,alt} \quad (12)$$

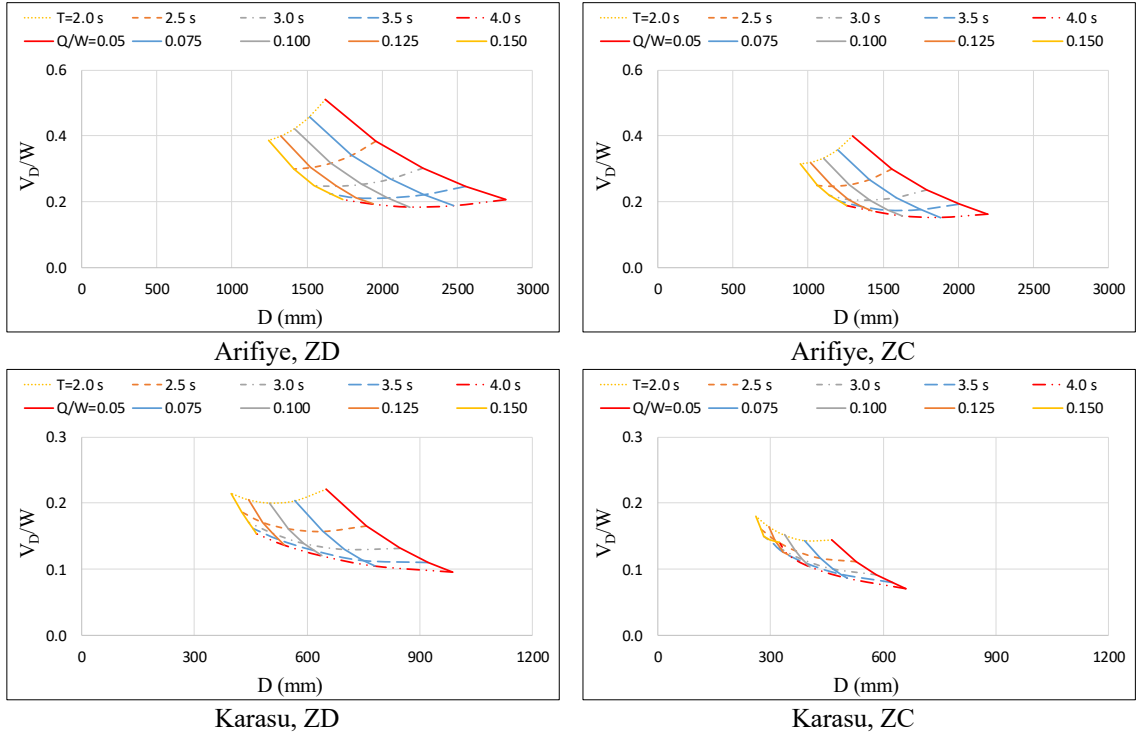
λ_{ae} yaşlanma ve çevresel etkiler, λ_{deney} yükleme hızı ve ısınma gibi etkiler, λ_{spek} üretimdeki değişkenlikler nedeni ile kullanılacak olan çarpanları ifade etmektedir.

III. BULGULAR

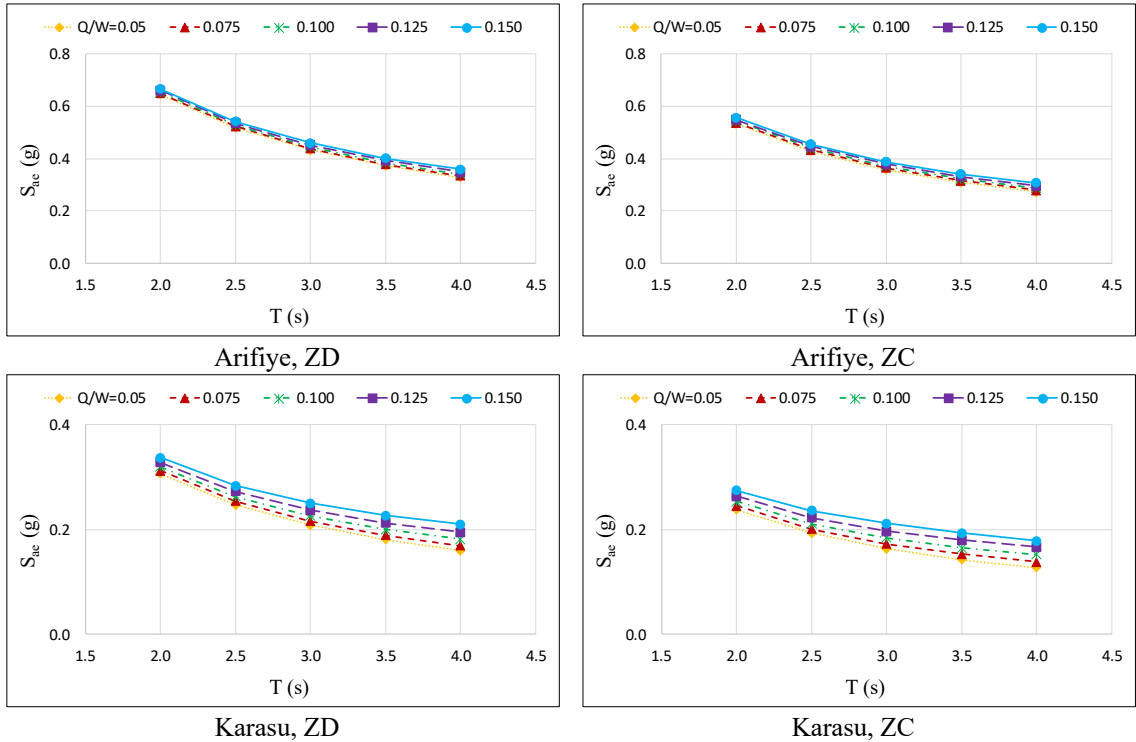
Bu bölümde, bulgular üç şekilde sunulmuştur. Şekil 6.'da, iki zemin sınıfı (ZD-ZC) için, biri fay hattına uzak (Karasu) diğeri fay hattına yakın (Arifiye) olan iki lokasyon için taban kesme oranı-deplasman grafikleri verilmiştir.

Şekil 7.'de, yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$ ile izolatörün periyodu arasındaki ilişki, fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak gösterilmiştir.

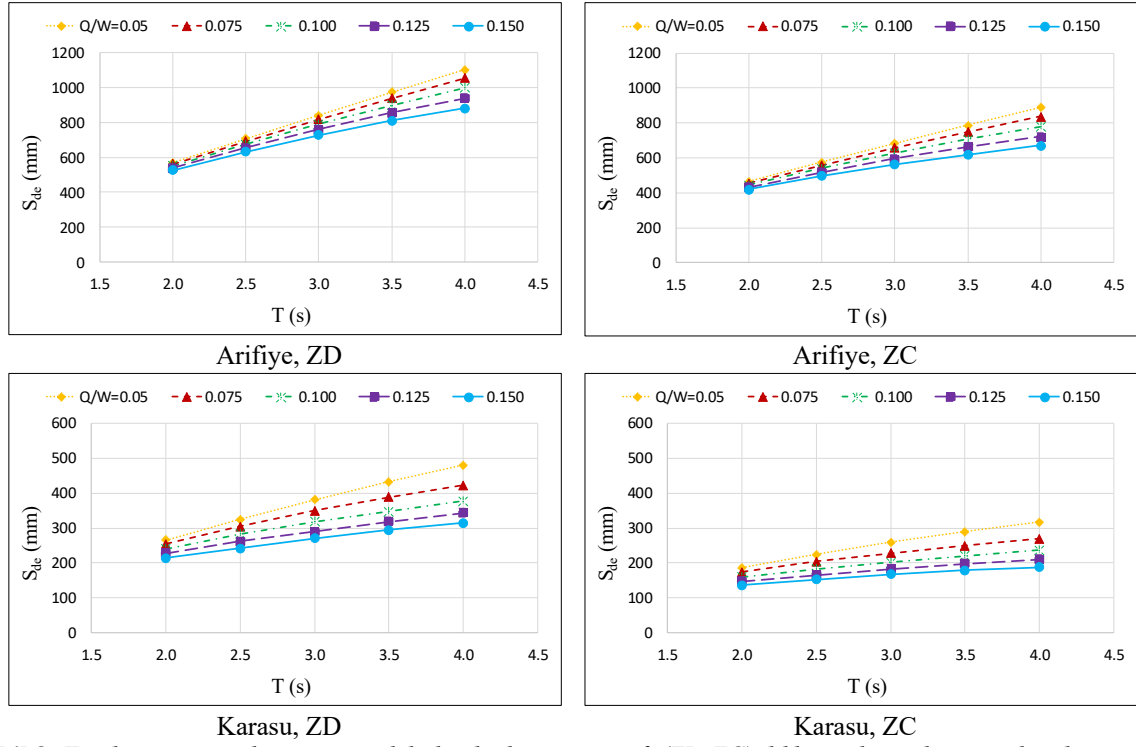
Şekil 8.'de ise, yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri $S_{de}(T)$ ile izolatörün periyodu arasındaki ilişki, fay hattına en yakın (Arifiye) ve en uzak (Karasu) bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak gösterilmiştir.



Şekil 6. Fay hattına en yakın ve en uzak bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak tasarlanan izolatörün yatay yerdeğiştirmesi (D) ile taban kesme oranı (V_D/W) arasındaki ilişki.



Şekil 7. Fay hattına en yakın ve en uzak bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$ ile izolatör periyodu (T) arasındaki ilişki.



Şekil 8. Fay hattına en yakın ve en uzak bölgede iki zemin sınıfı (ZD-ZC) dikkate alınarak yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ ile izolatör periyodu (T) arasındaki ilişki.

Şekil 6'da görüldüğü üzere taban kesme oranı-deplasman grafiklerinin fay hattından uzaklığa göre iki bölüme ayrılmaktadır. Birinci bölüm fay hattına yakın (Arifiye) lokasyondan oluşmaktadır. Bu lokasyonda ZD için en kısa periyot ($T=2.0s$) ve $Q/W=0.050$ için taban kesme oranı V_D/W en büyük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve $Q/W=0.100$ için taban kesme oranı V_D/W en küçük değerindedir. ZC zemin sınıfı için en kısa periyot ($T=2.0s$) ve $Q/W=0.050$ için taban kesme oranı V_D/W en büyük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve $Q/W=0,075$ için taban kesme oranı V_D/W en küçük değerindedir. İkinci bölüm fay hattından uzak (Karasu) lokasyondan oluşmaktadır. Bu lokasyonda ZD için en kısa periyot ($T=2.0s$) ve en küçük karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.050$) çifti için V_D/W oranı en büyük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve $Q/W=0.075-0.050$ için V_D/W oranı en küçük değerindedir. ZC zemin sınıfı için en kısa periyot ($T=2s$) ve en büyük karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.150$) çifti için V_D/W oranı en büyük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve en küçük karakteristik dayanım oranı ($Q/W=0.050$) için V_D/W oranı en küçük değerindedir. Tüm durumlarda sistem yer değiştirmesinin, en kısa periyot ($T=2.0s$) ve en büyük akma oranında ($Q/W=0.150$) en küçük, en uzun periyot ($T=4.0s$) ve en küçük akma oranında ($Q/W=0.050$) en büyük değerinde olduğu gözlenmiştir.

Şekil 7'de görüldüğü üzere, yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$ ile izolatörün periyodu arasında ters bir ilişki olup, $S_{ae}(T)$ değeri, izolatörün periyodundaki artışla azalmaktadır. Şekil 8'de ise yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeleri $S_{de}(T)$ ile izolatörün periyodu arasında doğrudan bir ilişki olup, $S_{de}(T)$ değeri, izolatörün periyodundaki artışla artmaktadır.

IV. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında yürütülen analizlerde dikkate alınan temel parametreler şu şekildedir: i) Fay hattından uzaklığın sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisini incelemesi, ii) İzolatörün periyodundaki (T) ve karakteristik dayanımındaki (Q/W) değişimin sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisinin incelenmesi, iii) Zemin sınıfındaki değişimin sismik izolatörlerin davranışı üzerindeki etkisini incelemesi.

Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biri taban kesme oranı-deplasman grafiklerini elde etmektir, çünkü bu grafikler sismik izolasyonun ön tasarımında etkili ve önemli bir araçtır. Daha önceki çalışmalarda da bu grafiklerin önemi vurgulanmıştır. Taban kesme oranı-yerdeğiştirme grafikleriyle, sistemin talepleri ve genel davranış gözlemlenebilir ve hızlı bir değerlendirme sağlayabilir. Bu grafikler tüm tipik sismik yalıtım sistemleri için kullanılabilir. Farklı sistemlerin karşılaştırılması aynı grafikte yapılabilir ve bu özellik karar verme sürecinde tüm alternatifleri değerlendirmeyi daha uygun hale getirir. Bu çalışmada, fay hattından uzaklık ve zemin sınıf değişimi ile bu grafiklerdeki değişime odaklanılmıştır. Gerçekleştirilen parametrik çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Farklı zemin sınıfının sismik izolasyon sistemi üzerindeki etkisini göstermek için, ZC zemin sınıfını temsil eden grafikler, ZD zemin sınıfını temsil eden grafiklerle karşılaştırılmıştır. Zemin daha sert olduğunda, Arifiye bölgesinde (fay hattına en yakın bölge) maksimum yer değiştirme azalırken, bu değer fay hattından uzaklaştıkça (fay hattından en uzak bölgede) düşmektedir. Fay hattına yakın bölgelerde zemin sertliğinin etkisinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Zemin daha sert olduğunda, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin, taban kesme oranının (V_D/W), tasarım spektral ivmesinin $S_{ac}(T)$ ve tasarım spektral yer değiştirmesinin $S_{dc}(T)$ azaldığını belirlenmiştir.

