



**DÜZCE
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİM ve TEKNOLOJİ
DERGİSİ**

Düzce University
Journal of
Science & Technology

e-ISSN: 2148-2446

Cilt
Volume **9**

Sayı
Issue **4**

Temmuz/ July
2021

Düzce Üniversitesi
BİLİM ve TEKNOLOJİ DERGİSİ
DÜBİTED

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



Düzce University
JOURNAL of SCIENCE & TECHNOLOGY
DUBITED

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

Sahibi

Owner

Uğur GÜVENÇ

(D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü adına)

(On behalf of D. U. Institute of Science and Technology)

Editör

Editor

Uğur GÜVENÇ

Ahmet DEMİR

Pınar GÜLTEKİN

Alan Editörleri

Assistant Editors

Resul KARA

Müge KANUNİ ER

Turgay BİRTÜRK

Yusuf ALTUN

Uğur GÜVENÇ

Şerife Gülsün KIRANKAYA

Ümit ERGUN

Selman KULAÇ

Tarık GEDİK

Suat SARIDEMİR

Nuri ŞEN

Mecit AKSU

İrem DÜZDAR ARGUN

G. Alev ÖZKÖK

Ali Etem GÜREL

Ali ÇALHAN

Engin EROĞLU

Sercan SERİN

Fatih TAŞPINAR

Fatih YILMAZ

Pınar GÜLTEKİN

Arif ÖZKAN

Koray ŞARKAYA

Ahmet DEMİR

Mert YILDIRIM

Mehmet ŞİMŞEK

Yardımcı Editörler
Assistant Editors

Murat GÜREL
Keziban GEGİN
Ufuk ÇİFCİ
Vesile YALÇIN
Gamze ÇOBAN
Özlem ÖZKAN ÖNÜR

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü
Publishing Manager

Uğur GÜVENÇ

Yayın Kurulu
Editorial Board

Ercan ÖZGAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ernaz ALTUNDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Halil İbrahim UĞRAŞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Oğuz KÖYSAL, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Osman UZUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Başaran DÜLGER, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Nuri ŞEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Zeki SARIKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Pakize ERDOĞMUŞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Ali ÖZTÜRK, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Ulusal Danışma Kurulu
National Advisory Board

Abdullah SÖNMEZ, Gazi Üniversitesi, Türkiye
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 Yüksek Teknoloji Enstitüsü,
Türkiye
İbrahim YÜCEDAĞ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İlyas UYGUR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
İsmail TORÖZ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
İsmet YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Mehmet BUDAKÇI, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Memiş IŞIK, Karabük Üniversitesi, Türkiye
Meral KEKEÇOĞLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Muharrem GÖKÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Murat KALE, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Murat SİPAHİOĞLU, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Türkiye
Mustafa OKUTAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye
Raşit TURAN, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Türkiye
Salih TOSUN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Selçuk ÖZMEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Seyhan FIRAT, Gazi Üniversitesi, Türkiye
Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Şerife Gülsün KIRANKAYA, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Uğur GÜVENÇ, Düzce Üniversitesi, Türkiye
Yasin KIŞIOĞLU, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye
Yusuf AVCI, Bahçeşehir Üniversitesi, Türkiye
Zeki DEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Uluslararası Danışma Kurulu
International Advisory Board
USA

Abdelilah SLAOUI, Universite de Strasbourg, France
Clay S. GLOSTER, North Carolina A&T University,
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

9

Sayı
Issue

4

Temmuz/July
2021

Ürün Bilgisi

Product Information

Yayıncı

Publisher

Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Düzce University Institute of Science and Technology

Sahibi

Owner

Uğur GÜVENÇ

(D. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü adına)

(On behalf of D. U. Institute of Science and Technology)

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Publishing Manager

Uğur GÜVENÇ

Web Sayfası

Web Page

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

Basım Tarihi

Date of Publication

Temmuz 2021

July 2021

Yayın Dili

Language

Türkçe / İngilizce

Turkish / English

Yayın Aralığı

Frequency

Yılda dört kez yayınlanır

Published four times in a year

Yayın Türü

Type of Publication

Sürekli yayın

Periodical

e-ISSN Numarası

e-ISSN Number

2148-2446

Yazışma Adresi

Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Rektörlük Binası 2. Kat 81620
Düzce/TÜRKİYE

Telefon: +90 380 542 12 08

Fax: +90 380 542 12 38

E-posta: dubitedyayin@duzce.edu.tr

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

Correspondence Address

*Düzce University Institute of Science
and Technology*

*Rectorship Building 2nd 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.gov.tr/dubited>

İÇİNDEKİLER

Sayfa**Makale****BİYOLOJİ/BİYOKİMYA/MOLEKÜLER BİYOLOJİ VE GENETİK/SU ÜRÜNLERİ****Araştırma Makalesi/ Research Article**

- | | |
|-------------|--|
| 1078 - 1085 | Anatomy and Trichome Micromorphology of Endemic
<i>Ballota pseudodictamnus</i> subsp. <i>lycia</i> (Lamiaceae)
Endemik <i>Ballota pseudodictamnus</i> subsp. <i>lycia</i> (Lamiaceae)
Türünün Anatomisi ve Trikom Mikromorfolojisi
Bahar GURDAL |
| 1174-1185 | Bazı <i>Orchis</i> Taksonlarında Labellum Mikromorfolojisi
Labellum Micromorphology in Some <i>Orchis</i> Taxa
Mehmet AYBEKE |

1483- 1492 *In Vitro* Antioxidant and Enzyme Inhibition Activity of *Hesperis İsatidea* (Boiss.) D.A. German & Al-Shehbaz (Brassicaceae) and its Anatomy
Hesperis İsatidea (Boiss.) D.A. German & Al-Shehbaz (Brassicaceae) Türünün *in vitro* Antioksidan ve Enzim Aktivitesi ve Anatomisi
Gülnur EKŞİ, Gülderen YILMAZ, Nuraniye ERUYGUR, Fatma AYAZ

1507- 1518 Bibliometric Analysis of The Last 40 Years of Chest Journal
Chest Dergisinin Son 40 Yılıın Bibliyometrik Analizi
Pınar YILDIZ GÜLHAN, Mehmet Nurullah KURUTKAN

BİLGİSAYAR / YAZILIM MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

1329- 1341 A Stacking Ensemble Learning Approach for Intrusion Detection System
Saldırı Tespit Sistemi İçin İstifleme Topluluk Öğrenme Yaklaşımı
Murat UÇAR, Emine UÇAR, Mürsel Ozan İNCETAŞ

1358- 1373 Araç Cüzdanı: Motorlu Araçların Teknik Servis ve Bakım Kayıtlarının Blokzinciri Üzerinde Yönetilmesi
Vehicle Wallet: Managing Technical Service and Maintenance Records of Motor Vehicles on Blockchain
Mustafa TANRIVERDİ, Mevlüt UYSAL, Mutlu Tahsin ÜSTÜNDAĞ, Zafer AYAZ

1395- 1407 COVID-19 Prediction from Chest X-Ray Images using Transfer Learning
Transfer Öğrenme Kullanarak Göğüs Röntgeni Görüntülerinden COVID-19 Tahmini
Kaan BIÇAKÇI, Volkan TUNALI

ÇEVRE/JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

Derleme Makale / Review Article

1267-1281 Nanosentezde Yeşil Mühendislik Kavramı ve Çevre Mühendisliğindeki Yeri
Green Engineering in Nanosynthesis and Its Place in Environmental Engineering
Şennur Merve YAKUT, Mustafa KARATAŞ

1294-1309 Doğanşehir-Eskiköy (Malatya) Bölgesindeki Neojen Yaşlı (?)
Volkanik Kayaçların Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik
Özellikleri
Petrographic, Geochemical and Petrological Characteristics of
Neogene(?) Volcanics in the Doğanşehir-Eskiköy (Malatya) Region
Mehmet Ali ERTÜRK, Hatice KARA, Abdullah SAR

ELEKTRİK/ELEKTRONİK / ELEKTRİK ELEKTRONİK/ ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

1101-1112 Güç Sistemlerinde Thevenin Eşdeğer Devresi Kullanılarak Gerilim
Kararlılığı Sınırlarının Gerçek Zamanlı Değerlendirmesi
Real-Time Voltage Stability Limits Assessment Using
Thevenin Equivalent in Power Systems
Enes Talha GÜMÜŞ, Mehmet Ali YALÇIN

1113-1127 Yat Limanlarındaki Güneş Enerji Santralleri Panel Eğim Açısı
Değişiminin Elektrik Üretimi Açısından İncelenmesi
Examination of The Changes of Inclination Angle of the Solar
Power Plants at Yacht Marina Port Areas in Terms of
Electricity Production
Ali Rıza DAL

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

1282-1293 Kablosuz Erişim Şebekeleri İçin İşbirlikçi Oyun Teorisi İle
Şebeke Seçimi
Network Selection with Cooperative Game Theory for
Wireless Access Networks
Mehmet Onur OLGUN, Ulviye SAVAŞ

1563 - 1569 An Optimization Approach for a Fresh Food Supply Chain: An
Application for the Orange Supply Chain Design in Turkey
Bir Taze Gıda Tedarik Zinciri için Bir Optimizasyon
Yaklaşımı: Türkiye’de Portakal Tedarik Zinciri Tasarımı için
Bir Uygulama
Gürkan Güven GÜNER, Durdu Hakan UTKU