Fay hattından uzaklığın sismik izolasyon sistemine etkisini göstermek için fay hattından uzak lokasyonu temsil eden grafik, fay hattına yakın lokasyonu temsil eden grafiklerle karşılaştırılmıştır. Taban kesme oranı-deplasman grafikleri karşılaştırıldığında, (ZD) zemin sınıfı için maksimum yer değiştirme değerlerinin fay hattına en yakın ve en uzak bölge arasındaki farkının yaklaşık %65 ve (V_D/W) değerlerinin farkının yaklaşık %56,9 olduğu görülmüştür. Bununla birlikte (ZC) zemin sınıfı için maksimum yer değiştirme değerlerinin fay hattına en yakın ve en uzak bölge arasındaki farkın yaklaşık %70 ve (V_D/W) değerlerinin farkının yaklaşık %55 olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle, fay hattına yaklaştıkça, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin, taban kesme oranının (V_D/W), tasarım spektral ivmesinin $S_{ac}(T)$ ve tasarım spektral yer değiştirmesinin $S_{dc}(T)$ arttığı belirlenmiştir.

İzolatörün yer değiştirmesi (D) ile periyodu (T) arasında doğrudan bir ilişki olup, izolatörün yatay yer değiştirme değeri, periyot değerindeki artışla birlikte artmaktadır. Diğer taraftan, izolatörün maksimum yer değiştirme değeri, karakteristik dayanım oranının (Q/W) değeri azaldıkça artmaktadır. Artan (Q/W) oranları ile maksimum yer değiştirmesinde meydana gelen azalma, (Q/W) oranındaki artışla izolatör sisteminin nispeten rijit hale gelmesinden kaynaklanmaktadır. Periyot değeri arttığında, izolatörün maksimum yer değiştirmesinin ve tasarım spektral yer değiştirmesinin $S_{dc}(T)$ arttığı, taban kesme oranının (V_D/W) ve tasarım spektral ivmesinin $S_{ac}(T)$ azaldığı bulunmuştur.

Arifiye'de (fay hattına en yakın bölge) izolatörün en büyük yer değiştirme değeri (ZD) zemin sınıfı için 2824mm, (ZC) zemin sınıfı için 2197mm'dir. Bu değerler çok büyük ve üretim açısından kabul edilemez seviyede olduğundan fay hattına yakın bölgelerde zemin iyileştirilmesi yapılması öneri olarak sunulabilir. Bu durumda dahi yerdeğiştirme değerleri makul seviyelere gelmemesi durumunda sismik izolasyonlu yapı için sismik izolatör tipinin veya lokasyonun değiştirilmesi gerekmektedir. Yönetmelikte sınır analizler için önerilen değerlerin çok güvenli tarafta olduğu, bu nedenle daha büyük yer değiştirme ve daha büyük kesme kuvveti ortaya çıktığı görülmüştür.

Taban kesme oranı-deplasman grafikleri, etkili ve görsel bir araç olarak sismik izolasyonlu yapıların ön tasarımında kullanılabilir. Bu araç tasarımcıya, sismik izolasyonlu yapıya etki eden parametrelerin özelliklerini kapsamlı bir şekilde sunmakta olup en iyi tasarıma ulaşılmasını sağlayabilmektedir.

Araştırmada elde edilen bulgulara göre, fay hattından uzaklığın, zemin sınıfının, izolatör periyot değerinin ve karakteristik dayanımının maksimum izolatör deplasmanı ve maksimum izolatör kuvveti değerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır.

V. KAYNAKLAR


- [1] T.E. Kelly, Base Isolations Of Structures, Design Guidelines, Holmes Consulting Group Ltd., New Zeland, 2001.
- [2] A. B. M. Saiful Islam, M. Jameel and M. Z. Jumaat, “Seismic isolation in buildings to be a practical reality: Behavior of structure and installation technique”, Journal of Engineering and Technology Research vol. 3, no. 4, pp. 99-117, April 2011.
- [3] F. Naeim, J.M. Kelly, Design of seismic isolated structures: From theory to practice, Wiley, New York, 1999.
- [4] C. Yenidoğan, “Karma Deprem Yalıtım Sistemlerinin Deneysel Performans Değerlendirmesi,” DEÜ FMD, c. 23, s. 69, ss. 767-779, 2021.
- [5] C. Yenidogan, “Earthquake-Resilient Design of Seismically Isolated Buildings: A Review of Technology ,” Vibration, vol. 4, no. 3, pp. 602-647, 2021.
- [6] R. Deepak , “Influence of scaling of different types of ground motions on analysis of code-compliant four-story reinforced concrete buildings isolated with elastomeric bearings,” Engineering Structures, vol. 135, pp. 53-67, 2017.
- [7] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, (TBDY), 2018. Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Türkiye
- [8] Türkiye Deprem Tehlike Haritası. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018. (<https://tdth.afad.gov.tr>)
- [9] N. Makris and S.P. Chang, “Effect of viscous, viscoplastic and friction damping on the response of seismic isolated structures”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 29, no. 1, pp. 85-107, 2000.
- [10] K.L. Ryan and A.K. Chopra, “Estimation of seismic demands on isolators based on nonlinear analysis,” Journal of Structural Engineering, vol. 130, no. 3, pp. 392-402, 2004.
- [11] A. Yolcu, G. Tanırcan, C. Tüzün, “Türkiye’deki Deprem Yalıtım Sistemlerinin Tasarımında Doğrusal Olmayan Tepki Spektrumlarına Dayalı Bir Yöntem,” 5.International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES), Metu Ankara, Turkey, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Fanların Performans Analizi İçin Amca 210-16 Standardına Göre Test Düzenegi Tasarımı ve Farklı Kanat Açılarının Fan Performansına Etkisinin Araştırılması

 Aziz Hakan ALTUN*

*Uçak Gövde Motor Bakım Bölümü, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Selçuk Üniversitesi, Konya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ahaltun@selcuk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1166558

Öz

Bu çalışmada günümüzde çok çeşitli ve geniş alanlarda kullanılan hem aksel hem de radyal fanların performans eğrilerini belirlemek için ANSI/AMCA 210-16 standardına uygun olarak bir test düzeneği tasarlanmış ve kurulmuştur. Bu test düzeneğinin doğruluğunu sağlamak amacıyla Konya'da bulunan fan üreticisi bir firmada üretilen AXI800 model aksel fanın bilinen 30° ve 35° kanat açılarındaki katalog performans değerleri ile deneysel sonuçları kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda deneysel veriler ile katalog performans verilerinin oldukça uyumlu olduğu görülmüş ve sonra aynı fanın bilinmeyen 25°, 40°, 45° ve 50° kanat açılarındaki performans eğrileri için deneyler tekrarlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ile öncelikle ANSI/AMCA 210-16 standardına göre tasarlanan ve kurulumu yapılan test düzeneğinin doğruluğunun sağlandığı ve test amaçlı kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, diğer kanat açıları için de tekrarlanan deneysel sonuçlara göre, kanat açısı arttıkça basınç aralığındaki artış oranının elektriksel güç artış oranına göre daha az olduğundan yüksek kanat açılarında kullanılan fanın verimli olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fan Test Düzeneği, ANSI/AMCA 210-16, Fan Performansı

Design of Test Set Up According to Amca 210-16 Standard for Performance Analysis of Fans and Investigation of the Effect of Different Blade Angles on Fan Performance

ABSTRACT

In this study, a test set up was designed in accordance with ANSI/AMCA 210-16 standard to determine the performance curves of axial and radial fans used in a wide variety of today's related fields. To validate the data of test setup, the catalog performance values of the AXI800 model axial fan at 30° and 35° blade angles manufactured in Konya were compared with the experimental results. It was seen that the experimental and the catalog performance data were quite compatible, and then the experiments were repeated for the blade angles of the same fan at 25°, 40°, 45° and 50°. With the results obtained in the study, it was determined that the accuracy of the test setup, which was designed and installed according to the ANSI/AMCA 210-16 standard, was ensured and it was suitable for testing purposes. In addition, according to the experimental results repeated for other blade angles, it has been observed that the fan used at high blade angles is not efficient since the rate of increase in the pressure range as the blade angle increases is less than the rate of increase in electrical power.

Keywords: Fan Test Setup, ANSI/AMCA 210-16, Fan Performance

I. GİRİŞ

Hava veya gazları hareket ettirmek için güç tahrikli döner pervaneli bir cihaz olarak tanımlan fanlar günümüzde; bina HVAC (ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme) sistemleri, karayolu ve demiryolu tünelleri ile otopark havalandırması, çimento, demir çelik, cam sanayi, elektrik santrali, rüzgâr tüneli ve endüstriyel havalandırma gibi çok geniş kullanım alanlarına sahiptir. Günümüzde bu kadar geniş alanlarda kullanılan fanların, elektrik motoru ile tahrik edilmesi nedeniyle enerji tüketimindeki payı da oldukça yüksektir. Bir örnek vermek gerekirse Avrupa Birliği'ndeki elektrik motorlarındaki enerji tüketiminin, fan sistemlerinde kullanılan payı %19 olarak verilmiştir [1]. Yine ACEEE (American Council for an Energy-Efficient Economy) raporunda ulusal bazda elektrik enerjisinin, fan ve pompalarında dahil olduğu motor sistemlerinde %50-60 arasında tüketildiği belirtilmiştir [2]. Yine aynı raporda, endüstriyel fan ve pompalarda enerji tasarruf potansiyelinin %74 olduğu belirtilmiştir.

Fanların bu kadar geniş alanlarda kullanılması ve enerji tüketiminde önemli yer edinmelerinden dolayı gerek üreticiler gerekse araştırmacılar kanat yapısından motor aksamlarına kadar fan sistemlerinde verim iyileştirme çalışmalarını halen yoğun bir şekilde yürütmektedir. Araştırmacılar yapmış oldukları her türlü iyileştirmenin dünyada kabul görmüş ve onaylanmış bir test ünitesinde deneylere tabii tutarak fan performansına etkilerini gözlemlemişlerdir. Bu çalışmalardan Bleier [3], fan performans testlerinin yapılması için AMCA test kodlarını tanımlamış ve test düzenekleri hakkında bilgi vermiştir. Zhu ve arkadaşları [4] aksel havalandırma fanlarında uç açıklık oranının fan performansına etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Fan performans test düzeneğini ISO5801 (1997E)'e eşdeğer olan Çin Ulusal Standardı Gb1236-2000'e göre hazırlamışlardır. Cho ve arkadaşları [5] karşılıklı çalışan aksel fan'ın üç boyutlu kararsız akış özelliklerinin araştırılması amacıyla Kore Standart Kurumunun KS B 6311 standardına uygun bir test düzeneği kurmuşlardır. Yardımcı fan kullanmadıkları test düzeneğinde girişte enerji kaybının azaltılması amacıyla giriş kısmını lüle şeklinde imal etmişlerdir. Test kanalının çıkışında debiyi ayarlamak için konik bir damper kullanmışlar ve uygun yerlere de basınç prizlerini yerleştirmişlerdir. Li ve arkadaşları [6] düşük hızlı aksel fan'daki öne eğik kanatlar ile radyal kanatların akışa etkisini analiz ederek karşılaştırmışlardır. Çalışmada, standartlara göre aerodinamik performans ve akustik ölçümü de yapan bir test düzeneği tasarlamışlardır. Radyal fanlarda kanat çıkış çapını %5 ila %10 arasında artırılması durumundaki performansa etkisini Chunxi ve arkadaşları [7] ISO5801-1997 göre hazırladıkları test düzeneğinde deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlarda debi, toplam basınç, mil gücü ve gürültünün arttığını göstermişlerdir. Munisamy ve arkadaşları [8] bir aksel fan tasarımının HAD modellemesini deneysel sonuçlara göre doğrulamışlardır. Çalışmada, test düzeneğini AMCA 210 standardını referans alarak gerçekleştirmişlerdir. Lin ve Tsai [9] çalışmalarında bilgisayar cihazlarında artan sistem direnci ve alan sınırlaması nedeniyle fan performansını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için AMCA 210-99 standardına göre test düzeneği hazırlamışlardır. Elde ettikleri verilere göre genel teknik bilgiler sunmuşlardır. Zhang [10] ters dönüşlü aksel akış fanın performansını deneysel olarak incelemek için test düzeneğini GB/T 1236-2000 standardını referans alarak imal etmiştir. Lee ve Lim [11] çalışmalarında santrifüj fanların dış gövdesi ve fan kanatlarında yaptıkları geometrik değişikliklerin performansa etkilerini sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Kore Standardına (KS) göre hazırladıkları deney ünitesinden aldıkları sonuçlarla sayısal sonuçların oldukça uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Burgman ve arkadaşları [12] yapmış oldukları çalışmada yakıt hücrelerine hava temini sağlayan radyal fanların difüzör ve salyangozlarında yapmış oldukları tasarimsal değişikliklerin fan performansına etkilerini sayısal olarak, PIV sisteminde ve DIN EN ISO 5801: 2011-11 standardına göre hazırladıkları test düzeneğinde incelemişlerdir. Sonuçlarda yapılan iyileştirmeler doğrultusunda kısmi yüklerde fan veriminin %7.1 arttığını deneysel olarak da gözlemlemişlerdir. Radyal fanların serbest çalışma şartlarında, alt akış bölgesinde çıkışa yerleştirilen dikdörtgen kanalın akışa etkisini de Azem ve arkadaşları [13] yaptıkları çalışmada sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. DIN ISO 5801 standardına göre hazırladıkları test düzeneğinden elde ettikleri verileri sayısal sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Castegnaro ve arkadaşları [14] ISO 5801 standardına göre, maksimum giriş çapı 0.8 m'ye olan fanları test etmek için bir deney düzeneği kurmuşlardır. Çalışmalarında ISO 5801 standardının ön çalışmasında karşılaşılan sorunları vurgulamışlar ve standardı iyileştirmek için önerilerde bulunmuşlardır. Güven ve arkadaşları [15] yapmış oldukları

çalışmada AMCA 210-16' ya göre sadece eksenel fanların performans değerlerinin belirlendiği bir test ünitesi tasarlamışlardır. Verileri bilinen bir fan için deneyler gerçekleştirmişler ve test ünitesinin doğrulamasını yapmışlardır. Sonuçların oldukça uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

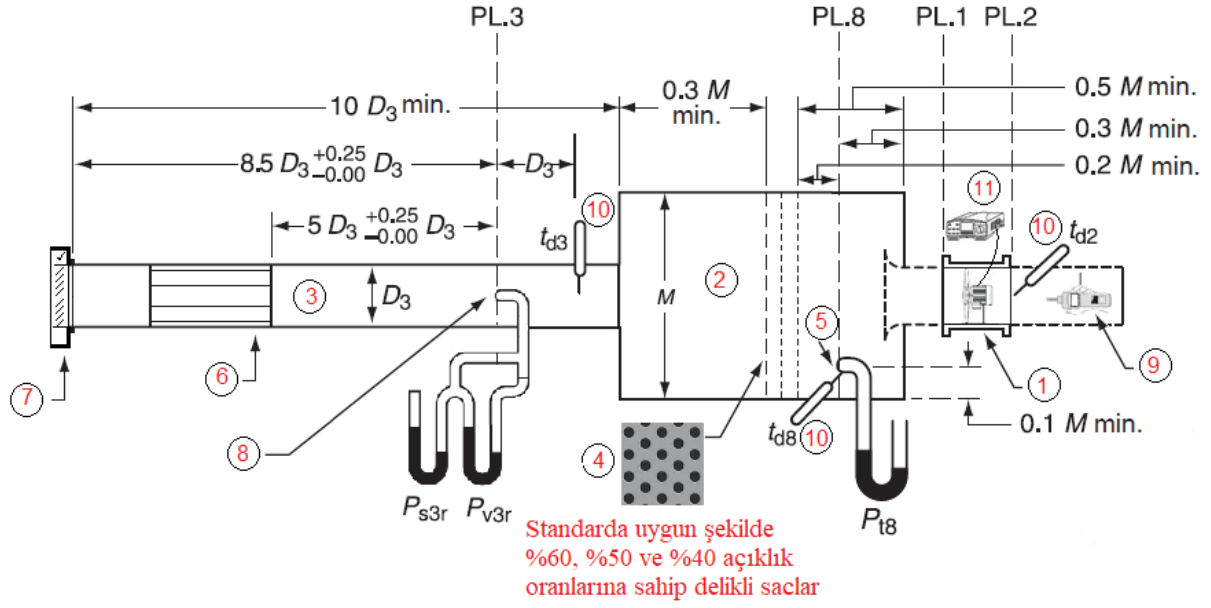
Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında test ünitelerinin uluslararası standartlara göre imal edildiği görülmektedir. Bunun yanında bu ünitelerde yapılan deney sonuçların doğrulanması da büyük önem arz ettiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmada, Konya'da bulunan fan imalatçısı bir firmada ANSI/AMCA 210-16 (Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating) [16] standardına uygun olarak radyal ve eksenel fanların performanslarını belirleyebilecek bir test ünitesi hazırlanmıştır. Test ünitesi ile gövde malzemesi galvaniz sac ve pervane malzemesi ise alüminyum olan kovanlı tip bir eksenel fanın performans parametreleri ölçülmesi amaçlanmıştır. Deneylerden alınan veriler ile değerleri iki kanat açısı için bilinen fanların performans değerleri karşılaştırılarak kurulan test ünitesinin doğrulanması hedeflenmiştir. Daha sonra da aynı fanın bilinmeyen farklı kanat açıları için performans eğrileri belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu çalışma ile ülkemizde, dünyada geçerliliği yüksek ve kabul edilen bir standart olan AMCA 210-16 ya göre test ünitelerinin kurulmasına katkı sağlamak da amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. TEST DÜZENEGİ

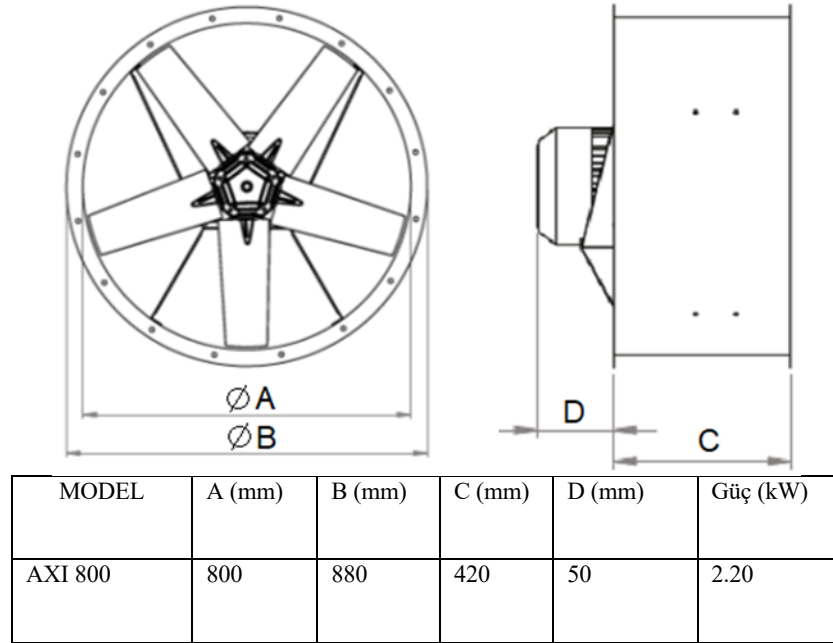
AMCA 210-16 [16] standardında 16 adet olmak üzere çeşitli fan test üniteleri mevcuttur. Bunlar basınç (dinlenme) odalı veya kanal tipli, debi ölçüm metodunun pitot tüpü taraması ya da lüle ile belirlenmesine ve test fanının yerleştirilmesine göre sınıflandırılmıştır. Bu çalışmada firmada imal edilen radyal ve eksenel fan türlerinde de kullanabileceği ve fanın girişe bağlandığı bir test ünitesi olması açısından basınç odalı tip seçilmiştir. Bu doğrultuda debi ölçümün pitot taraması ile yapıldığı ve test fanlarının çıkışa yerleştirildiği AMCA 210-16'ya göre belirlenen test ünitesinin şematik resmi Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre test düzeneği; test fanı ünitesi (1), dinlenme odası (2), debi ölçümü için fan ünitesi ile aynı eksenel doğrultuda bağlanan kanal (3), akış düzenleyici (6), debi ayar damperi (7), basınç ölçüm tüpleri (5) (8), devir ölçer takometre (9), bageet tip termometreler (10), motor gücü ölçer wattmetre (11) gibi çeşitli ölçü sistemleri ve ekipmandan (4) oluşmaktadır.

Test ünitesi tasarımına ilk önce firmanın iki kanat açısı için performans eğrisi bilinen ve farklı kanat açıları için de performans eğrilerini belirlemek istediği AXI 800 model eksenel fan seçilerek başlanmıştır. Bu fanın geometrik özellikleri Şekil 2'de verilmiştir. Tasarıma buradan devam edilerek AMCA 210-16'ya göre dinlenme odasının kesiti giriş odalı ünitelerde fan giriş kesit alanından en az 5 katı olma zorunluluğu nedeni ile oda kesiti kare şeklinde $2.68 \times 2.68 \text{ m}^2$ ($M=2.68$) olarak belirlenmiş ve imal edilmiştir. Dinlenme odasının kesit ölçüsü M 'nin belirlenmesi ile dinlenme odasının (2) diğer boyutları, toplam basınç ölçüm yeri (10) ve delikli sacların (4) yerleri Şekil 1'de gösterildiği ölçülerde imal edilmiştir. Ayrıca Şekil 1'de gösterildiği gibi standarda göre sırayla dizilen delikli sacların aralarındaki mesafeler, saclardan sonra üniform akış veya basınç dağılımını sağlayacak şekilde alınmıştır. Test edilecek fan (1), dinlenme odasının çıkışına şekilde gösterildiği gibi yerleştirilmiştir. Yine test edilecek fanın girişinde veya çıkışında kanal olmadığından dinlenme odasına direkt bağlantısı yapılmıştır. Fanın devir sayısı Diwu DT2234-C Lazer marka takometre ile (9) ile ölçülmüştür. Fanın motor gücünde test ünitesi için hazırlanan akım, voltaj ve güç değerlerinin ayrı ayrı gösterebilen elektrik panosundaki wattmetreden (11) direkt ölçülmüştür.



- (1) Test fanı (4) Delikli saclar (7) Debi ayar damperi (10) Termometreler
 (2) Dinlenme odası (5) Toplam basınç tüpü (8) Pitot tüpü (11) Wattmetre
 (3) Debi ölçüm kanalı (6) Akış düzenleyici (9) Takometre

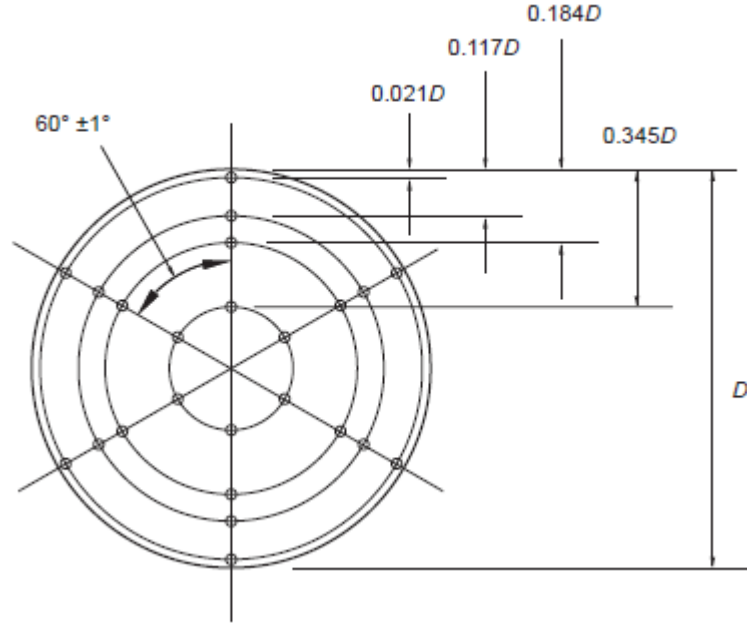
Şekil 1. Giriş Odalı-Pitot Taramalı Fan Test Ünitesi (ANSI/AMCA 210-16).



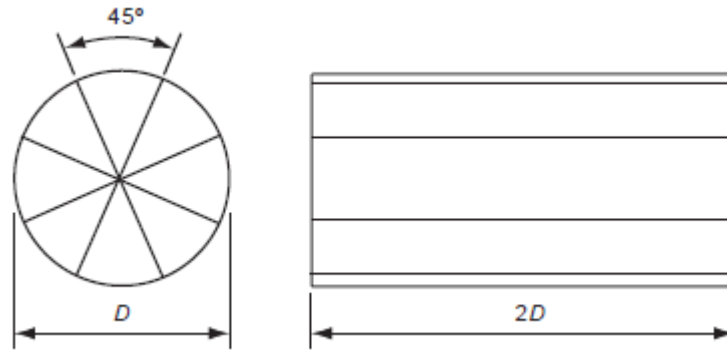
Şekil 2. Fan modelin şematik resmi ve geometrik boyutları.

Debi ölçüm kanalı (3) çapı AXI 800 model fan giriş çapı olan 800 mm ($D_3 = 3$) olarak belirlenmiş ve kanal boyu, pitot tüpü (8), akış düzenleyici (6) ve termometre (10) yerleri bu çap referans alınarak Şekil 1'deki ölçülere göre belirlenmiştir. Kullanılan pitot tüpü de AMCA210-16 [16] standardına uygun dwyer 160 serisidir. Pitot tüpü Şekil 3'te gösterilen konumlardaki noktaları tarayarak ölçüm yapacak şekilde ayarlanmıştır. Basınçlar pitot tüpüne bağlanan KIMO MP100 marka dijital manometre ile tespit edilmiştir. Böylece, kanaldan geçen havanın hızı, debisi, dinamik basıncı ve toplam basıncı belirlenmiştir. Fan debisini ayarlamak için de test borusu çıkış kısmına ayarlanabilir

damperli vana (7) yerleştirilmiştir. Kanala giren havanın homojen ve düzgün dağılımını sağlamak için yerleştirilen akış düzenleyicinin geometrisi (6) ve boyutları da Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Test borusu içine yerleştirilen pitot tüpü ölçüm noktaları (ANSI/AMCA 210-16).