Derleme Makale / Review Article

- 1020 - 1040 Re-establishment and Regarding Trust and Transparency, Blockchain's Contribution to the Solution of a Thousand-Year Problem
Güven ve Şeffaflığın Yeniden Tesis Edilmesi ve Gözetilmesi, Blokzincirin Bin Yıllık Bir Sorunun Çözümüne Katkısı
Koray ADIGÜZEL , Nataliia KRASNOKUTSKA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ / MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1041 - 1059 Şantiyede Çalışan İşçilerin Çalışma Koşullarıyla İlgili Algılarının Değerlendirilmesi, Düzce İli Örneği
Evaluation of Perceptions of Workers Working at The Construction Site Regarding Working Conditions, Example of Düzce Province
Hüseyin BAYRAKTAR
- 1310- 1328 Determination of Regional Soil Structure Earthquake Risk Distribution of Buildings by Street Survey Method: The Sample of Bilecik Province
Sokaktan Tarama Yöntemiyle Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımının Belirlenmesi: Bilecik İli Örneği
Ali ATEŞ, Semiha POYRAZ, Ömer ÇOBAN
- 1342- 1357 The Effects of Steel Core Imperfection, Gap Size and Friction Coefficient on the Behavior of All-Steel Buckling Restrained Braces
Çelik Çekirdek Kusurunun, Boşluk Boyutunun ve Sürtünme Katsayısının Tamamı Çelik Burkulması Önlenmiş Çaprazların Davranışına Etkileri
Yasin Onuralp ÖZKILIÇ
- 1374- 1381 Otonom Araçların Teknolojik Gelişim Süreci ve Trafik Seyir Özelliklerinin İncelenmesi
Review of Autonomous Vehicle's Improvement Period and On This Context Traffic Navigation Features
Mustafa KARASHİN, Mehmet Çağrı KIZILTAŞ
- 1408- 1419 Dalgacık Dönüşüm Tekniği ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Eğirdir Gölü Buharlaştırma Tahmini
Evaporation Estimation of Eğirdir Lake Using Wavelet Transform Technique and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
Özlem TERZİ , Tahsin BAYKAL

- 1436- 1446 Farklı Zemin Koşullarında Tasarlanan Kazıklı Radye Temel Sistemlerinin Oturma Tabanlı Optimizasyonu
Settlement Based Optimization of Piled Raft Foundation Systems Designed in Different Soil Conditions
Ömür ÇİMEN, Uğur OSMANOĞLU
- 1570 - 1591 Metal Sektöründe İş Kazaları ve İşçiler Üzerindeki Etkileri: Magnezyum Metal Üretim Tesisi Örnek Çalışması
Occupational Accidents in Metal Industry and Their Effects on Workers: Magnesium Metal Production Plant Case Study
Abdul Vahap KORKMAZ

Derleme Makale / Review Article

- 1159- 1173 Günümüz Teknolojileri Çerçevesinde Çimento Dünyasındaki Gelişmelerin Araştırılması
The Investigation of The Developments in The Cement World on The Frame of Today's Technologies
Nusret BOZKURT, Nursima SAYIN

KİMYA / FİZİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1227-1241 Detonation Parameters of the Pentaerythritol Tetranitrate and Some Structures Descriptors in Different Solvents - Computational Study
Pentaeritritol Tetranitratın Patlama Parametreleri ve Farklı Çözücülerdeki Bazı Yapı Tanımlayıcıları - Hesaplamalı Çalışma
Cihat HİLAL, Müşerref ÖNAL, Mehmet Erman MERT
- 1469- 1482 Colorimetric Determination of Cu²⁺ by Glycine-Histidine Dipeptide Functionalized-Gold Nanoparticles
Glisin-Histidin Dipeptidler ile Fonksiyonelleştirilmiş Altın Nanoparçacıklar ile Cu²⁺ 'nin Kolorimetrik Tayini
Hakan ERDOĞAN
- 1493- 1506 Nikel'in Determination of Quality in Homemade Vinegars by Spectroscopy and Rheology Methods
Ev Yapımı Sirkelerde Kalitenin Spektroskopi ve Reoloji Yöntemleriyle Belirlenmesi
Muhittin ÖZTÜRK

1536- 1546 Bazı K ve Ca Bileşikleri İçin Kütle Zayıflatma Katsayısı, Toplam Elektronik Tesir Kesiti, Toplam Atomik Tesir Kesiti, Etkin Atom Numarası, Etkin Elektron Yoğunluğu ve Kerma Ölçümü
Measurement of Mass Attenuation Coefficient, Total Electronic Cross-section, Total Atomic Cross-section, Effective Atomic Numbers, Effective Electron Densities and Kerma for Some K and Ca Compounds
Saniye TEKEREK

Derleme Makale / Review Article

1519- 1534 Fitokimyasalların Antiviral Etkileri
Antiviral Effects of Phytochemicals
Tuğba DEMİR, Özlem AKPINAR

1547- 1562 Günlük Yaşamda Kimyasal Madde Maruziyeti ve İnsan Sağlığına Etkileri
Chemical Exposure in Everyday Life and Human Health Effects
Arzu ÖZTÜRK

MAKİNE / MEKATRONİK / MALZEME / ENDÜSTRİ / İMALAT MÜHENDİSLİĞİ,

Araştırma Makalesi/ Research Article

1086 - 1100 Düşük Dolum Oranında İkili Karışımlarla Yüklü Üniform Olmayan Atımlı Isı Borusunun Deneysel İncelenmesi
Experimental Investigation of a Non-Uniform Pulsating Heat Pipe Charged by Binary Mixtures at a Low Filling Ratio
Burak MARKAL, Ramazan VAROL

1214-1226 Özel Sektör Çalışanlarında İş Kazası ve Meslek Hastalıklarında Maliyet Analizi: Düzce İli Örneği
Cost Analysis in Work Accidents and Occupational Diseases in Private Sector Employees: The Case of Duzce Province
Harun GÖRGÜN, Tarık GEDİK

1382- 1394 Optimization Packed Bed Column Reactor Parameters for Enzymatic Hydrolyzing of Lactose
Laktozun Enzimatik Hidrolizi için Dolgulu Kolon Reaktör Parametrelerinin Optimizasyonu
Sevim Gürdaş MAZLUM, İsmail Hakkı BOYACI, Mehmet MUTLU

Derleme Makale / Review Article

- 1186-1213 3B Yazıcı Teknolojilerindeki Kullanılan Yöntemler ve Gelişmeler Üzerine Bir Derleme
A Review of Used Methods and Developments in 3D Printer Technologies
İdris KARAGÖZ, Ayşe DANIŞ BEKDEMİR, Özlem TUNA

MATEMATİK / İSTATİSTİK

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 997- 1001 Finite Groups Having Monolithic Characters of Prime Degree
Asal Dereceli Monolitik Karakterlere Sahip Sonlu Gruplar
Temha ERKOÇ, Burcu ÇINARCI
- 1420- 1435 $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ Banach Uzayı Üzerindeki Bazı Yeni Sonuçlar
Some New Results on the Banach Space $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$
Nilay DEĞİRMEN
- 1128- 1141 Yüksek Teknoloji İhracatında Türkiye'nin Yeri ve Belirleyiciler
Determinants of High Technology Exports and Turkey's State
Özlem AKAY

MİMARLIK / PEYZAJ MİMARLIĞI / ŞEHİR VE BÖLGE PLANLAMA

Araştırma Makalesi/ Research Article

- 1002- 1019 Su Parklarının Planlama ve Tasarım Kriterlerinin Saptanması ve Düzce Su Parkı Örneğinde Değerlendirilmesi
Determination Of Planning and Design Criters Of Water Parks And Evaluation in Düzce Water Park Example
Özgür YERLİ, Esmâ AYKURT
- 1060 - 1077 Maden Çayı Metal İçeriğinin Tespiti ve CBS Destekli Değerlendirilmesi
Determination and GIS Supported Assessment of Metal Content of Maden Stream
Talip TURNA, Cansu ÖZTEKİN KARA

- 1142- 1158 Endüstri 4.0'ın Gelişim Sürecinde Unutulan Bileşen: Siber Güvenlik
The Forgotten Component in the Development Process of Industry 4.0: Cyber Security
Serkan GÖNEN, Ercan Nurcan YILMAZ, Seda ŞANOĞLU, Gökçe KARACAYILMAZ, Özge ÖZBİRİNCİ
- 1242-1266 Yürünebilirliğin Nitel ve Nicel Veriler Üzerinden Ölçülmesi; Düzce Örneği
Measuring Walkability by Qualitative and Quantitative Data; Düzce Case
Zeynep MIHÇI, Ayşegül TANRIVERDİ KAYA
- 1447- 1468 Kentteki Konum ve Ulaşımına Bağlı Olarak Stadyumların İklim Değişikliğine Etkisi: Türkiye Örneği
The Effect of the Stadiums on Climate Change Depending on Location and Transportation: The Case of Turkey
Ece BÜLBÜL, Ruşen YAMAÇLI



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Finite Groups Having Monolithic Characters of Prime Degree

 Temha ERKOÇ^{a,*},  Burcu ÇINARCI^b

^a Department of Mathematics, Faculty of Science, İstanbul University, İstanbul, TURKEY

^b Department of Marine Engineering, Faculty of Maritime, Piri Reis University, İstanbul, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: erkoc@istanbul.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.891767

ABSTRACT

Let G be a finite group. An irreducible character χ is called monolithic when the factor group $G/\ker(\chi)$ has unique minimal normal subgroup. In this paper, we prove that for the smallest prime q dividing the order of G if G has a faithful imprimitive monolithic character of degree q , then G becomes a nonabelian q -group or a Frobenius group with cyclic Frobenius complement whose order is q . Under certain conditions, we also classify finite groups in which their nonlinear irreducible characters are monolithic.

Keywords: Finite groups, Monolithic characters, Primitive characters

Asal Dereceli Monolitik Karakterlere Sahip Sonlu Gruplar

ÖZ

G bir sonlu grup olsun. Bir χ indirgenemez karakterine, eğer $G/\ker(\chi)$ bölüm grubunun yalnız bir tane minimal normal alt grubu varsa monolitik karakter denir. Bu çalışmada, G grubunun mertebesini bölen en küçük asal sayı q olmak üzere, G derecesi q olan bir sadık imprimitif monolitik karaktere sahipse ya bir abelyen olmayan q -grubu ya da q mertebeli Frobenius tümleyeni olan bir Frobenius grubu olduğunu ispat ediyoruz. Lineer olmayan tüm indirgenemez karakterleri monolitik olan sonlu grupları da bazı koşullar altında sınıflandırıyoruz.