Şekil 4. Yıldız tip akış düzenleyici geometrisi ve boyutları (ANSI/AMCA 210-16).

A. 1. Deneilerin Yapılışı ve Data Analizi

Verim sınıfı IE2-IE3 olan TEFC tip motor ile tahrik edilen ve bu çalışmada kullanılan fanın çalışma sıcaklığı -20 ile $+50$ C° arasında değişmektedir. Fan üreticisi daha önce bir test kuruluşunda 380 V gerilim ve 50 Hz frekansta testlerini gerçekleştirdiği AXI 800 model fanın çalışma noktası değerleri, 30° ve 35° kanat açısı için sırasıyla gücü, devri ve debisi 2.2 kW, 1459 d/dk, 25,560 m³/h ve 3.0 kW, 1463 d/dk, 30,940 m³/h'dir.

Deneilerde ilk olarak test düzeneğinin doğruluğunu sağlamak için fan değerleri bilinen 30° ve 35° kanat açısı için farklı debi değerlerinde deneyler yapılmıştır. Daha sonra fanın diğer kanat açıları için yine farklı debi değerlerinde deneyler tekrarlanmıştır. Test fanının performans eğrisini kıyaslamak için toplam basınç tüpü ve pitot tüpü basınç değerleri, sıcaklıklar, elektrik motoru gücü (P_{elek}) ve devir sayısı değerleri kaydedilerek veri tablosu oluşturulmuştur. Elde edilen veriler yardımıyla test fanlarının parametre değerleri AMCA 210-16 [16] standardında verilen aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmıştır.

İlk olarak doymuş buhar basıncı (P_e) ve kısmi buhar basıncı (P_p) Eş. 1 ve 2'den hesaplanır.

$$P_e = 3.25 \times t_{w_0}^2 + 18.6t_{w_0} + 692 \quad (1)$$

$$P_p = P_e - P_b \left(\frac{t_{d_0} - t_{w_0}}{1500} \right) \quad (2)$$

Bu denklemde, t_{w_0} : test ortamındaki yağ termometre sıcaklığı, t_{d_0} : test ortamındaki kuru termometre sıcaklığı ve P_b : düzeltilmiş barometrik basınçtır. Eş. 2 ile elde edilen kısmi buhar basıncı değeri de kullanılarak deney ortamındaki hava yoğunluğu (ρ_0) Eş. 3'ten hesaplanır.

$$\rho_0 = \frac{P_b - 0.378P_p}{R(t_{d_0} + 273.15)} \quad (3)$$

Debi ölçüm kanalından geçen havanın yoğunluğu (ρ_3) Eş. 4'ten hesaplanır.

$$\rho_3 = \rho_0 \left[\frac{t_{d_0} + 273.15}{t_{d_3} + 273.15} \right] \left[\frac{P_{s_3} + P_b}{P_b} \right] \quad (4)$$

Burada P_{s_3} debi ölçüm kanalındaki havanın statik basıncıdır ve pitot tüpünden ölçülen değerler yardımı ile Eş. 5'den hesaplanır.

$$P_{s_3} = \frac{\sum P_{s_{3r}}}{n} \quad (5)$$

Aynı zamanda pitot tüpünden elde edilen veriler ile dinamik basınç (P_{v_3}) ve hız (V_3) değerleri Eş. 6 ve 7'den bulunur.

$$P_{v_3} = \left(\frac{\sum \sqrt{P_{v_{3r}}}}{n} \right)^2 \quad (6)$$

$$V_3 = \sqrt{2} \left(\sqrt{\frac{P_{v_3}}{\rho_3}} \right) \quad (7)$$

Bu denklemlerde n ; okuma sayısıdır. Debi ölçüm kanalındaki hava debisi (\dot{Q}_3) 3. düzlemdeki kesite göre Eş. 8'den elde edilir.

$$\dot{Q}_3 = V_3 \cdot A_3 \quad (8)$$

Buna göre test fanından geçen hava debisi (\dot{Q}) Eş. 9'dan hesaplanır.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_3 \left(\frac{\rho_3}{\rho} \right) \quad (9)$$

Burada ρ fanından geçen havanın yoğunluğudur. Giriş odalı test ünitelerinde 1. ve 8. düzlemdeki toplam basınç ve sıcaklıklar eşittir ($P_{t_1} = P_{t_8}$, $t_{s_1} = t_{d_8}$). Buna göre de test fanından geçen havanın yoğunluğu da (ρ) Eş. 10'dan hesaplanır.

$$\rho = \rho_0 \left[\frac{t_{d_0} + 273.15}{t_{d_8} + 273.15} \right] \left[\frac{P_{t_8} + P_b}{P_b} \right] \quad (10)$$

Fan kataloglarında performans eğrileri basınç, debi ve elektrik motoru gücüne göre belirlenir. Elektrik motor gücü de wattmetreden direkt okunduğundan fan dinamik basıncı Eş. 11'den hesaplanır.

$$P_v = P_{v_3} \left(\frac{A_3}{A_2} \right)^2 \left(\frac{\rho_3}{\rho_2} \right) \quad (11)$$

Bu çalışmada kullanılan test fanların kesit alanı ile debi ölçüm kanalın kesit alanları aynı olduğundan $A_3 = A_2$ 'tür. Eğer 2. ve 3. düzlemdeki statik basınçlar, $|p_{s_3} - p_{s_2}| \geq 1$ kPa ise 2. kesitteki yani test fanından geçen hava yoğunluğu Eşit. 12'den belirlenir. Değil ise, yani $|p_{s_3} - p_{s_2}| \leq 1$ kPa ise $\rho_3 = \rho_2$ alınabilir.

$$\rho_2 = \rho_0 \left[\frac{t_{d_0} + 273.15}{t_{d_2} + 273.15} \right] \left[\frac{P_{s_2} + P_b}{P_b} \right] \quad (12)$$

Aynı zamanda fan çıkışı direk atmosfere olduğundan $P_{s_2} = P_b$ dir. Bu nedenle de $P_{t_2} = P_{v_2} = P_v$ dir. Fan giriş toplam basıncı Eşit. 13 ve statik basıncı da Eşit. 14'ten belirlenir.

$$P_t = P_{t_2} - P_{t_1} \quad (13)$$

$$P_s = P - P_v \quad (14)$$

Çalışmada ayrıca nihai parametre olan statik basınç ve debi için belirsizlik analizi yapılmıştır. Ölçümler esnasında oluşan hataların statik basınç ve debi üzerindeki etkisi Kline ve McClintock [17] tarafından önerilen belirsizlik analizi denklemine göre belirlenmiştir. Buna göre p_s ve \dot{Q} değerlerindeki maksimum belirsizlik, hesaplama prosedürü takip edilerek bulunmuştur.

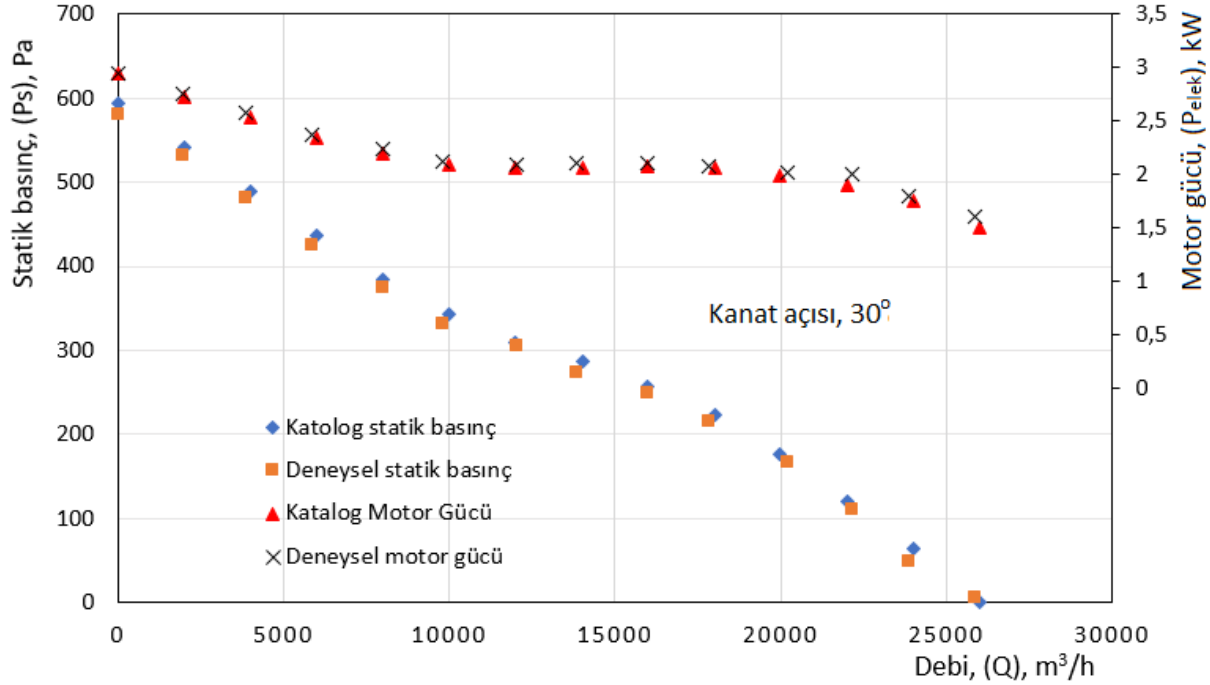
Hesaplamalarda ölçümlerden kaynaklanan hata değerleri sırasıyla sıcaklık ölçümlerinde %1, elektrik gücü ölçümünde %1, fark basınç ölçümünde %1 ve akış hızı ölçümünde %1 alınmıştır. Alınan bu değerlere göre p_s ve \dot{Q} değerlerindeki maksimum belirsizlik sırasıyla %2~4 ve %1.2~2.4 arasında hesaplanmıştır.

III. BULGULAR

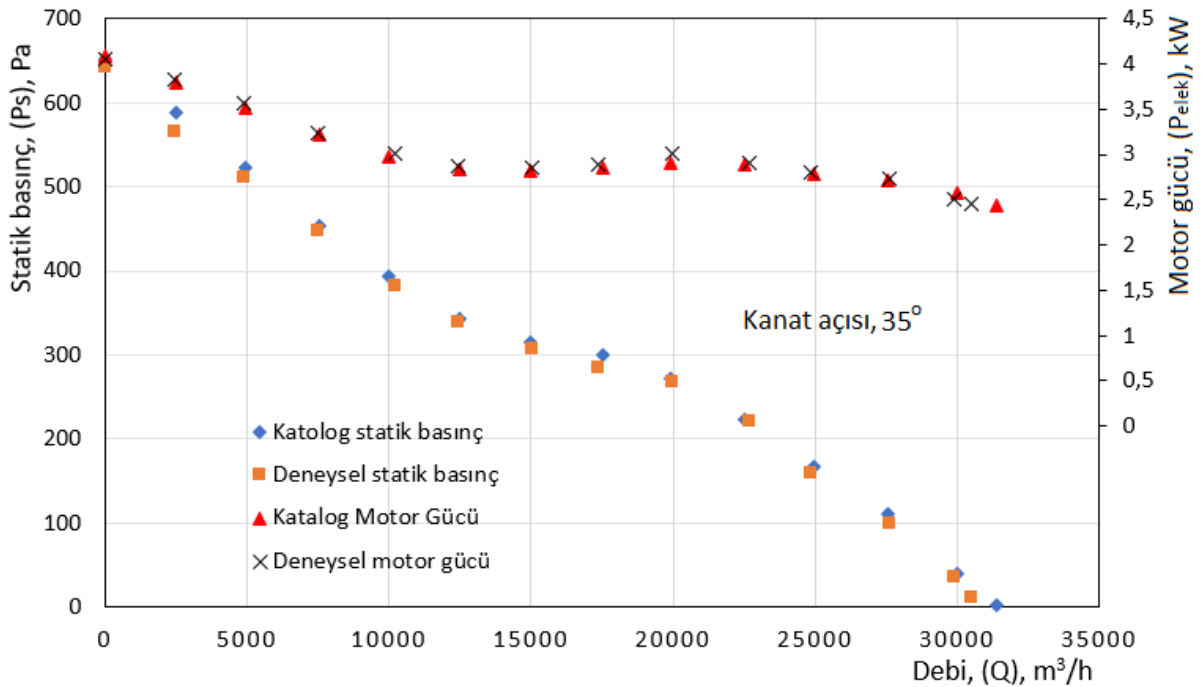
Bu çalışmada, Konya'da yer alan bir firmada üretilen performans değerleri kanat açısı 30° ve 35° için bilinen 5 kanatlı AXI 800 model eksenel fanın, diğer kanat açılarındaki performans parametre değerlerinin belirlenmesi ve AMCA 210-16 ya göre hazırlanan test ünitesinin doğruluğunun sağlanması hedeflenmiştir. Farklı kanat açılarındaki test fanların, farklı debi değerleri için statik basınç ve elektriksel motor güçlerine göre performans eğrileri belirlenmiştir.

İlk olarak test düzeneğinin doğruluğunu sağlamak için çalışma değerleri bilinen 30° ve 35° kanat açısına sahip fanlar için deneyler tekrarlanmıştır. Şekil 5 ve 6'da test düzeneğinde elde edilen performans eğrileri ile firma kataloğunda [19] verilen performans eğrilerinin kıyaslamaları verilmiştir. Şekiller beraber incelendiğinde, ilk öne çıkan sonuç, hem basınç hem de elektriksel motor gücü deneysel verilerinin katalog verileri ile oldukça uyumlu olduğudur. Tüm debi aralığında bu uyumun basınç değişiminde yaklaşık %1.3 ile %4.9 arasında, elektriksel motor gücünde ise %1 ile %5 arasında olduğu görülmektedir. Yine her iki grafik için basınç ve elektriksel motor gücü değişim eğiliminin benzer olduğu da görülmektedir. Debi arttıkça basınç değerlerinin 30° kanat açısında yaklaşık 12,000 m³/h'e kadar hızla azaldığı, sonrasında ise yaklaşık 14,000 m³/h'e basınç değişim hızının azaldığı, devamında ise yine basınç değişiminin hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Yine benzer biçimde basınç değişiminin 35° kanat açısı için yaklaşık 14,000 m³/h'e kadar hızla azaldığı, sonrasında yaklaşık 21,000 m³/h'e değişim hızının azaldığı, devamında ise yine hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Genel olarak basınç değerlerinin azalmasının nedeni de debi arttıkça dinamik basıncın artması ve statik basıncın azalmasıdır. Basınç değişiminin sabit kaldığı, değişimin az olduğu veya artabildiği debi aralığına (30° kanat açısı için yaklaşık 12,000 m³/h ile 14,000 m³/h, 35° kanat açısı içinde yaklaşık 14,000 m³/h ile 21,000 m³/h arası) literatürde eksenel fanlar için kararsız bölge olarak

isimlendirilmektedir [17]. Bu bölge başlangıcında girdap olduğu sonrasında ise bitime doğru akışın daha düzgün ve aksel doğrultuda ilerlediği bilinmektedir [18]. Bunların yanı sıra basınç değişiminde katalog verileri ile deneysel verilerin aralarındaki en yüksek farkın, debinin minimum ve maksimum olduğu noktalarda olduğu görülmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi bu farkında % 5'i geçmediği belirlenmiştir.



Şekil 5. Fan kanat açısı 30° için statik basınç ve elektriksel motor gücü kıyaslanması.



Şekil 6. Fan kanat açısı 35° için statik basınç ve elektriksel motor gücü kıyaslanması.

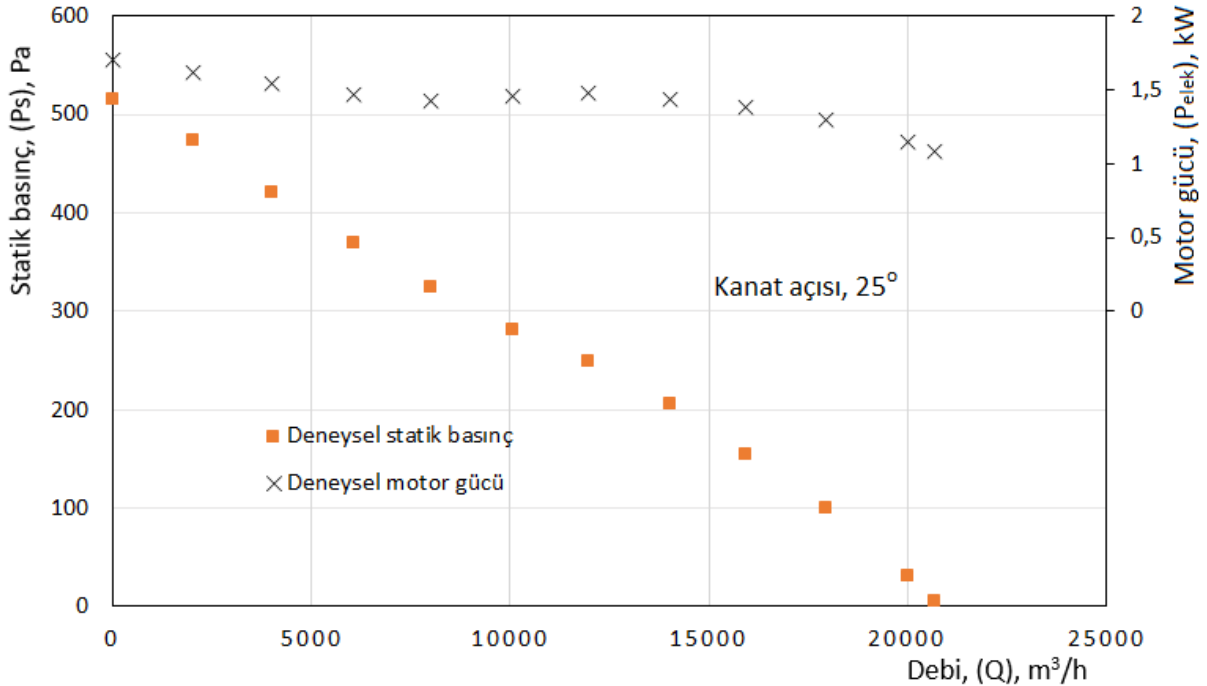
Elektriksel motor gücün değişim eğilimi incelendiğinde düşük debi değerlerinde motor gücünün en yüksek değerler aldığı, sonrasında statik basınçtaki azalma ile direnç azalmasına bağlı olarak debi

artıkça başlangıçta kararsız bölgeye kadar azaldığı, kararsız bölgede nispeten sabit kaldığı ve sonrasında yine azaldığı görülmektedir. Kararsız bölgeye kadar motor gücünün hızlı bir şekilde azalması, statik basınç yükünün azalması nedeniyle fan motorunun daha az güç harcamasından kaynaklanmaktadır. Elektriksel motor gücü değişiminde katalog verileri [19] ile deneysel verilerin aralarındaki en yüksek fark, kararsız bölge civarında olduğu görülmektedir. Ancak, bu farkında yine %5'i geçmediği görülmüştür.

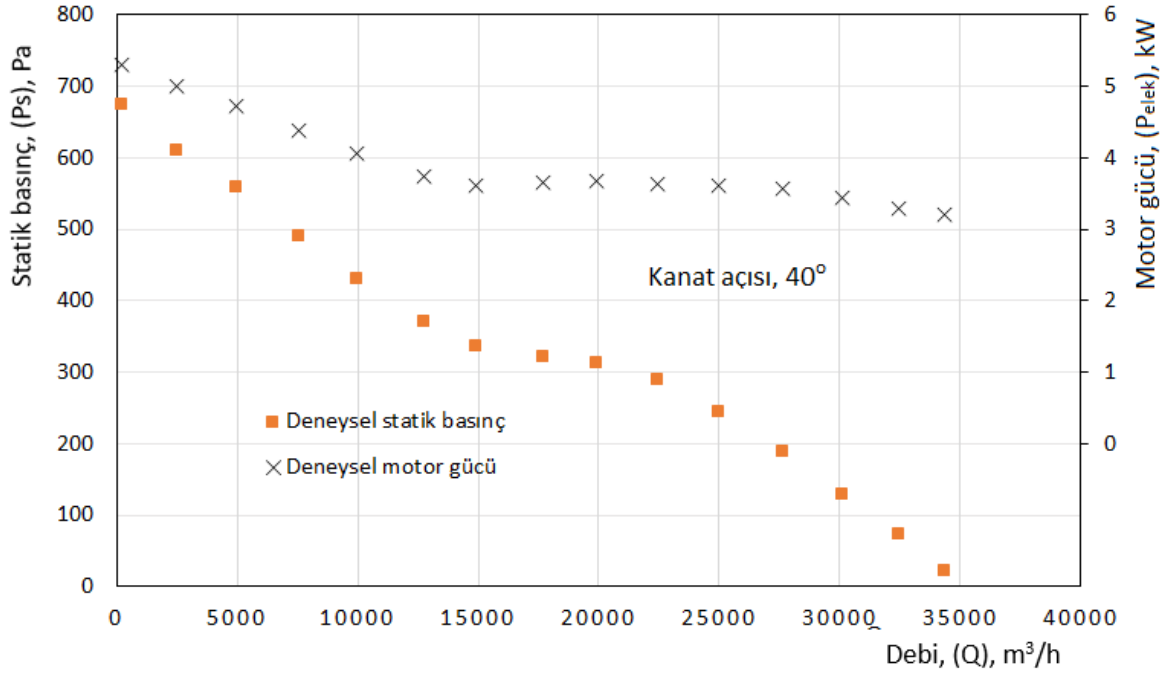
Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, ANSI/AMCA 210-16 [16] standardına göre tasarlanan test düzeneğinde deneysel veriler ile katalog verilerin oldukça uyumlu olması nedeni ile deneysel düzeneğin doğruluğunun sağlandığı ve test amaçlı kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Test ünitesinin doğruluğunun sağlanmasından sonra mevcut fanın bilinmeyen diğer kanat açılarındaki statik basınç ve elektriksel motor gücü değerlerinin farklı debi değerlerinde elde edilen performans eğrileri Şekil 7'den 10'a kadar sırasıyla 25°, 40°, 45° ve 50° kanat açıları için verilmiştir. Verilen şekillerle beraber Şekil 5 ve 6 birlikte incelendiğinde yine bütün grafiklerinin benzer değişim eğilimleri gösterdiği görülmektedir. Öncelikle kanat açısı arttıkça debi aralığının arttığı ve basınç aralığında da artışın 45° kanat açısına kadar devam ettiği sonrasında ise azaldığı görülmektedir. Yine kanat açısı arttıkça kararsız bölgenin daha belirgin hale geldiği şekillerden görülmektedir. Bunun nedeni de akış ayrılma etkisinin yüksek kanat açılarındaki, düşük kanat açılarına göre daha fazla olmasıdır.

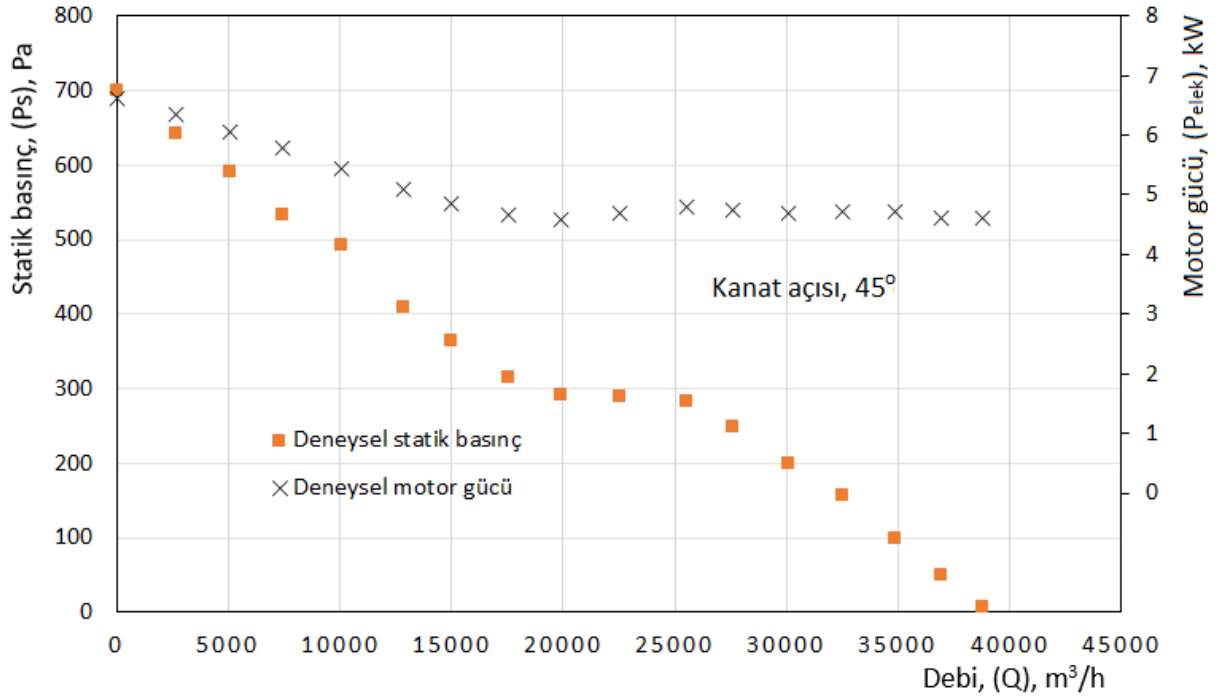
Elektriksel motor gücünde ise hemen hemen bütün kanat açılarındaki debi arttıkça kararsız bölgeye kadar kanat açısı arttıkça hafif bir şekilde azaldığı, kararsız bölgede ise hafif bir şekilde arttığı sonrasında ise tekrar azaldığı görülmektedir. Yine kanat açısı arttıkça elektriksel motor gücün belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Kanat açısına göre basınç aralığındaki artış elektriksel motor gücüne göre oransal olarak daha az olduğu görülmektedir. Bu durum fan veriminde azalmaya da neden olduğundan yüksek kanat açılarındaki bu fanların kullanılması uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Ayrıca fanların çalışma noktası genel olarak kararsız bölgenin hemen sonrası olarak belirlendiği için yine yüksek kanat açılarındaki bu bölgede fan performansına göre gücün daha fazla artış göstermesinden dolayı kullanmanın uygun olmadığı da anlaşılmaktadır.