Anahtar Kelimeler: Sonlu gruplar, Monolitik karakterler, Primitif karakterler

I. INTRODUCTION

It is known that there exists a very strong interplay between the group structure and its characters. In the present paper, we give some results on the relations between the group structure and its monolithic characters. Before mentioning our results, we present a brief introduction to character theory of finite groups for the reader's convenience. Our notations are standard and taken mainly from [4]. During the paper, we are concerned with only finite groups, so we just say the group instead of the finite group. The \mathbb{C} -representation of a group G is a homomorphism $\psi: G \rightarrow GL(n, \mathbb{C})$ for some integer n , where \mathbb{C} denotes complex numbers and $GL(n, \mathbb{C})$ is the general linear group of non-singular $n \times n$ matrices over \mathbb{C} . The \mathbb{C} -character χ of G afforded by the representation ψ is the function from G to \mathbb{C} with $\chi(m) = tr(\psi(m))$ for $m \in G$, where $tr(\psi(m))$ is trace of the matrix $\psi(m)$. We know that every character is a class function, which means that it takes same value on the conjugacy classes of G . $\chi(1)$ is called the degree of χ and we say that χ is a linear character when $\chi(1) = 1$. A character afforded by an irreducible representation of G is said to be irreducible. The notation $Irr(G)$ is general used to denote the set of irreducible characters of G . The fundamental formula

$$|G| = |G: G'| + \sum_{\substack{\chi \in Irr(G) \\ \chi(1) > 1}} \chi(1)^2$$

is valid and the number of linear irreducible characters of G is equal to $|G: G'|$, where G' is the commutator subgroup of G .

Let $\chi \in Irr(G)$. The kernel of χ is given by $\ker(\chi) = \{g \in G \mid \chi(g) = \chi(1)\}$ and if $\ker(\chi) = 1$, we say that χ is a faithful character of G . By Theorem 2.32 of [4], we know that if G has a faithful irreducible character, then $Z(G)$, the center of G , is cyclic, and also if G is a p -group having cyclic center, then G has a faithful irreducible character. By $Z(\chi) = \{g \in G \mid |\chi(g)| = \chi(1)\}$, we mean the center of χ . Also, it is easy to see that $N = \bigcap \{\ker(\chi) \mid \chi \in Irr(G) \text{ and } N \leq \ker(\chi)\}$ and $Irr(G/N) = \{\chi \in Irr(G) \mid N \leq \ker(\chi)\}$ when $N \trianglelefteq G$. On the other hand, the restriction character χ to the subgroup K of G is a character of K , which is denoted by χ_K . Conversely, an irreducible character μ of K determines the character μ^G of G , which is given by Definition 5.1 of [4]. Now, we may present some definitions as follows:

Definition 1.1. Assume that G denotes a group and $\chi \in Irr(G)$. The irreducible character χ is called imprimitive if we have $\lambda^G = \chi$ for some $K < G$ and $\lambda \in Irr(K)$. We note that $\chi(1) = |G: K|\lambda(1)$. If a character χ cannot be induced from a character of a proper subgroup of G , then the character χ is said to be primitive.

Also, if a group G has a faithful primitive character and $A \trianglelefteq G$ is abelian, then $A \leq Z(G)$ by Corollary 6.13 of [4].

Definition 1.2. An irreducible character χ of a group G is said to be monolithic when the factor group $G/\ker(\chi)$ has only one minimal normal subgroup.

Here it is suitable to recall that every irreducible character of a p -group is monolithic. We can easily observe that the irreducible characters having a maximal kernel among the kernels of nonlinear irreducible characters of a group G must be monolithic. For a solvable group G , we also note by Lemma 2 of [2] that $D_m = \bigcap_{i=1}^n \ker(\chi_i) \leq Z(G)$, where χ_i all nonlinear monolithic characters of G and $D_m \cap G' = 1$. Thus, monolithic characters are an important part of $Irr(G)$. Details of the concepts of monolithic characters can be found in Chapter 30 of [1]. We now are ready to present our results:

Theorem 1. If a group G has a faithful imprimitive monolithic character of degree q , where q is the smallest prime dividing $|G|$, then the group G is solvable and the following hold:

- (i) G is a nonabelian q -group having cyclic center and there is an abelian subgroup T of G with $|G:T| = q$, or
(ii) $G = N \rtimes Q$ is a Frobenius group, where Q is a cyclic Frobenius complement of order q and N is the Frobenius kernel, which is an abelian r -group for some prime r .

Theorem 2. Let G be a group in which its every nonlinear irreducible characters are monolithic. Assume also that $G/F(G)$ is cyclic. For a prime q not dividing $|G/F(G)|$, G has a primitive faithful character of degree q if and only if the following situation obtains:

$G = Q \rtimes C_n$, where the group $Q = F(G)$ is an extraspecial q -group with $|F(G)| = q^3$, $Z(G) \neq 1$ and the action of the cyclic group C_n on the factor group $F(G)/Z(G)$ is irreducible and faithful. Also, $n = |G/F(G)|$ divides $q + 1$. Moreover, the exponent of $F(G)$ is q when $q \neq 2$, otherwise, $F(G) \cong \Omega_8$ and so $G \cong SL(2, 3)$.

II. THE PROOF OF MAIN RESULTS

We remark that if a solvable group G has a monolithic faithful character, then there exists unique minimal normal subgroup M in G which becomes an elementary abelian r -group for some prime r . In consequence of this, the Fitting subgroup denoted by $F(G)$ also becomes a r -group. Furthermore, we know that $F(G) > Z(G)$ when G is a nonabelian group.

Proof of Theorem 1. Assume that θ is a faithful, imprimitive and monolithic character of G with $\theta(1) = q$. By the reason that θ is imprimitive, there is $T < G$ and $\lambda \in Irr(T)$ with $\lambda^G = \theta$. Therefore, $|G:T| = q$ and $\lambda(1) = 1$ since $|G:T|\lambda(1) = \theta(1) = q$. Thus, we obtain $T \trianglelefteq G$ from Corollary 4.5 of [5] since $|G:T| = q$ and q is the smallest prime which divides $|G|$. On the other side, we can obtain by Frobenius Reciprocity (see Lemma 5.2 of [4]) that λ is an irreducible constituent of the restriction character θ_T . By Clifford's Theorem 6.2 of [4], we have that the character θ_T can be written as the sum of some linear characters of T . Thus, we get that $T' \leq \ker(\theta_T) = \ker(\theta) \cap T = 1$ since θ is faithful. This implies that $T \trianglelefteq G$ is abelian, hence we get that $F(G) \geq T$. Since both G/T and T are solvable, then G is a solvable from Corollary 8.4 of [5]. By Ito's Theorem 6.15 of [4], we conclude that $\varphi(1) = q$ for every $\varphi \in Irr(G)$ satisfying $\varphi(1) \neq 1$. Suppose that $T < F(G)$. Because the reason that $F(G) = G$ has only one minimal normal subgroup, then G becomes a q -group. Now let $T = F(G)$. Because the fact that the minimal normal subgroup of G is unique, we conclude that $F(G)$ is a r -group, where r is a prime such that $q \neq r$. Resulting from $|G/F(G)| = q$, we obtain the semiproduct group $G = F(G) \rtimes C_q$, where C_q is the Hall q -subgroup of G . It is easily seen that $Z(G)G' \leq F(G)$, which leads to fact that $Z(G) \cap G' = 1$ by Corollary 9.16 of [5]. Since $1 \neq G'$ and the group G has the unique minimal normal subgroup, we get the result $Z(G) = 1$. Thus, for all $1 \neq x \in F(G)$, the centralizer $C_G(x)$ of x is equal to $F(G)$, which leads to fact that G is a Frobenius group. The proof is complete.

Remark 2.1. We know that every nilpotent group is an M -group from Corollary 6.14 of [4]. Thus, irreducible characters of p -groups must be monomial and monolithic. Now we can say that for the group G as in the case (i) of Theorem 1, the set $Irr(G)$ contains a faithful imprimitive monolithic character of degree q because $Z(G)$ is cyclic and G has an abelian normal subgroup of index q . But for the group G as in the case (ii) of Theorem 1, we cannot say whether G has a monolithic faithful character or not. Because the Frobenius group $E(5^2) \rtimes C_3$ has a faithful monolithic character but a Frobenius group $E(7^2) \rtimes C_3$ does not, where the notation $E(p^n)$ is denoted to mean an elementary abelian p -group whose order is p^n . However, by the following corollary, we gives a complete classification when $q = 2$.

Corollary 2.2. A group G has a faithful imprimitive monolithic character of degree 2 if and only if G is a 2-group as in Theorem A or G is a dihedral group with $|G| = 2r^a$, where a is a positive integer and r is a prime not equal to 2.

Proof. By considering the proof of above theorem, we can say that G has a normal and abelian subgroup K whose index in G is equal to 2. It is obviously seen that G is a 2-group as in (i) of Theorem A when $K < F(G)$. When we consider the case $K = F(G)$, then we get a Frobenius group $G = K \rtimes C_2$, in which C_2 is a Hall 2-subgroup of G . Since $F(G)$ is an abelian r -group for some prime $r \neq 2$, then it can be obtained by Theorem 7.12 of [5] that there is a nontrivial and cyclic subgroup U of $F(G)$ satisfying the property that $F(G) = U \times V$ for some $V \leq F(G)$. Suppose that $V > 1$. Since $V \trianglelefteq F(G)$, we have $F(G) \leq N_G(V)$, where $N_G(V)$ is the normalizer of V in G . Let $1 \neq \sigma \in C_2$. Then for all $1 \neq x \in V$ we get $x^\sigma \neq x$ because $Z(G) = 1$. This leads to fact that for all $x \in V$, we have $x^\sigma = x^{-1}$. Then we conclude $N_G(V) = G$, which means that $V \trianglelefteq G$. Similarly, it can be obtained that $U \trianglelefteq G$, which leads to contradiction by the reason that G has only one minimal normal subgroup and $U \cap V = 1$. Therefore, we have $V = 1$. This shows us that $F(G)$ must be cyclic, as the desired result. Conversely, let G be a dihedral group as in the theorem, which leads to fact that G is an M -group. Also, the minimal normal subgroup of G needs to be unique because of the fact that the cyclic group $F(G)$ contains every minimal normal subgroup of G . Therefore, the set $Irr(G)$ contains a faithful monomial and monolithic character of degree 2, and so we are done.

Before the proof of Theorem 2, we want to recall that for an extraspecial r -group R , we can view $R/Z(R)$ as a symplectic vector space over the prime field $GF(r)$, where r is a prime. This fact has a substantial role to prove the following main theorem.