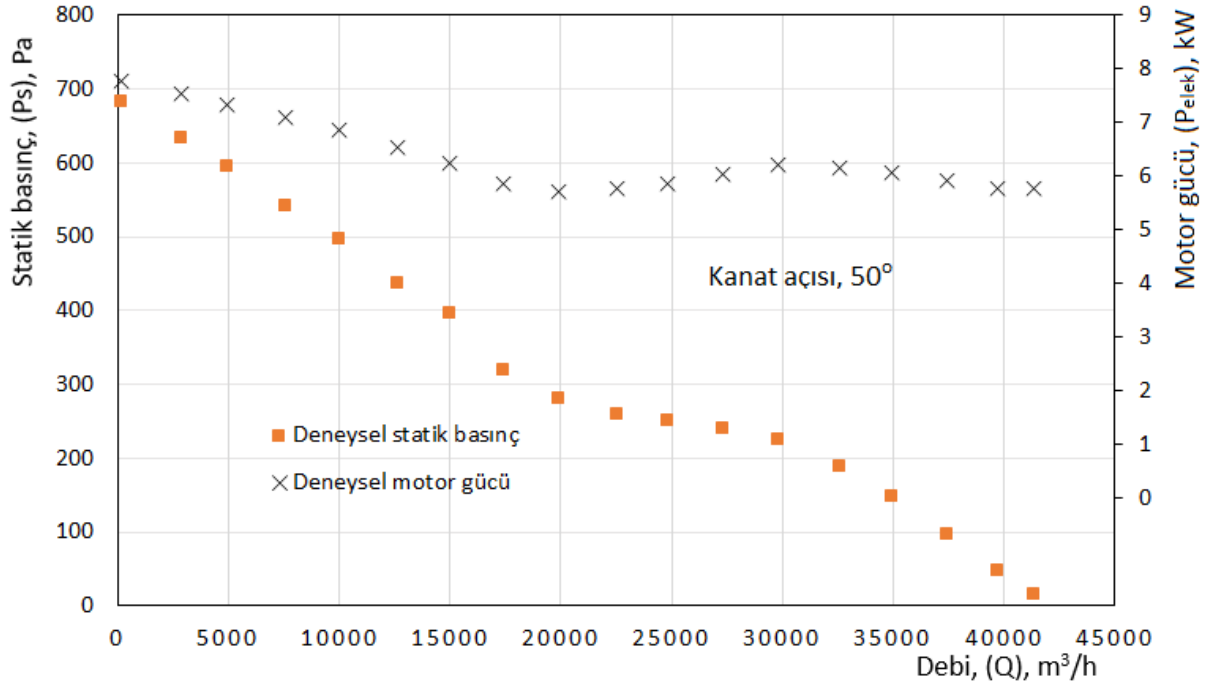
Şekil 7. Fan kanat açısı 25° için statik basınç ve elektriksel motor gücün debi ile değişimi.



Şekil 8. Fan kanat açısı 40° için statik basınç ve elektriksel motor gücün debi ile değişimi.



Şekil 9. Fan kanat açısı 45° için statik basınç ve elektriksel motor gücün debi ile değişimi.



Şekil 10. Fan kanat açısı 50° için statik basınç ve elektriksel motor gücün debi ile değişimi.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada ANSI/AMCA 210-16 standardına göre hazırlanan deney ünitesinde bir eksenel fanın bilinen kanat açısı değerleri ile önce doğruluğu sağlanması için kıyaslama yapılması, sonra da diğer kanat açılarındaki performans eğrileri oluşturulması hedeflenmiştir. Böylece hem test ünitesinin doğruluğu araştırılmış hem de bilinmeyen farklı kanat açılarındaki performans eğrileri irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

- Deneysel sonuçlarla katalog sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Bu nedenle deney ünitesinin doğruluğunun sağlandığı ve standarda uygun olarak fan performans testlerinin yapılabileceği tespit edilmiştir.
- Kanat açısı arttıkça kararsız bölgenin daha belirgin hale geldiği görülmüştür.
- Kanat açısı arttıkça basınç aralığındaki artışın elektriksel güç artış oranına göre daha az olduğundan yüksek kanat açılarındaki kullanılan fanın verimli olmadığı anlaşılmıştır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, KAYITES MÜHENDİSLİK tarafından Ar-Ge çalışmaları kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

- [1] P. Waide and C. Brunner, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems," *Working Paper*, International Energy Agency, France, 2011.
- [2] N. Elliot and S. Nadel, "Realizing Energy Efficiency Opportunities in Industrial Fan and Pump Systems," Report Number A304, USA, 2003.
- [3] F. Bleier, *Fan Handbook Selection, Application and Design*, First Edition, USA, McGraw Hill, 1997.

- [4] X. Zhu, W. Lin and Z. Du, “Experimental and Numerical Investigation of the Flow Field in the Tip Region of an Axial Ventilation Fan,” *ASME. J. Fluids Engineering*, vol. 127, no. 2, 299–307, 2004. <https://doi.org/10.1115/1.1881654>
- [5] L. Cho, B. Cha and J. Cho, “Experimental Study on the Three-Dimensional Unsteady Flow Characteristics of the Counter-Rotating Axial Flow Fan” *Journal of Fluid Science and Technology*, vol. 4, 200-209, 2009.
- [6] Y. Li, J. Liu, H. Ouyang and Z. Du, “Internal flow Mechanism and Experimental Research of Low-Pressure Axial fan with Forward-Skewed Blades,” *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, vol. 20, no. 3, 299–305, 2008. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(08\)60061-X](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(08)60061-X)
- [7] L. Chunxi, W. S. Ling and J. Yakui, “The performance of a centrifugal fan with enlarged impeller,” *Energy Conversion and Management*, vol. 52, 2902–2910, 2011. doi:10.1016/j.enconman.2011.02.026
- [8] K., Munisamy, R. Govindasamy and S. Thangaraju, “Experimental and Numerical Investigation onto 1250 mm Axial Fan,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 225, 91-96, 2012. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.225.91
- [9] S.C. Lin and M.L. Tsai, “An integrated performance analysis for a backward-inclined centrifugal fan,” *Computers & Fluids*, vol. 56, 24–38, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2011.11.009>
- [10] S. Zhang, “Experimental study on performance of contra-rotating axial flow fan,” *Int J Coal Sci Technol*, vol. 2, 232–236, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40789-015-0073-2>,
- [11] Y-T. Leen and H-C. Lim, “Performance assessment of various fan ribs inside a centrifugal blower,” *Energy*, vol. 94, 609-622, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.007>
- [12] S. Burgmann, T. Fischer, M. Rudersdorf and A. Roos, “Development of a centrifugal fan with increased part-load efficiency for fuel cell applications,” *Renewable Energy*, vol. 116, 815-826, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.075>
- [13] A. Azem, P. Mathis, F. Stute, M. Hoffmann, D. Müller and G. Hetzel, “Efficiency increase of free running centrifugal fans through a pressure regain unit used in an air handling unit,” *Energy & Buildings*, vol. 165, 321–327, 2018.
- [14] S. Castegnaro, M. Masi, and A. Lazzaretto, “Design and Testing of an ISO 5801 Inlet Chamber Test Rig and Related Issues with the Standard,” in *FAN 2018 - International Conference on Fan Noise, Aerodynamics, Applications & Systems*, Darmstadt , Almany, April 2018.
- [15] T. B. Güven, A. H. Altun and S.Doğan, “An experimental test set-up with the ANSI / AMCA 210-16 standard for performance analysis of axial fans,” *International Journal of Aeronautics and Astronautics*, vol. 2, no. 1, 9-13, 2021.
- [16] *ANSI/AMCA Standard 210-16, Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating*, ASHRAE Standard 51-16, USA, 2016.
- [17] S.J. Kline and F.A. McClintock, *Describing uncertainties in single sample experiments*, Mech. Eng., vol. 75, 385–392, 1953.
- [18] B. Eck, *Design and operation of centrifugal, axial-flow, and cross flow fan*, First ed., Germany, Pergamon Press Ltd., 1973.

[19] Anonim, (2022, 08, 24). Kataloglar (Kayites). [Çevrimiçi]. Erişim:
http://www.kayites.com/assets/upload/folder/publish/normal/kayites_202232515387568.pdf



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Elektro Eğirme Yöntemiyle ZnO Nanofiberlerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu

 Deniz Kadir TAKCI^{a,*}

^a Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: deniztakci@kilis.edu.tr
DOI: 10.29130/dubited.1158475

ÖZ

Bu çalışmada 1D ZnO nanofiberleri, çinko asetat ve polivinil alkol (PVA) öncü çözeltisinden elektro eğirme tekniği kullanılarak sentezlenmiş ve ardından atmosfer ortamında 400°C'de 2 saat kalsinasyon yapılmıştır. Elektron mikroskop analizleri (SEM) tavlama sonrasında nanofiber yapıların pürüzlü yüzeyini, EDX analizleri ise Zn: O atomik oranının 1:1 olduğunu ve safsızlığını göstermiştir. XRD karakterizasyonu polikristalin yapıyı ortaya koymuş ve RAMAN spektrumu optik fonon modlara işaret etmiştir. FTIR ile ZnO fonksiyonel grup analizleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektro eğirme yöntemi, Nanofiber, PVA, ZnO

Fabrication and Characterization of ZnO nanofibers by Electrospinning Technique

ABSTRACT

In this study, 1D ZnO nanofibers were synthesized from zinc acetate and polyvinyl alcohol (PVA) precursor solution using electrospinning technique, and then calcined in air environment at 400°C for 2 hours. Electron microscope analyzes (SEM) showed the rough surface of the nanofiber structures after annealing, and EDX analyzes demonstrated that the Zn:O atomic ratio was 1:1 and impurity. XRD characterization revealed the polycrystalline structure and the RAMAN spectrum indicated optical phonon modes. ZnO functional group analyzes were determined by FTIR.

Keywords: Electrospinning technique, Nanofiber, PVA, ZnO

I. GİRİŞ

Toksik olmayan çinko oksit (ZnO) oda sıcaklığında yaklaşık 3.37 eV geniş bant aralığına sahip bir II-IV yarıiletken materyaldir [1]-[2]. İyi elektriksel, optiksel ve piezoelektriksel davranışları gibi eşsiz ve ilgi çekici özelliklerinden dolayı ümit vaat eden materyallerden biridir [1]. Direkt bant aralığı, yüksek eksiton bağlanma enerjisi (60 meV), iyi dirençlilik (10^{-3} - 10^5 Ω cm aralığında) sergileyen, fotoaktif, mükemmel termal ve kimyasal stabilite gibi eşsiz özellikleri ile farklı formlar içerisindeki bir vürtzit kristal yapıda n-tipi yarıiletkenidir [3]-[6]. Son yıllarda, ultra yüksek yüzey/hacim oranı ve kuantum sınırlama etkisinden dolayı nanoteller, nanoşeritler, nanofiberler ve nanorodlar gibi tek boyutlu (1D) nanoyapıların geliştirilmesine olan ilgi giderek artmaktadır. Yakın UV emisyonu ve geçirgen iletkenlik gösteren 1D ZnO, fotokatalitik ve termoelektrisitede ki dikkate değer performansı nedeniyle en umut verici fonksiyonel oksit nanoyapılarından biridir [7]-[8].

Işık yayan diyotlar, fotodedektörler, optoelektronik aygıtlar, varistörler, gaz sensörleri, süperkapasitör elektrotlar ve güneş pilleri gibi ileri teknoloji uygulamaları için yukarıda bahsedilen yüksek potansiyellerinden dolayı 1D ZnO nanoyapılarının sentezi önem kazanmıştır [8]-[9]. Bu bükülebilir ve düğümlenebilir özellikteki esnek ZnO nanomateryalleri giyilebilir aygıtlar için mükemmel bir aday olmasının yanı sıra metallerin adsorpsiyonu, antimikrobiyal ajan, UV ışıması altında çeşitli organik kirleticilerin giderilmesi ve bellek cihazları gibi çeşitli uygulama alanlarına sahiptir [10]-[12]. ZnO nanoyapılarının radyasyon kalkan materyali ve tekstil endüstrisinde UV korumalı giysiler üzerinde de potansiyel uygulamaları mevcuttur [13]. Son çalışmalarda, oda sıcaklığında ferro-manyetik özellik gösterdiği de belirtilmiştir [14].

1D ZnO nanomateryallerinin sentezlenmesinde örnek şablon destekli, buhar-sıvı-katı, elektrokimyasal proses, sol-jel proses, püskürtme, hidrotermal ve elektro eğirme teknikleri gibi çok sayıda metot kullanılmaktadır [4], [15]-[16]. Bu metotlar arasında elektro eğirme organik ve inorganik nanofiberlerin üretimi için oldukça basit, ucuz ve etkili bir tekniktir [17].

Elektro eğirme, son on yılı aşkın süredir elektrostatik fiber üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikte, viskoz polimerik veya metal/polimerik çözeltilere bir elektrik alanı uygulanır ve ardından elektro eğirme çözeltilisinin bir iğneden hedefe püskürtülmesi sağlanır [13], [15]. Sonuç olarak, hedef üzerinde toplanan fiberler, polikristal oksit nanofiberler elde etmek için kalsine edilir [15]. Bu yöntemle elde edilmiş nanofiberler: (i) son derece yüksek bir yüzey/hacim oranı, (ii) ayarlanabilir gözeneklilik, (iii) çok çeşitli boyut ve şekillere uyum sağlamak için işlenebilirlik; ve (iv) nanofiberler bileşimini kontrol etme yeteneği gibi çeşitli avantajlara sahiptir [13]. Çoğu araştırmacı, polivinil alkol (PVA), polivinil piroidon (PVP) veya polivinil asetat (PVAc) ile karıştırılmış ZnO öncü çözeltilerinden elde edilen elektro eğirme ZnO nanofiberlerini rapor etmiştir [6].

Bu çalışmada, çinko asetat ve öncü olarak polivinil alkol (PVA) kullanılarak elektro eğirme tekniği ve kalsinasyon prosesinin basit bir kombinasyon yaklaşımı ile ZnO nanofiberlerin başarılı bir şekilde sentezlenmesi amaçlanmıştır. Üretilen ZnO nanofiberlerinin morfolojileri ve mikronanoyapıları X-Işını kırınımı (XRD), Alan yayımlı taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM), Fourier dönüşümlü kızılötesi ve Raman spektroskopisi ile incelenmiştir.

II. MATERYAL ve YÖNTEM

A. ZnO NANOFİBERLERİNİN SENTEZİ

Elektro eğirme öncü solüsyonu 1.5 g PVA (Sigma, Aldrich) ve 0.9 g çinko asetat dihidrat (AFG Bioscience) manyetik karıştırıcıda 3 saat 70°C'de 400 rpm'de 10 mL N,N-Dimetilformamid (DMF) (Chemsolute)'de çözülerek hazırlanmıştır. Bu aşamada elektro eğirme için uygun viskozitede solüsyon elde edilmiştir. Şekil 1'de gösterilen FYTRONIX ELECKROSPUN SYSTEM ESP9712 elektro

eğirme sistemi kullanılarak öncü solüsyon 10 mL plastik şırıngaya doldurulmuş ve 21G (723 μm) paslanmaz çelik iğneye aktarılmıştır. Solüsyonun akış hızı 500 $\mu\text{L/s}$ olacak şekilde sabitlenmiştir. İğne ucu ve toplayıcı arasındaki mesafe 8 cm olarak ayarlanmıştır. Yüksek voltaj kaynağının pozitif elektrotu iğnenin ucuna bağlanarak, voltaj 25 kV'ye ayarlanmıştır. Topraklanmış toplayıcı üzerine yerleştirilen $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 'lik camlar üzerine ZnO nanaofiber kompozitler sentezlenmiştir. Nanaofiber yapılar 400°C'de 2 saat kalsine edilerek organik kirlilikler uzaklaştırılmıştır.



Şekil 1. Elektro eğirme sistemi (FYTRONIX ELECKROSPUN SYSTEM ESP9712).

B. ZnO NANOFİBERLERİNİN KARAKTERİZASYONU

ZnO nanaofiberlerinin safsızlıkları, faz karakteristikleri ve yapısal özellikleri XRD tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Bu analiz $\text{CuK}\alpha$ radyasyonlu ($\lambda=1.54059 \text{ \AA}$) Panalytical Empyrean XRD difraktometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD ölçümleri 10° ila 90° arasında yapılmıştır.

Hazırlanan ZnO nanaofiberlerinin yüzey morfolojisinin incelemesi, taramalı elektron mikroskobu (20 kV voltajında FEI Quanta FEG 650) kullanılarak yürütülmüştür. Nanyapıların kimyasal kompozisyonu (ağırlık ve atom yüzdeleri) EDAX ile belirlenmiştir.

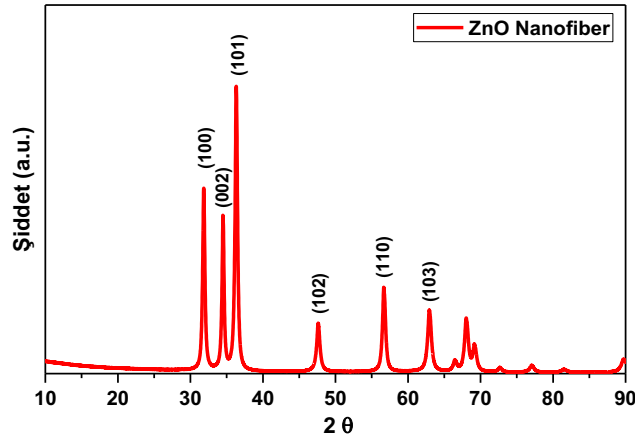
Sentezlenen ZnO nanaofiberlerin fazı, kristal kalitesi ve kusurları, tahribatsız bir karakterizasyon yöntemi olan Raman spektrumları ile incelenmiştir. Raman ölçümleri, 532 nm lazerli (güç %10) Via Qontor Renishaw spektrometresi kullanılarak tamamlanmıştır.

ZnO nanyapılarının kimyasal yapı ve fonksiyonel grup analizleri Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (Jasco FT/IR-6700) ile çalışılmıştır. Ölçümler $400\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$ aralığında yapılmıştır.

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

XRD ölçüm sonucu elde edilen tüm pikler ZnO nanaofiberlerinin hekzagonal kristal sisteminde vürtzit yapıda ve $P63mc$ uzay grubunda (PANICSD-98-009-4004 card ($a=b 3.247 \text{ \AA}$; $c=5.203 \text{ \AA}$)) olduğu görülmüştür. Şekil 2'de gösterildiği gibi, XRD sonuçlarındaki dar ve keskin pikler, sentezlenen ZnO

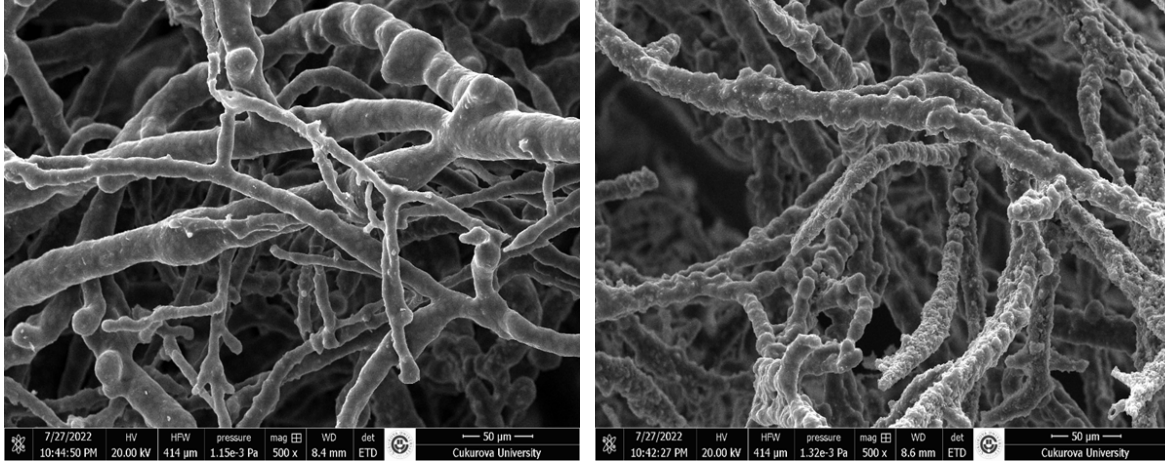
nanofiberlerinin iyi bir kristallik yapıda olduğuna ve safsızlığına işaret etmektedir. ZnO nanofiberlerinin polikristal bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. En şiddetli pik kristal büyüme yönelimi (101) hkl düzleminde, $2\theta=36.31^\circ$ açıda belirlenmiştir. Yalçın (2020)'de [18] mikrodalga destekli teknikler kullanarak nanoyapıda ZnO pullar üretmiş ve X-ışını kırınımı (XRD) tekniği yapısal analiz verileri sonuçlarımızı desteklemektedir. Das ve ark. (2014) [14] PVA ve çinko asetat öncü solüsyonu ile oda sıcaklığında sürdürdükleri çalışmada, elektro eğirme yöntemi ile ZnO katkılı nanofiberler üretmiş ve XRD sonuçlarımıza benzer şekilde hekzagonal vürtzit kristal yapı ortaya koymuşlardır. Diğer bir çalışmada, Khorami ve ark. (2011) [15] elektro eğirme yöntemi kullanarak PVA, çinko asetat ve kalay klorid öncü karışımı ile SnO₂/ZnO kompozit nanaofiberler sentezlemişlerdir. XRD deseni sonuçlarımıza benzer olarak nanofiberlerin polikristalin doğasına işaret etmişler ve kirliliğe işaret eden karakteristik piklere rastlamamışlardır.



Şekil 2. ZnO naofiberlerinin XRD deseni.

Şekil 3a'da kalsinasyon öncesi verilen SEM görüntüleri incelendiğinde oluşan ZnO nanofiberlerinin lineer, pürüzsüz ve boncuklu yapıda olmadığı ortaya konmuştur. Bu yapı çinko asetat/PVA kompozitlerinin amorf doğasından kaynaklanmaktadır. Das ve ark. (2014) [14] PVA ve çinko asetat öncü solüsyonu ile elektro eğirme yönteminde sentezledikleri nanofiberler için benzer sonuçları rapor etmişlerdir. Ramezanpour ve ark. (2018) [19] yarı kristalli bir polimer olarak PVA'nın moleküler ağırlığının, elektro eğirme ile elde edilen fiber ağın morfolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Pürüzsüz fiberler için moleküler ağırlığın önemini tartıştıkları çalışmada, elektro eğirme için uygun viskozitede öncü solüsyon hazırlanmasında PVA'nın kullanılabileceğini göstermişlerdir. Şekil 3a'da gözlemlendiği gibi nanofiberler rastgele yönelim göstermiş olup, benzer bir eğilim Mauro ve ark. (2016) [6] tarafından gösterilmiştir. Bu yönelim elektro eğirme jetinin kararsızlığından kaynaklanmaktadır.

Şekil 3b'de kalsinasyon sonrası SEM görüntüleri, ZnO nanofiberlerinin gözenekliliğinin ve pürüzlüğünün arttığı görülmektedir. Bu artış tavlama sonrası, PVA'nın uzaklaştırılması ve Zn tuzunun ZnO'ya dönüştürülmesi sonucunda nanofiberlerin yüzeyi pürüzlü hale gelmesi ile açıklanabilmektedir. ZnO parçacıkları fibröz bir yapı oluşturmak için bir araya gelmiş gibi görünmektedir. Benzer fibröz yapılar Gupta ve ark (2015) [4] tarafından da 600°C'de tavlama sonrasında da gözlenmiştir.

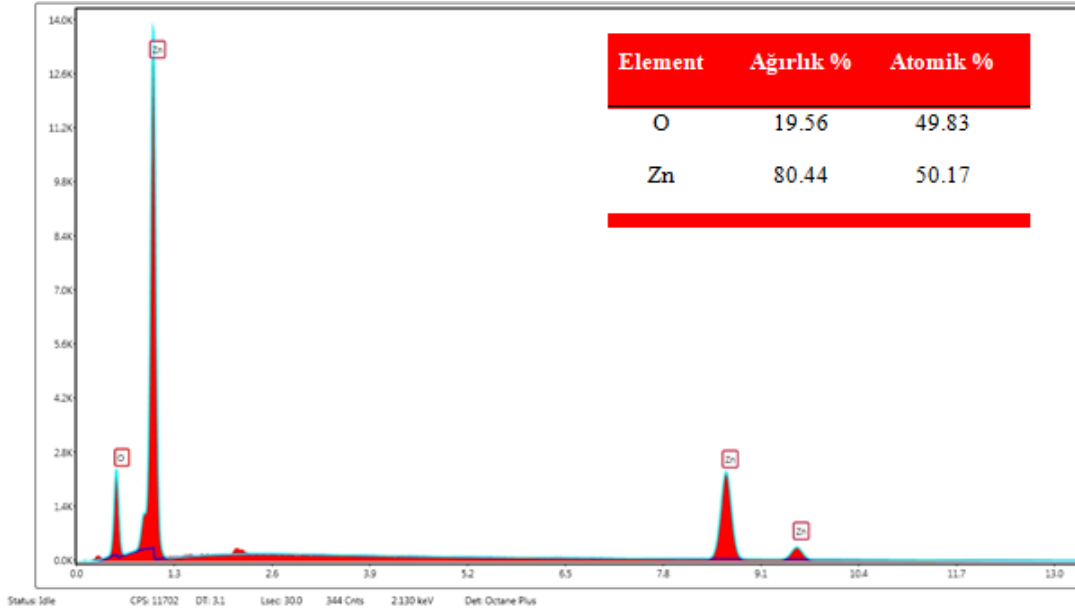


(a)

(b)

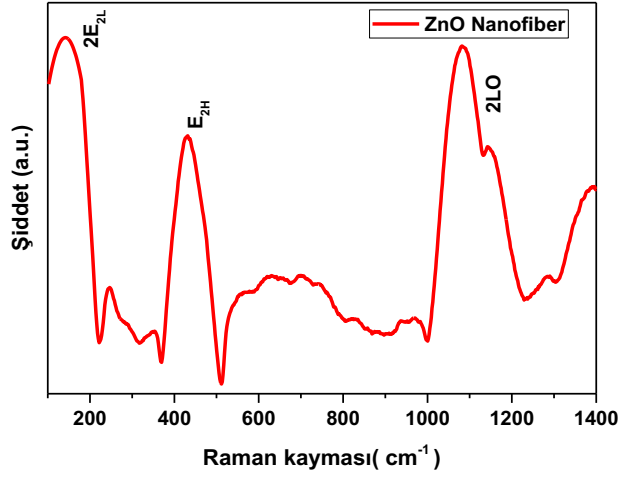
Şekil 3. ZnO nanofiberlerinin SEM görüntüleri (a) Tavlama öncesi, (b) 400°C'de 2 saat tavlama sonrası

Şekil 4'te görülen, EDS spektrumuna göre Zn (%80.44) ve O'nun (%19.56) ağırlık yüzdesi, elektro eğirme ile hazırlanan ZnO nanofiberlerinin Zn ve O elementinden oluştuğunu göstermektedir. Bu spektrum numunede önceden başka hiçbir safsızlığın bulunmadığını gösteren yalnızca çinko ve oksijen için pikleri gösterir ve dolayısıyla ZnO oluşumunu doğrular. Gupta ve ark. (2015) [4] ve Ramezanzpour ve ark. (2018) [19] elektro eğirme yaklaşımı ile PVA kullanılarak sentezledikleri ZnO nanofiber yapılarında SEM/EDS analizlerinde safsızlığa işaret etmişlerdir.