Proof of Theorem 2. It is obvious that G is a solvable group because the factor group $G/F(G)$ is cyclic and $F(G)$ is nilpotent. Now, let θ be a primitive faithful character of G with $\theta(1) = q$ and $q \nmid |G/F(G)|$. Then $Z(G)$ becomes a cyclic group. By the reason that the group G is nonabelian, we get that $F(G)$ is a nonabelian group from Corollary 6.13 of [4]. Since θ is faithful and monolithic, then G has a unique minimal normal subgroup N , where N is cyclic of order r which is prime. Therefore, $F(G)$ is a r -group. By the reason that $F(G)$ is not abelian and θ is faithful, we have $\theta_{F(G)} \in Irr(F(G))$ by Clifford's Theorem. Thus, $r = q$ because of the fact that $\theta(1) = q$. Also, it follows from Corollary 16.3(d) of [6] that $|F(G)/Z(G)| = q^2$. Since $q \nmid |G/F(G)|$, it is obviously seen that $F(G)$ becomes the Sylow subgroup of G , and hence $G = F(G) \rtimes H$, where H is a Hall q' -subgroup of G . Now, assume that $N < Z(G)$. By Corollary 1.4(i) of [6], there is $S \leq F(G)$ satisfying the property that $Z(G)S = F(G)$ and $S \cap Z(G) = N$. By Theorem 1.9 of [6] we see that $S \trianglelefteq G$. Furthermore, we have from Corollary 1.10 (ii) of [6] that S is an extraspecial q -group whose exponent is q or 4 and $|S| = q^3$. Since $S \cap Z(G) = N$, it is obtain the direct product group $F(G)/N = S/N \times Z(G)/N$, which becomes an abelian q -group. By the considering that $(|G/N : F(G)/N|, |Z(G)/N|) = 1$ and that the factor group $F(G)/N$ splits over the abelian group $Z(G)/N$, we get by Gaschütz's Lemma that G/N also splits over $Z(G)/N$, that is, we get the direct product group $G/N = SH/N \times Z(G)/N$. It follows from Corollary 16.3 of [6] that $S/N \cong F(G)/Z(G)$ becomes a faithful and irreducible $G/F(G)$ -module. Then the group S/N becomes the unique minimal normal subgroup of the semiproduct group $SH/N = S/N \rtimes HN/N$. This leads to fact that $Irr(SH/N)$ contains a nonlinear and faithful character α . Also, we observe that $Z(SH/N)$ is trivial. Furthermore, $Irr(Z(G)/N)$ contains a faithful character β because the factor group $Z(G)/N$ is cyclic. By Lemma 2.27(f) of [4], $(|Z(\alpha)/N|, |Z(\beta)/N|) = 1$, and so we obtain that $\alpha \times \beta$ is a faithful and nonlinear irreducible character of the factor group G/N . Since from our assumption all nonlinear irreducible characters of G are monolithic, then $\alpha \times \beta$ is a faithful monolithic character of the factor group G/N . This gives a contradiction because the group G/N does not have a unique minimal normal subgroup. Thus, we get the conclusion $N = Z(G)$. Hence $F(G) = S$ is an extraspecial q -group whose order equals q^3 and of exponent q or 4. By Satz II. 9.23 of [3], we know that the order of the factor group $G/F(G)$ divides $q + 1$ since $F(G)/Z(G)$ is a symplectic vector space of order q^2 . We observe that if $q = 2$, then $G \cong SL(2, 3)$ and if $q \neq 2$, the exponent of the group $F(G)$ is q . Conversely, let $G = F(G) \rtimes C_n$ be a group as in the theorem. It is seen easily that $Z(G)$ is the unique minimal

normal subgroup of G and $Z(G) = Z(F(G))$. If the group $F(G)$ is isomorphic to \square_s , then $G \cong SL(2, 3)$. It is well-known that all irreducible characters of $SL(2, 3)$ are monolithic. Also, $SL(2, 3)$ has 3 faithful primitive characters whose degree is 2. From now on, it can be assumed that $F(G)$ is an extraspecial q -group of exponent $q \neq 2$ and $|F(G)| = q^3$. We can consider that all nonlinear irreducible characters of $F(G)$ are monolithic because $Z(G)$ is the unique and also minimal normal subgroup and observing the action of C_n on the factor group $F(G)/Z(G)$ is irreducible and faithful. Therefore, it is seen that the set $Irr(F(G))$ has exactly $q-1$ faithful irreducible characters of degree q , which are all nonlinear irreducible characters of $F(G)$. Let $\varphi \in Irr(F(G))$ with $\varphi(1) \neq 1$. We know from Corollary 11.22 of [4] that φ is extendible to G because $G/F(G)$ is cyclic and φ is invariant in G . Now let $\theta \in Irr(G)$ and $\theta_{F(G)} = \varphi$. Then θ becomes a primitive and faithful character of G since the group G does not have any subgroups of index q .

Finally, we give examples of groups in Theorem 2. For instance, the groups $He_3 \rtimes C_4$, and $He_5 \rtimes C_3$ are the examples satisfying Theorem 2, where He_p is the Heisenberg group of order p^3 and the action of C_n on the group $He_p/Z(He_p)$ is irreducible and faithful and also, $Z(He_p \rtimes C_n) = Z(He_p)$.

III. CONCLUSION

The purpose of this study is to point out the relation between the structure of finite groups and the set of their monolithic characters. To do this, we started by giving some fundamental definitions and theorems in the character theory of finite groups. Then, we have presented main theorems of this article, by which a classification of finite groups under some conditions related to their monolithic characters is obtained.

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors of this paper would like to thank the Technological and Scientific Research Council of Turkey for supporting their research. (The grant number of the support is 119F295.)

IV. REFERENCES

- [1] Y.G. Berkovich and E.M. Zhmud, *Characters of Finite Groups Part 2*, American Mathematical Society, 1999.
- [2] Y.G. Berkovich, "On Isaacs' three character degrees theorem", *Proc. Am. Math. Soc.* vol. 125, no. 3, pp. 669-677, 1997.
- [3] B. Huppert, *Endliche Gruppen I*, Springer, Berlin, 1967.
- [4] I.M. Isaacs, *Character Theory of Finite Groups*, Academic Press, New York, 1976.
- [5] I.M. Isaacs, *Algebra: A Graduate Course*, Brooks/Cole, Pacific Grove, CA, 1994.
- [6] O. Manz and T.R. Wolf, *Representations of Solvable Groups*, London Mathematical Society Lecture Note Series, vol. 185, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Su Parklarının Planlama ve Tasarım Kriterlerinin Saptanması ve Düzce Su Parkı Örneğinde Değerlendirilmesi

 Özgür YERLİ ^{a,*},  Esmâ AYKURT ^b

^a Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ozguryerli@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.853448

Öz

Su parkları, insan ihtiyaçları ve fonksiyonları düşünülerek, her yaş grubundan insanın bir arada eğlenerek zaman geçirdiği, çeşitli su aktivitelerini içeren eğlence mekanlarıdır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında ortaya çıkan su parkları, farklı yaş gruplarına hitap edebilen, suyun farklı özelliklerinin kullanıldığı çeşitli etkinliklerle boş zaman değerlendirme için cazip bir merkez haline gelmiştir. Bu çalışmada, su kavramı, su parklarında suyun önemi, su parkı kavramı ve genel özellikleri, standart bir su parkının nitel ve nicel açıdan incelenmesiyle optimum bir su parkı için olması gereken temel planlama ve tasarım kriterleri belirlenmiş ve bu kriterler baz alınarak bir gözlem formu oluşturulmuştur. Düzce Su Parkı örneği, gözlem formu kapsamında incelenmiş ve eksikleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak Düzce Su Parkı'nda 7 adet kriterin optimum şartlara uygunluk sağladığı gözlenirken, 13 adet kriterin uygunluk sağlamadığı tespit edilmiştir. Uygunluk sağlamayan kriterler için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Su Parkı, tasarım, planlama, Düzce

Determination of Planning and Design Criteris of Water Parks and Evaluation in Düzce Water Park Example

ABSTRACT

Water parks are places of entertainment consisting of a variety of water activities, in which people of different ages enjoy spending time together, taking into account the needs and functions of humans. The water parks which came into being in the second half of the 20th century have become an attractive leisure center with various activities that can appeal to different age groups and use different characteristics of the water. Within this study, the water concept, the importance of water in water parks, the water park concept and its general characteristics, the basic planning and design criteria required for an optimal water park were determined by examining a standard water park in qualitative and quantitative terms and an observation form was created based on these criteria. The sample from the Düzce water park was reviewed as part of the observation form and gaps were identified. Consequently, it has been observed that 7 criteria met the optimal conditions in the Düzce Water Park, while 13 criteria did not. We have made suggestions for non-compliant criteria.

Keywords: Waterpark, design, planning, Düzce

I. GİRİŞ

Su barındırdığı özelliklerle eğlence parklarının bu amaçlarına ulaşmasında önemli bir araçtır. İlk eğlence parklarından itibaren günümüze dek su daima eğlence parklarında farklı biçimlerde yer bulmuştur. Su, doğa parklarında veya meydanlarda olduğu gibi, eğlence parklarında da yönlendirici ve odak noktasını belirleyici bir unsur olarak yer alır [1]. 20. yüzyıl başlarında bahçeler natüralistik özellik göstermekle birlikte, yapay kayalıklardan dökülen su oyunları önem kazanmıştır. Türk bahçelerinde su sürekli olarak yer alan bir tasarım elemanı olmuştur. Ancak hareketli su genellikle durgun suya tercih edilmiştir. Önceleri genellikle dört köşe olan havuzlar, sonraları yuvarlak formlu ve çok katlı olarak planlanmıştır [2].

Thales, suyu temel yaşam kaynağı olarak ele almıştır. Mısır'a seyahat ettiğinde Nil Nehri'nin taşmasının araziye ne denli verimli hale getirdiğini görmüştür [3]. Bu sorularla günümüz su parklarının da temelleri atılmış oldu. George Millay SeaWorld yılları boyunca su parkı konsepti için eğlence birimleri toplamaya başladı. Su parkı için keşfettiği su odaklı elemanlar aslında farklı yerlerde, yalın halde kullanılmaktaydılar. George Millay 1977 yılında bu eğlence birimlerini bir araya getirerek resmi olarak kabul edilen ilk su parkı Wet'n Wild'ı Orlando'da kurmuş oldu [4].