Şekil 4. ZnO nanofiberlerinin EDS spektrumu.

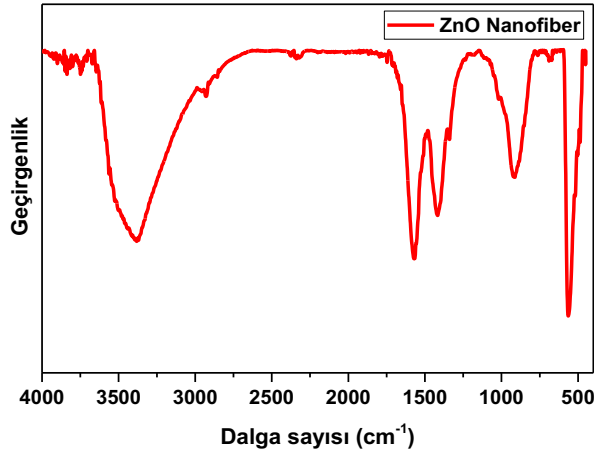
Vürtzit ZnO grubu ($P63mc$) için Brillouin bölgesindeki (Γ) optik fononlar $\Gamma_{opt} = A_1 + E_1 + 2E_2 + 2B_1$ modeli ile verilir. Burada B_1 sessiz mod, E_2 modu ($E_{2(yüksek)}$ ve $E_{2(düşük)}$) Raman aktif ve polar olmayan, A_1 ve E_1 ise hem Raman hem de kızıl ötesi aktif polar modları göstermektedir. $E_{2(yüksek)}$ ve $E_{2(düşük)}$ modları sırasıyla oksijen atomları ve ZnO titreşimleri ile ilişkilidir. A_1 ve E_1 modları kendi içerisinde iki optik bileşene (boyuna optik (LO) ve enine optik (TO)) ayrılmıştır [18, 20]. Şekil 5'te ZnO nanofiberlerinin Raman karakterizasyon sonucu verilmiştir.



Şekil 5. ZnO nanofiberlerinin Raman spektrumu.

141 cm^{-1} 'de görülen Raman piki ikinci derece fonon moduna ($2E_{2L}$) aittir. Gupta ve ark. (2015) [4] elektro eğirme ile elde ettikleri ZnO nanofiberlerinin Raman analizlerinde çalışmamızı destekler nitelikte ikinci derece fonon moduna ait piki göstermişlerdir. 438 cm^{-1} 'de görülen keskin ve belirgin pik polar olmayan optik E_{2H} moduna aittir. Bu sonuçlar üretilen ZnO nanofiberlerinin iyi kristaliniteye ve vürtzit hekzagonal yapıyı teyit etmektedir. Bu özellikler XRD sonuçlarımızla paralellik göstermektedir. Das ve ark. (2014) [14] PVA'lı elektro eğirme ile sentezledikleri ZnO nanofiberlerinin 437 cm^{-1} 'deki Raman pikinin E_{2H} moduna ait olduğunu göstermişlerdir. 1000-1200 cm^{-1} arasında görülen geniş yayımlı pik 2LO moduna aittir. Bu pik II-VI yarıiletkenlerin karakteristik özelliğine işaret etmektedir.

FTIR'da genelde 400-700 cm^{-1} aralığında görülen pikler ZnO'nun gerilmesinden kaynaklanan titreşim bandına aittir. Şekil 6'da verilen FTIR spektrumuna göre ZnO nanofiberleri için bu pik 487 cm^{-1} belirlenmiştir.



Şekil 6. ZnO nanofiberlerinin FTIR spektrumu.

Shankar ve Rayappan (2017)'de [21] elektro eğirme elde ettikleri ZnO nanorodların 470 cm^{-1} spesifik bandın Zn-O bant salınımından ileri geldiğini rapor etmişlerdir. Şekil 6'da 564 cm^{-1} gözlemlediğimiz pikin ZnO bandının gerilme ve bükülmesinden ileri gelmektedir. PVA'lı elektro eğirme çalışmalarında söz konusu pikimizi destekler pikler 545 cm^{-1} ve 588.8 cm^{-1} 'de bulunmuştur [19], [21]. 1417 cm^{-1} 'de FTIR pikimiz C-C gerilmesi ile açıklanmaktadır. Benzer bir gerilme piki Yi ve ark. (2021) [22] tarafından elektro eğirme yöntemi ile sentezledikleri ZnO nanomateryalleri için 1431 cm^{-1} 'de gösterilmiştir. Yaklaşık 1600 cm^{-1} civarında gördüğümüz pik, Ata ve ark. (2019)'nın [16] 1638 cm^{-1}

¹'de rastladığı hidroksil (-OH) gruplarının bükülmeye ait titreşim modu ile açıklanmaktadır. ZnO nanoyapılarının (-OH) gruplarının gerilmesinden kaynaklanan Ata ve ark. (2019)'nın [16] 3387 cm⁻¹'de belirttiği pik, çalışmamızda 3382 cm⁻¹'de ölçülmüştür.

IV. SONUC

PVA ve çinko asetat öncü solüsyonu kullanılarak basit, ucuz ve geniş ölçekli elektro eğirme teknolojisi ve kalsinasyon ile sürdürdüğümüz ZnO nanofiberler sentezlenmiş ve iyi kristal özellik gösteren ZnO nanoyapılarının varlığı XRD, Raman ve FTIR karakterizasyonu ile gösterilmiştir. SEM görselleri incelendiğinde tavlama ile yüzey gözenekliliğinin ve pürüzlülüğünün arttığı belirlenmiştir. Bu sentezlediğimiz yarı iletken ZnO nanofiberlerin yüksek yüzey alanı ve gözenekliliği sayesinde su arıtma, hava temizleme, kendi kendini temizleme, gaz sensörü ve su ayırıştırma yoluyla hidrojen üretimi gibi çok çeşitli uygulamalar için çekicidir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Y. Chang, N. Zhang, M. Zhuang, and X. Lu, "Characterization of electrospun zinc oxide nanofibers," *International Conference on Materials for Renewable Energy and Environment (IEEE)*, 2013, pp. 124-127.
- [2] S. An, B. N. Joshi, M. W. Lee, N. Y. Kim, and S. S. Yoon, "Electrospun graphene-ZnO nanofiber mats for photocatalysis applications," *Applied surface science*, vol. 294, pp. 24-28, 2014.
- [3] S. Wu, J. Li, S. C. Lo, Q. Tai, and F. Yan, "Enhanced performance of hybrid solar cells based on ordered electrospun ZnO nanofibers modified with CdS on the surface," *Organic Electronics*, vol. 13, no. 9, pp. 1569-1575, 2012.
- [4] A. Gupta, D. V. Nandanwar, and S. R. Dhakate, "Electrospun self-assembled ZnO nanofibers structures for photocatalytic activity in natural solar radiations to degrade acid fuchsin dye," *Advanced Material Letters*, vol. 6, no. 8, pp. 706-710, 2015.
- [5] P. T. Patil, R. S. Anwane, and S. B. Kondawar, "Development of electrospun polyaniline/ZnO composite nanofibers for LPG sensing," *Procedia Materials Science*, vol. 10, pp. 195-204, 2015.
- [6] A. Di Mauro, M. Zimbone, M. E. Fragalà, and G. Impellizzeri, "Synthesis of ZnO nanofibers by the electrospinning process," *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 42, pp. 98-101, 2016.
- [7] E. Ghafari, Y. Feng, Y. Liu, I. Ferguson, and N. Lu, "Investigating process-structure relations of ZnO nanofiber via electrospinning method," *Composites Part B: Engineering*, vol. 116, pp. 40-45 2017.
- [8] H. Wu, and W. Pan, "Preparation of zinc oxide nanofibers by electrospinning," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 89, no. 2, pp. 699-701, 2006.
- [9] T. Blachowicz, and A. Ehrmann, "Recent developments in electrospun ZnO nanofibers: A short review," *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, vol. 15, pp. 1-6, 2020.
- [10] J. Mu, C. Shao, Z. Guo, Z. Zhang, M. Zhang, P. Zhang, B. Chen, and Y. Liu, "High photocatalytic activity of ZnO-carbon nanofiber heteroarchitectures," *ACS applied materials & interfaces*, vol. 3, no. 2, pp. 590-596, 2011.

- [11] M. Chen, P. Liu, J. H. He, H. L. Wang, H. Zhang, X. Wang, and R. Chen, "Nanofiber template-induced preparation of ZnO nanocrystal and its application in photocatalysis," *Scientific reports*, vol. 11, no. 1, pp. 1-8, 2021.
- [12] F. Majid, M. Bashir, I. Bibi, A. Raza, S. Ezzine, N. Alwadai, and M. Iqbal, "ZnO nanofibers fabrication by hydrothermal route and effect of reaction time on dielectric, structural and optical properties," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 18, pp. 4019-4029, 2022.
- [13] N. Z. N. Azman, W. F. I. W. Mohamed, and R. M. Ramli, "Synthesis and characterization of electrospun n-ZnO/n-Bi₂O₃/epoxy-PVA nanofiber mat for low X-ray energy shielding application," *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 195, 110102, 2022.
- [14] A. K. Das, M. Kar, and A. Srinivasan, "Room temperature ferromagnetism in undoped ZnO nanofibers prepared by electrospinning," *Physica B: Condensed Matter*, vol. 448, pp. 112-114, 2014.
- [15] H. A. Khorami, M. Keyanpour-Rad, and M. R. Vaezi, "Synthesis of SnO₂/ZnO composite nanofibers by electrospinning method and study of its ethanol sensing properties," *Applied surface science*, vol. 257, no. 18, pp. 7988-7992, 2011.
- [16] S. Ata, A. Tabassum, I. Bibi, S. Ghafoor, A. Ahad, M. A. Bhatti, A. Islam, H. Rizvi, and M. Iqbal, "Synthesis and characterization of ZnO nanorods as an adsorbent for Cr (VI) sequestration," *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, vol. 233, no. 7, pp. 995-1017, 2019.
- [17] J. A. Park, J. Moon, S. J. Lee, S. C. Lim, and T. Zyung, "Fabrication and characterization of ZnO nanofibers by electrospinning," *Current Applied Physics*, vol. 9, no. 3, pp. S210-S212, 2009.
- [18] M. Yalcin, "Microwave-assisted synthesis of ZnO nanoflakes: structural, optical and dielectric characterization," *Materials Research Express*, vol. 7, no. 5, 055019, 2020.
- [19] T. Ramezanpour, H. M. Chenari, and H. Kangarlou, "Fabrication of electrospun Mn_{1-x}Zn_xMoO₄ (x= 2.5%, 5%, and 10% Zn) nanofibers: Microstructure parameters, surface morphology and Kramers-Kronig (KK) analysis," *Ceramics International*, vol. 44, no. 6, pp. 6791-6800, 2018.
- [20] D. Gultekin, and H. Akbulut, "Raman studies of ZnO products synthesized by solution based methods," *Acta Physica Polonica A*, vol. 129, pp. 803-805, 2016.
- [21] P. Shankar, and J. B. B. Rayappan, "Room temperature ethanol sensing properties of ZnO nanorods prepared using an electrospinning technique," *Journal of Materials Chemistry C*, vol. 5, no. 41, pp. 10869-10880, 2017.
- [22] J. Yi, Y. Song, Z. Cao, C. Li, and C. Xiong, "Gram-scale Y-doped ZnO and PVDF electrospun film for piezoelectric nanogenerators," *Composites Science and Technology*, vol. 215, 109011, 2021.