Yapılan araştırma sonuçlarından elde edilen bilgilere göre Türkiye'de kurulmuş en eski su parkı 1992 yılında İstanbul Maltepe Sahil Yolu'nda yer alan Wonderland'dır. İşletmesi Sporting Eğlence Kompleksi ve Turizm Ltd. Şti.'ne ait olan tesis gerçek anlamda bir su parkı kavramını her ne kadar karşılamasa da bu yönde atılmış ilk adım olarak göze çarpmaktadır [5]. Ülkemizde de özellikle 1980'li yıllarda değişen ekonomik yapı eğlence sektörünü olumlu etkilemiş bunun sonucu olarak da Türkiye'de de farklı eğlence tipleri ve mekanları oluşmaya başlamıştır [6].

Su parkı; içerdiği suya bağlı çok çeşitli aktivitelerle her yaşta insan grubuna hizmet eden, mekân nitelikleri ve program elemanları bakımından birbirlerinden çok değişik ölçeklerde tasarlanabilen suya dayalı aktif rekreasyonel alanlardır [7]. Geleneksel su parklarından türemişlerdir ancak daha gelişmiş olup kendi cazibeleri ile turistleri çekmektedirler [8].

Su parklarını ve su oyun sistemlerini oluşturan plancuların hayal güçlerini kullanmaları olaya çeşitlilik ve yenilik katarak, çeşitli modifikasyonlardaki su oyun sistemlerinin geliştirilmesini sağlar [9].

A. SU PARKININ PLANLAMA ÖLÇEĞİ

Su parklarının planlanmasında önemli olan unsurlar, yer seçimi, ihtiyaç-mekân ilişkisi ve ana tasarım kriterleridir. Su Parklarında planlama kriterleri, eğlence parklarının yer seçimi kriterlerinin belirlenmesi, projelendirilmesi ve uygulanması safhalarında veri sağlamak ve sağlanan verilerin analiz edilerek nihai karara ulaşılmasında hem bir altlık sağlamakta hem de projelendirme aşamalarının birçoğuna direkt etki ederek projenin gelişimi için bir güç sağlamaktadır [10].

Su parkının planlama süreci program, mali ve fiziki planlamanın entegrasyonu, koordinasyonu ve organizasyonunu gerektirir. Bu tarz bir planlama doğası gereği döngüsel ve mimari, strateji ve master planlama uzmanlarının faaliyetlerini doğru sıralamada gerçekleşmesini sağlamak için prosedürler ve çizelgeler geliştirilmesini gerektirir [11].

Yeni bir su parkı planlanırken detaylı bir fizibilite çalışması yapılması, su parkının yer seçimi ve tasarım kararları için son derece önemlidir. Fizibilite çalışması genellikle su parkı ve otel projelerinin performanslarını analiz etmek konusunda uzmanlaşmış, bağımsız danışman ekipler tarafından gerçekleştirilir [1]. Su parkları özellikle sıcak iklim kuşağında yer alan ülkelerde öne çıkan eğlence mekânlarından biridir. Bütün yıl kullanılabilir şekilde tasarlanabildiği gibi sadece yaz sezonunda kullanılacak şekilde de tasarlanabilir [12].

Eğlence parklarının ilk örnekleri, kullanıcıların park içinde rahat dolaşabilmeleri ve eğlence birimlerinin kolay kurulumu için mümkün olan en düz arazilerde konumlanmıştır. Günümüzde de çoğu eğlence parkı az engebeli alanlarda kurulmakta olsa da genişleme projelerinde park sınırlarının zorunlu bırakılması veya düz arazinin yapım için maliyetli olması nedeniyle park ve eğlence birimi tasarımcıları “cadde seviyesi” üzerinde ya da altında ve daha zorlayıcı topoğrafyalarda eğlence birimleri tasarlamaya başlamıştır [13]. Ayrıca, topoğrafik yapı eğlence parklarının eğim ve bakı durumunu, dolayısıyla görsel değerlerini, alana ulaşılabilirlik ve giriş özelliklerini etkileyeceğinden planlama aşamasında önemlidir [6].

Su parkının getiri kapasitesinin ve finansal projeksiyonunun yapılabilmesi amacıyla çalışan giderleri, işletme maliyetleri gibi rutin giderler ve öngörülen net kazanç hesaplanır. Kazancın öngörülebilmesi için varsa mevcut su parklarıyla işletme geçmişleri karşılaştırılır. Ülkedeki ve dünyadaki sektör trendleri analiz edilir. Böylelikle belirli bir süreç için net proje getirisi hakkında fikir sahibi olunabilir [14].

B. SU PARKININ TASARIM ÖLÇEĞİ

Küçük ölçekte planlanan, 30-60 dekarlık alanlar üzerinde tasarlanmış bir su parkında orta büyüklükte su kaydırakları, havuzlar, çocuk oyun havuzu, restoran, kafe, vb. gibi benzer ünitelerle geniş bir yeşil alan düzenlemesi söz konusudur. Bu su parklarında çeşitli su sporları yarışma gösterilerinin yapılması mümkündür [9]. Su parklarının daha büyük ölçekte planlanması multipark olarak isimlendirilen bir tasarım ortaya koyar. Multi-su parkları çok amaçlı oyun havuzları, bot havuzları, yüzme havuzları her türlü kaydıraç sistemleri, nehir sistemleri ile yiyecek ne içecek ünitelerine sahip olarak planlanırlar. Daha büyük ölçekte planlanan multiparklar geniş bir yaş grubuna hizmet etmektedirler Çocuklar, anne-babalar ve yaşlılar için birçok dinlenme ve eğlenme olanakları sağlar. 50-100 dekarlık alanlar üzerinde ve çeşitli topoğrafik değişim ve formlar içeren yapıda tasarlanırlar [9].

İnsanların değişen eğlence anlayışlarına cevap verecek şekilde sürekli yenilenen su parkları, su, bitki ve insan arasında dengeli bir köprü kurularak oluşturulmaya çalışan mekanlarla tanımlanmaktadır. Bu dengenin kurulabilmesi ve fonksiyonel bir park oluşturulması açısından yapılan çalışma önemli bir bakış açısı oluşturmaktadır. Yıllar içerisinde su parklarındaki değişimi gereksinimleri ve planlama standartlarını belirlemede dünya çapında ve yerel ölçekte değerlendirmeler yapılmıştır. Su parklarının kullanıcıları açısından her yaş grubuna hitap etmesi tasarım materyallerinin de farklılıklar göstermesine neden olmaktadır. Belirli yaş grupları için hazırlanmış materyallerin bulunduğu parklar, suyun değişik formlarda, şekillerde, dokularda, seslerde ve renklerde planlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Çalışmada, başarılı su parklarının ortaya konabilmesi amacıyla dünyada kabul görmüş, mevcut su parklarının nitel ve nicel açıdan incelenmesiyle başarılı bir su parkı için olması gereken temel planlama ve tasarım kriterlerinin belirlenmesidir. Su parkı alanları temel gözlem noktaları olmasına rağmen konunun daha geniş ve bilimsel olabilmesi açısından Düzce ilinde bulunan Düzce Su Parkı örnek alan olarak belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

Düzce İli 400,37 kuzey enlemleri ile 300,49 doğu boylamları arasında yer alır. 2593 km² yüz ölçümüne sahip olan il Türkiye yüz ölçümünün (783.577 km²) binde 33 ‘ü kadar alan kaplamaktadır. Doğusunda Zonguldak ve Bolu batısında Sakarya illeri Kuzeyinde Karadeniz ile sınırdır. İl sınırları kuzey batıda Sakarya ve Melen Çayı Batı ve Güneyde Keremali, Elmalık, Güney Bolu, Sünnice dağlarının üst kısımları ile tabii sınırlar oluşturmaktadır. Denizden yüksekliği 160 m’dir [15]. Ulaşım ağına göre doğu-batı yönünde D-100 karayolu ile TEM otoyolu üzerinde bulunur. D-100 karayolu il merkezinden geçmektedir. Bu konumu ile İstanbul- Ankara arası geçiş şehri olarak nitelenebilir. İl merkezinin kuzeyinde Akçakoca, kuzey doğusunda Yığılca, kuzey batısında Çilimli ve Cumayeri, batısında Gümüşova, güney doğusunda Gölyaka ilçeleri yer alır [15].

Çalışmanın materyalini; yazılı ve görsel kaynaklar, gözlem formu ve çalışma alanı olan Düzce Su Parkı oluşturmaktadır. Gözlem formu, planlama ve tasarım kriterleri açısından optimum özelliklere sahip bir su parkının hangi özellikleri ne kadar içermesi gerektiğini anlatmaktadır. Bu form sayesinde herhangi bir su parkının planlama ve tasarım kriterleri açısından hangi özelliklere ne kadar sahip olduğu ölçülebilmektedir. Çalışmanın ana materyalini Düzce Merkez ilçe sınırları içerisindeki D-100 Karayolu üzerinde bulunan Düzce Su Parkı oluşturmaktadır. 15.000 m² üzerine kurulu Düzce Su Parkında, 3.000 m² otopark, 600 m² açık yüzme havuzu, 180 ve 25 m² iki adet kaydırak düşme havuzu, 300 m² çocuk havuzu, 1.000 m² kapalı fastfood ve düğün salonu bulunmaktadır [16].



Şekil 1. Düzce Su Parkı [17].

Şekil 1.'de gösterilen Düzce Su Parkı'nda araştırmalar ve gözlemler yapılarak, bu alanların planlanması ve tasarımı gözlemlenmiştir. Tüm bu bilgiler doğrultusunda, su parklarının dinamik yapısının hangi şekilde işlediği, tasarım ve planlama anlamında neler yapılabileceği gibi konularda sonuçlar çıkarılmış olup su parkı tasarımında dikkat edilecek hususlar tespit edilip öneriler geliştirilmiştir.

B. YÖNTEM

Yapılan çalışmada izlenen yöntem; konu ile ilgili veri toplama, araştırma alanlarının incelenmesi, gözlem formunun oluşturulması ve bu forma göre yapılacak değerlendirme kriterleridir.

- ✓ Araştırma alanı ile ilgili bilgiler hangi konularla ilgili çalışmalar yapılacağı, hangi kriterlerin araştırılacağı konusunda tespitler yapılmıştır. Düzce Su Parkı'nın işletmecisi ile yüz yüze görüşmeler yapılarak, park alanı ile ilgili fotoğraf, plan ve rapor bilgileri elde edilmiştir.
- ✓ Gözlem için; arazi çalışmalarının yapılması, literatür araştırma sonuçları, daha önce yapılmış gözlem formlarının elde edilen veriler doğrultusunda seçilmiş olan Düzce Su Parkı Temmuz – Ağustos 2020 tarihleri arasında gözlem formu yerinde tespitle doldurulmuş ve fotoğraflama çalışmaları ile alanın incelenmesi tamamlanmıştır.
- ✓ Gözlem formu oluşturulurken Malkoç (2003) ve Akgül'ün (2006) su parkları üzerine yaptığı çalışmalar [7]- [5], Yaylacı'nın (2019) anaokulları üzerine yaptığı araştırma [18], Güneri'in (2019) meydanlar üzerine yaptığı çalışma [19], Tekinalp'in (2017) Japon bahçesi tasarım kriterleri üzerine yapmış olduğu çalışma [20], incelenmiş ve bu çalışmalarda belirlenen değerlendirme kriterleri sentezlenmiştir.
- ✓ Çalışmanın bu bölümünde uygulama yapılacak su parkının konumu ve özellikleri açısından önemli olacak kriterleri göz önüne alınarak 20 kriter seçilmiştir. Seçilen kriterler tablolar halinde, değerlendirme kriterini ifade eden özellikler ve puanlama sistemi şeklinde açıklanmıştır.
- ✓ Gözlem Formunun Değerlendirilmesi: Su parkının dinamik yapısının hangi şekilde işlediği, tasarım ve planlama anlamında neler yapılabileceği gibi konularda sonuçlar çıkarılmış olup başarılı bir su parkı için olması gereken kriterler gözlem formu oluşturularak belirtilmiştir. Yöntem bu gözlem formunda bulunan değerlendirme kriterlerine dayanmaktadır. Tablo 1.'de

oluşturulan dereceli puanlama anahtarlarında, 3 puan (iyi) için gereken kriterler açıklanmış, belirtilen kriterlere uygunluk açısından 2 puan (orta) ve 1 puan (zayıf) olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Değerlendirme Kriterleri.

Değerlendirme Kriteri	Değerlendirmede Kullanılan Özellikler	Puanlama
1 Ulaşım-Konum	Su parkı girişinden en fazla 350 m mesafede (yaklaşık 5 dk'lık yürüme mesafesi) toplu taşıma durağı bulunmaktadır.	3
	350-1000 m mesafede toplu taşıma durağı bulunmaktadır.	2
	Yalnızca özel araçla gidilebilmektedir	1
2 Şehir Nüfusu	(Günlük ziyaretçi kapasitesi) x (açık olduğu gün sayısı) > nüfusun yarısı	3
	(Günlük ziyaretçi kapasitesi) x (açık olduğu gün sayısı) > nüfusun dörtte biri	2
	Nüfusun dörtte biri > (Günlük ziyaretçi kapasitesi) x (açık olduğu gün sayısı) >	1
3 İklim	Su parkının 4 ay ve daha fazla açık olması	3
	Su parkının 2-4 ay arası açık olması	2
	Su parkının 2 ay ve daha az açık olması	1
4 Konaklama	Su parkı bünyesinde otel düzeyinde konaklama	3
	Su parkı bünyesinde pansiyon düzeyinde konaklama	2
	Konaklama imkânı yoksa	1
5 Otopark Yeterliliği	Günlük kullanıcı sayısının dörtte birinden fazla ise	3
	Günlük kullanıcı sayısının dörtte biri ile sekiz de biri arasında ise	2
	Günlük kullanıcı sayısının sekizde birinden az ise	1
6 Güvenlik	Her 1.000 m ² alan için 10 ve üzeri güvenlik varsa	3
	Her 1.000 m ² alan için 5-10 arası güvenlik varsa	2
	Her 1.000 m ² alan için 5 altında güvenlik varsa	1
7 Sağlık Birimi	Su parkı bünyesinde revir ve sağlık personeli varsa	3
	Su parkı bünyesinde sağlık personeli ve ecza dolabı varsa	2
	Su parkı bünyesinde sadece ecza dolabı varsa	1
8 Yeme – İçme Birimleri	Restoran, kafe, fastfood, vitamin bar vs. varsa	3
	Restoran ve kafe varsa	2
	Sadece kafe varsa	1
9 Soyunma Birimleri – Duş - Wc	Günlük kullanıcı sayısının onda biri kadar Wc, duş, soyunma dolapları varsa (günlük kullanıcı sayısı: n kişi - Wc-duş-soyunma dolapları: x $n/10 \leq x$)	3
	Günlük kullanıcı sayısının onda biri ile yirmide biri arasında Wc, duş, soyunma dolapları varsa (günlük kullanıcı sayısı: n kişi - Wc-duş-soyunma dolapları: x $n/10 < x \leq n/20$)	2
	Günlük kullanıcı sayısının yirmide birinden az Wc, duş, soyunma dolapları varsa (günlük kullanıcı sayısı: n kişi - Wc -duş -soyunma dolapları: x)	1

		$x < n/20$)	
10	Kente uzaklık	Kente uzaklığı 20 km ve daha yakınsa	3
		Kente uzaklığı 21-50 km arası uzaklıkta ise	2
		Kente uzaklığı 51 km ve üzeri ise	1

Tablo 1 (devam). Değerlendirme Kriterleri.

11	Engelliler İçin Düzenlemeler	Engelliler tüm kullanımlara rahatça ulaşip kullanabiliyorsa	3
		Alanda gezinebiliyor ancak su ile ilgili kullanımlara kısmen ulaşabiliyorsa	2
		Sadece alanda gezinebiliyor kullanımlardan faydalanamıyorsa	1
12	Bitkilendirme	Ağaç ve ağaççıklar bulunuyorsa	3
		Çalı ve çalı grupları bulunuyorsa	2
		Yer örtücü ve çim alan barındırıyorsa	1
13	Yerleşim Alanı m ²	15.000 m ² ve üzeri yerleşim alanına sahipse	3
		15.000 – 5.000 m ² yerleşim alanına sahipse	2
		5.000 m ² 'den az yerleşim alanına sahipse	1
14	Çocuk Animasyon Çeşitleri	10 ve üzeri animasyon ve aquatowers varsa	3
		5 –10 arasında animasyon varsa	2
		1-5 arasında animasyon varsa	1
15	Kaydırak Seçimi	10 ve üzeri kaydırak varsa	3
		5 ile 10 arasında kaydırak varsa	2
		1 ile 5 arasında kaydırak varsa	1
16	Su Ögesi Kullanımı	8 ve üzeri havuz- birden fazla nehir varsa	3
		4 ile 8 arası havuz varsa	2
		1 ile 3 arası havuz varsa	1
17	Sezon Dışı Kullanımı	Birden fazla etkinlik için kullanılıyorsa	3
		Sadece bir tür etkinlik için kullanılıyorsa	2
		Sezon dışı hiçbir kullanım yok	1
18	Bilgi-İletişim Levhaları	Park genelinde bilgi iletişim levhaları mevcutsa	3
		Sadece kaydırak ve havuzlarda mevcutsa	2
		İletişim levhaları yoksa	1
19	Donatı Elemanları	Her 100 m ² içinde bir adet çöp, aydınlatma, şezlong ve oturma elemanı varsa	3
		Her 100 m ² içinde sadece iki tür varsa	2
		Her 100 m ² içinde sadece bir tür donatı elemanı varsa	1
20	Hedef Kitle	Bölgenin turist kitlesi, bulunduğu şehir, çevre il ve ilçeler	3
		Bulunduğu şehir, çevre il ve ilçeler	2
		Bulunduğu şehir	1

Tablo 1.'de verilen temsil derecesi değerlendirme tablosu oluşturulmuştur. Araştırma kapsamında incelenen, Türkiye'de bulunan Düzce Su Parkı örneğinin su parkı özelliklerini ne ölçüde temsil ettiğini tespit edebilmek için oluşturulan çizelge kullanılarak puanlama ve değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme kriterlerinin belirlenmesinin ardından sonuca ulaşabilmek için temsil grubunun ve temsil derecelerinin oluşturulması gerekmektedir. Her kriterin kendi içinde sağladığı yeterlilikler baz alınarak

elde edilen en yüksek puan 3 en düşük puan 1'dir. Tüm kriterleri sağlayan bir su parkı en yüksek 60 puan alırken, hiçbir yeterlilik gösteremeyen su parkı 20 puan almaktadır.

Tablo 2. Su Parkı Özelliklerini Temsil Derecesi Tablosu.

Temsil Derecesi	1(Zayıf)	2(Orta)	3(İyi)
Toplam Puan	20-33	34-46	47-60

Değerlendirme sonucu elde edilebilen minimum ve maksimum puanlar doğrultusunda Tablo 2.'de verilen temsil derecesi değerlendirme tablosu gösterilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Düzce Su Parkı yaklaşık 15.000 m² bir alanda 2009 yılında kurulmuştur. Park 30 kişilik personeli ile 1.100 kişi kapasite ile çalışmaktadır. Fakat özel durumlarda yapılacak düzenlemelerle 1.400 kişi kapasiteye ve personel sayısını 35 kişi ye ulaştığı tespit edilmiştir [21]. Düzce Su Parkı hakkında genel bilgiler Tablo 3.'de verilmiştir.

Tablo 3. Düzce Su Parkı Genel Bilgi Formu.

Düzce Su Parkı	
Adres	D-100 Karayolu Üzeri Çerkez Taşköprü Mevkii Düzce Su Parkı
Telefon Numarası	0507 313 70 07
Web Adresi	www.duzceaquapark.com
Mevkii	Çerkez Taşköprü Mevkii
Tasarımcısı	Caner Hatipoğlu
Kuruluş Tarihi	2009
Kullanım Sezonu	3 ay
İşletmecisi	Caner Hatipoğlu
Konumu	D-100 Karayolu Üzeri-Düzce merkeze 14,3 km uzaklıkta
Kullanıcı Kapasitesi	1.100 kişi (Özel Durumlarda 1.500 Kişi İçin Düzenleme Yapılmakta)
Personel Sayısı	30
Yerleşim Alanı	15.000 m ²
Yüzey Şekilleri	Düz Alana Kurulmuştur. Planlamada Eğimden Yararlanma Yok
Sezon Dışı Kullanım	Var
Alana Ulaşım	Mevcut
Peyzaj Mimarı	Esmâ AYKURT
Kaydırak Firması	Polin Su Parkları ve Havuz Sistemleri Anonim Şirketi
Uygulama Yapan Firma	Ulusal Yüzme Havuzları Su Kaydırakları San.ve Tic. Ltd. Şti.

Düzce Su Parkı değerlendirme kriterlerinden aldığı puanlamalar;

1-Ulaşım-Konum: Düzce Su Parkı merkez yerleşime 13,5 km uzaklıkta olup, İstanbul – Ankara D-100 yolu üzerinde olduğu için konum bakımından iyi bir noktadadır. Şehir içi toplu taşıma, otobüs hatları

ile birçok semtten direk veya aktarmalı olarak su parkına ulaşım sağlamak mümkündür. Ulaşım-konum kriterinden 3 puan almıştır.

2-Şehir Nüfusu: Düzce nüfusu 2019 yılına göre 392.166'dır. Bu nüfus, 196.494 erkek ve 195.672 kadından oluşmaktadır [48]. Su parkının ziyaretçi sayısının bulunduğu ilin nüfusuna oranı su parkının çekim gücü hakkında fikir vermektedir. Belirlenen kriter için 2 puan almaktadır. (Günlük ziyaretçi kapasitesi) x (açık olduğu gün sayısı)>nüfusun dörtte biri).

3-İklim: Düzce'de Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerinde görülen nemli ve fazla sert olmayan iklim hâkimdir. En çok yağış sonbahar ve kış aylarında görülmektedir. Yaz aylarında iki ay kadar kuraklık hissedilmektedir [22]. Düzce Su Parkı, hava sıcaklığına bağlı olarak Haziran – Eylül ayları arasında 3 aylık bir sezonda hizmet vermektedir [21]. Belirlenen kriter için 2 puan almaktadır.

4-Konaklama: Su parkının kendine özgü konaklama birimleri bulunmamaktadır. Bu yüzden şehir dışından gelen su parkı müşterileri için olumsuz etkilemektedir. Düzce Su Parkı, belirtilen değerlendirme kriterinden 1 puan almıştır.

5- Otopark: Park alanı girişinde, 3.000 m² açık otoparkı mevcut olmakla birlikte otopark alanı yeterli şekilde bitkilendirilmemiştir. Şekil 2.' de gösterilmiştir. Alanda park eden araçlar güneşe maruz kalmaktadır. Otopark döşemesi beton kaplamadır. Yıllar içerisinde alan ile ilgili yenileme çalışmalarının yapılması alan kapasitesini arttırmıştır. Bu nedenle planlama esnasında planlanan otopark büyüklüğü yıllar içerisinde yetersiz kalmıştır. Bu sebepten yapılan değerlendirme kriterinden 2 puan almıştır (Günlük kullanıcı sayısının dörtte biri ile sekiz de biri arasında ise).



a)

b)

Şekil 2. Düzce Su Parkı Otoparkı (a-b) [23].

6- Güvenlik: Güvenlik açısından değerlendirildiğinde, güvenlik görevlisi konusunda eksiklikler bulunmamaktadır. İki kaydırak için 1 güvenlik sorumlusu ve havuzlar için de 2 can kurtaran toplamda 8 güvelik görevlisi bulunmaktadır. Ama Güvenlik kriterinden 2 puan almıştır.

7-Sağlık Birimi: Alan içerisinde sağlık biriminin yer almadığı saptanmıştır. Sadece ecza dolabı bulunmaktadır. Bu sebepten değerlendirme kriterinden 1 puan almıştır.

8-Yeme-İçme Birimleri: Alanda 1.000 m² olan fastfood ve kapalı düğün alanı aynı konumlanmıştır. Alan gündüz kullanımları restoran-kafe olarak, akşam ise düğün alanı olarak kullanılmaktadır. Tesis de restoran ve kafe bulunduğu için değerlendirme kriterinden 2 puan almıştır.

9- Soyunma- Duş- Wc: Park alanında tek giriş olup kadın ve erkek olarak ayrılmıştır. Duş açık alanda 2 adet kapalı alanda ise kadın ve erkek olarak 2'şer adet, Wc soyunma odalarında 2'şer adet mescitte de 2'şer adet, soyunma odaları 4'er adet olup kadın soyunma dolabı 150 adet, erkek soyunma dolabı ise 270 adet olarak gözlemlenmiştir. Günlük 1.100 kişi kapasiteli su parkı için yeterli sayıda duş, Wc ve soyunma dolabı olmadığı görülmüştür. Bu sebepten değerlendirme kriterinden 2 puan almıştır.

10- Kente Uzaklık: Düzce Su Parkı şehir merkezine 13,5 km uzaklıktadır. Bu sebepten değerlendirme kriterinden 3 puan almıştır.

11-Engelliler İçin Düzenlemeler: Alan düz bir zemin üzerine kurulması nedeniyle merdivenlere pek rastlanmamakta olup engelliler için havuzların kullanımı rahat olup kaydıraklara çıkma konusunda engellileri düşünerek yapılan herhangi bir düzenleme görülmemiştir. Düzce Su Parkı değerlendirme kriterinden 1 puan almıştır.

12-Bitkilendirme: Alan içerisinde bitki örtüsü bulunmaktadır.



a)

b)

Şekil 3. Düzce Su Parkı Bitkilendirme (a-b) [23].

Şekil 3'de görüldüğü üzere çeşitlilik açısından çok fazla zenginlik göstermeyen alan içerisinde en çok dikkat çelen bitkiler havuz alanları kenarlarından bulunan altuni taflan (*Euonymus Japonicus "Aurea"*), alev çalısı (*Photinia Red Robin*), limoni servi (*Cupressus macrocorpa goldcrest*), Leyland selvi (*Cupressus leylandii*), gelintacı (*Weigela florida*), parlak yapraklı kartopu (*Viburnum Lucidum*) ağırlıklı olarak kullanılmıştır.

13-Yerleşim Alanı (m²): Arazi büyüklüğü seçimi; bu konuda kesin değerler sunmak pek mümkün olmasa da 15.000 m² ve üzeri yerleşim alanına büyük ölçekli su parkı, 15.000 – 5.000 m² yerleşim alanına sahipse orta ölçekli su parkı ve 5.000 m²'den az yerleşim alanına sahipse küçük ölçekli su parkı olarak değerlendirilmiştir. Düzce Su Parkı değerlendirme kriterinden 2 puan olarak orta ölçekli su parkı olarak değerlendirilmiştir.

14: Çocuk Animasyon Çeşitleri: Düzce Su Parkı toplamda 10 adet çocuk animasyonu bulunmaktadır. Yılan kaydırak, fil kaydırak, mini fil kaydırak, tavşan kaydırak, yunus fiskiye, mantar (200 mm), mini gökkuşağı, ahtapot kaydırak ve mini kurbağa bulunmaktadır. Düzce Su Parkı değerlendirme kriterinden toplam 2 puan almıştır. Şekil 4.'de gösterilmiştir.



a)

b)

Şekil 4. Düzce Su Parkı Çocuk Animasyonları(a-b) [23].

15- Kaydırak Seçimi: Alanda toplamda 7 kaydırak bulunmaktadır.



a)

b)

Şekil 5. Düzce Su Parkı Kaydırak Görünüşü (a-b) [16].

Şekil 5’de görüldüğü gibi, Rafting slide, tunnel freefall, multislide, kamikaze, black hole, space boat, body slide kaydırakları mevcuttur. 2 puan almıştır.

16- Su Öğesi Kullanımı: Düzce Su Parkında toplam 4 havuz bulunmaktadır. Bunlar;

*Yüzme Havuzu: 550 m² *Çocuk Havuzu: 300 m² *Düşme Havuzu -1: 180 m² *Düşme Havuzu -2: 25 m² bulunmaktadır. 2 puan almıştır.

17- Sezon Dışı Kullanımı: Alan içerisinde sezon dışı aktivitelerin eklendiği dikkat çekmektedir. Park yönetimi aktivitelerin işleyişini yakından incelemekte ve işlerliğini kaybeden aktiviteleri tespit edip yerine yeni aktiviteler planlanmaktadır. Sezon dışı hizmet vermek amacı ile giriş binasının üst kısmı balık restoranı yapılmış, fakat işlemediği için kapatılıp organizasyon ve toplantı alanı olarak revize edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca alanda kapalı ve açık düğün alanı mevcuttur Düzce Su Parkı değerlendirme kriterlerine göre 3 puan almıştır.

18- Bilgi İletişim Levhaları: Bilgi iletişim levhaları ise alan içerisinde bulunmakta olup bütün kaydırakların giriş kısımlarında kaydırakla ilgili bilgiler verilmiştir. Bu levhalar yeterli sayıda olup, biçim ve büyüklük açısından da uygun olduğu görülmüştür. Bilgi iletişim levhaları Alan değerlendirme kriterine göre 3 puan almıştır. Şekil 6.’da gösterilmiştir.



a)

b)

Şekil 6. Düzce Su Parkı Bilgi İletişim Levha Görünümü(a-b) [23].

19- Donatı Elemanları: Belirlenen kriterlerden 3 puan almıştır. Şekil 7.'de gösterildiği gibi alan içerisinde beyaz renkli şezlonglar bulunmakta ve havuz çevresine yerleştirilmiştir. Havuz etrafında ağaçlandırma bulunmaması nedeniyle alan güneşe çok maruz kalmakta olup oturma elemanlarının şemsiyeler vasıtasıyla güneşten korunduğu tespit edilmiştir. Alan içerisinde çöp kovalarının yeterli olduğu tespit edilmiştir. Çöp kovaları mavi ve gri renklidir. Oturma alanlarının bulunduğu bölgelerde çöp kovasına rastlanmaktadır. Alan içerisinde gece kullanımı tespit edilmiş olup yeterli miktarda aydınlatma elemanı görülmüştür. Aydınlatma elemanları yeme içme bölümlerinde ve havuz çevresinde yeterli miktarda bulunmaktadır. Özellikle havuz başı düğün organizasyonları yapıldığı için alan yeterli miktarda aydınlatma elemanı kullanılmıştır.



a)

b)

c)

Şekil 7. Alanda Şezlong, Çöp Kovası ve Aydınlatma Elemanları Görünümü (a-b-c) [16].

20- Hedef Kitle: Düzce Su Parkının hedef kitle; bulunduğu il, çevre iller ve ilçelerdir. Bu bakımdan Düzce Su Parkı değerlendirme kriterinden 2 puan almıştır.

Tablo 4. Düzce Su Parkı'nın Değerlendirme Tablosu.

DEĞERLENDİRME KRİTERİ	PUANLAMA		
	1	2	3
1 Ulaşım-Konum			3
2 Şehir Nüfusu		2	
3 İklim		2	
4 Konaklama	1		
5 Otopark Yeterliliği		2	
6 Güvenlik		2	
7 Sağlık Birimi	1		
8 Yeme-İçme Birimleri		2	
9 Soyunma Birimleri-Duş-Wc		2	

10	Kente Uzaklık			3
11	Engelliler İçin Düzenlemeler	1		
12	Bitkilendirme			3
13	Yerleşim Alanı m ²			3
14	Çocuk Animasyon Çeşitleri		2	
15	Kaydırak Seçimi		2	
16	Su Ögesi Kullanımı		2	
17	Sezon Dışı Kullanımı			3
18	Bilgi-İletişim Levhaları			3
19	Donatı Elemanları			3
20	Hedef Kitle		2	
Toplam		3	20	21
Genel Toplam: 44				

Tablo 4’de belirlenen kriterler doğrultusunda Düzce Su Parkı, gözlem formu ile oluşturulan dereceli puanlama, tez kapsamında belirlenen tasarım elemanları ve kriterleri doğrultusunda değerlendirme tablolarında puanlama yapılmıştır.

Çalışma kapsamında incelenen Düzce Su Parkı örneği 44 puan olarak temsil derecesi orta olarak belirlenmiştir.

Su parklarının incelenmesi konusunda son yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Malkoç, E., (2002), “Aquaparkların (Su parklarının) Planlama ve Tasarım İlkeleri Üzerine Bir Araştırma”, isimli çalışma, su parkları hakkında hemen hemen birçok bilgiye ulaşılabilen yüksek lisans çalışmasında, su parklarının planlanması ve parklarda kullanılan araçlar hakkında geniş bir bilgi verilmiş olup Türkiye’de bulunan su parklarında tespit çalışmaları yapmıştır. Su parkların mevcut planları incelenmiş, iyi ve eksik yönleri ortaya konulmuş olup dünyada bulunan bazı parklardan örneklere yer verilmiştir. Çalışmada su parklarının fiziksel durumunu irdelemiş olup, araştırma alanlarının tasarım açısından uygunluğu, fonksiyonelliği ve zenginliği gibi olguları değerlendirmiştir. Türkiye’nin farklı bölgelerinde bulunan parklar irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Türkiye’deki 14 adet su parkı araştırma alanı olarak değerlendirilmiş, alan çalışmaları sırasında seçilen su parklarının konumsal ve fiziksel yapıları analiz edilmiş, mekânsal içeriği sorgulanmış gerek su parkı işletmecileri gerekse ziyaretçilerden alınan bilgiler ışığında örnekler yakından incelenmiş yer, seçim kriterleri, mekân gereksinimleri ve tasarım kriterleri ortaya konulmuştur.

Nacak, H., (2000), “Aquapark’ların Yer Seçim İhtiyaçları ve Tasarım Kriterlerinin İncelenmesi”, isimli yüksek lisans tezinin giriş bölümünde boş zaman, oyun, rekreasyon kavramları tek tek ele alınmış bu kavramların birbirleri ile olan ilişkileri ortaya konmaya çalışılmıştır. Aynı bölümde su parkı, konulu parklar ve eğlence parklarına da değinilmiştir. Boş zaman kavramının tarihsel gelişme süreci anlatılmış ve yurt dışındaki boş zaman değerlendirmeye yönelik sistem ve organizasyonlardan detaylı olarak bahsedilmiştir. Tezde yurtdışından ve Türkiye’den çeşitli su parkı örneklerine yer verilmiştir.

Akgül, H., (2006), “Aquapark’ların Tasarım ve Planlama İlkeleri ve Ülkemizdeki Örnek Aquaparkların Değerlendirilmesi”, isimli çalışma, su parklarının dinamik yapısının hangi şekilde işlediği ve tasarım anlamında neler yapılabileceği gibi konularda sonuçlar çıkarılmıştır. Su parkları tasarım ve planlanmasında dikkat edilecek unsurlar hususunda tespitler yapılmış ve öneriler getirilmiştir. Türkiye’nin farklı bölgelerinde bulunan parklar irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Bu örneklerde de görüldüğü gibi su parkları hakkında yapılan çalışmalar daha çok su parklarının genel özellikleri ve yurt içi-yurt dışı bazı su parklarının planlama ve tasarım kriterleri değerlendirilmiştir. Su parkının detaylı bir puanlamaya yer verilmediği görülmektedir.

Bu çalışmayı, diğer örneklerden ayıran en önemli özellik, Düzce ilinde bulunan Düzce Su Parkı'nın genel özellikleriyle anlatılmakla kalmayıp su parkı hakkında, su parkının tasarım ve planlama ilkelerine uygunluk açısından detaylı bir puanlama çalışması yapılması, parklarda görülen eksikliklerin belirtilmesi ve bu eksikliklerin giderilmesi konusunda öneriler sunmasıdır. Araştırma alanında gerçekleştirilen görsel analiz çalışmalarında alan kullanımı (yapılış amacına uygunluk, yer seçimi, bakım-yönetim), donatı elemanları (döşeme kaplaması, bitki kapları, aydınlatma elemanları, plastik elemanlar, bilgi iletişim ve reklam panoları, oturma birimleri, çöp kutuları), erişe bilirlilik (otopark olanağı, alana ulaşım olanakları, sosyal-kültürel mekanlarla alanın ilişkisi, alanın çevreden algılanması) ve tasarım öğeleri (renk, biçim, ölçü) bakımından değerlendirilmiştir. Ayrıca araştırma alanında yetiştirilen bitki örtüsünü, türleri ve yoğunlukları tezde de belirttiğim üzere ağırlıklı olarak kullanılan bazı türler tespit edilmiştir.

IV. SONUC

Yapılan inceleme ve yöntemde de belirtildiği üzere daha önce yapılmış çalışmaları materyal olarak kullanmış ve yeni gözlemlerle toplanan bu bilgiler değerlendirilip planlama ve tasarım kriterleri açısından optimum özelliklere sahip bir su parkının hangi özellikleri ne kadar içermesi gerektiği konusunda daha güncel, geçerli ve gerçekçi sonuçlara varılmaya çalışılmıştır. Belirlenen değerlendirme kriterleri önem derecelerine göre puanlandırılarak su parkı değerlendirme matrisi oluşturulmuştur. Su parkının bulunduğu konumun, demografik yapısı, ulaşılabilirliği, nüfusu gibi kriterler baz alınarak temsil derecelerine göre puanlama yapılmıştır. Bu noktada su parklarının dinamik yapısı ve bu hareketliliğe karşı nasıl önlemler alınacağına bir cevap aranmıştır.

Düzce Su Parkı, yerinde yapılan gözlemler sonucunda, parkın kuruluşundan itibaren geçirmiş olduğu değişim tespit edilip park genelindeki değişiklikler ortaya konmuştur. Bu değişimler;

- *İlave kaydırak
- *Açık-kapalı düğün alanları
- *Restoran ve organizasyon alanları eklenmiştir.

Düzce Su Parkı için önemli 20 değerlendirme kriteri belirlenmiş olup, bu kriterler doğrultusunda Düzce'de bulunan Düzce Su Parkı yerinde incelenmiştir. Düzce Su Parkı 44 puan alarak orta temsil grubuna girmiştir.

1 puan alan 3 kriter;

- Konaklama

Su parkının kendine özgü konaklama birimleri bulunmamaktadır. Şehir dışından gelen su parkı müşterileri için, su parkı bünyesinde en az bir konaklama biriminin bulundurulması.

- Sağlık Birimi

Alan içerisinde sağlık birimlerini olmaması büyük bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır. Su parkı bünyesinde kullanıcı sayısına uygun büyüklükte ve donanımda bir revir alanı planlanmalı, bu revirde su parkının açık olduğu saatler boyunca görevli sağlık personeli bulunmalıdır.

- Engelliler İçin Düzenlemeler

Su parkı alanlarında engelliler için düzenlemeler bulunmamaktadır. Engelliler için düzenlemeler yapılmalı alan içerisinde özel aktivite alanları ayrılmalıdır.

- ✓ Su parkının bulunduğu alanda yollar, rampa ve merdivenler engellilerin rahatça kullanımına uygun hale getirilmeli,
- ✓ Engelli kullanımına uygun donatı elemanları ve otopark olmalı (şezlong, çöp kutusu vs.)

- ✓ Havuzlara yakın bedensel engelli kullanımına uygun wc, soyunma kabinleri ve duşun bulunmalı (en az 1 adet)
- ✓ Havuzların tasarımı (derinlik ve uzunluk kademeleri) engelliler de düşünülerek planlanmalı
- ✓ Havuzların en az birinde manuel havuz transfer sistemi bulunması (55 cm genişliğinde, 30-45 cm derinliğinde ve 17 cm yükseklikte suyun altına inen transfer basamaklı; havuz kenarında 40-45 cm yüksekliğinde transfer duvarı olan ve önünde 150x150 cm'lik tekerlekli sandalye parkı için alanı olan) [24] ya da Portatif Havuz Lifti Bluone engelli ve hareket kısıtlılığı yaşayanların havuza transferi için dizayn edilmiş hızlı, rahat ve güvenli bir erişim cihazını bulundurmaları [25],
- ✓ Su parkı tasarlanırken engellilerin de alandan yararlanabileceği düşünülmeli tasarım bu yönde şekillenmelidir.

2 puan alan 10 kriter;

- Şehir Nüfusu

Su parkının olduğu, bölge de halkın sosyalleşmesine, eğlence ihtiyaçlarının karşılanmasına çok pozitif etkilerinin olmasının yanı sıra, dışarıdan yoğun gelecek ziyaretçiler üzerinden de ticari hayatını zenginleştirip hem de ekonomik kapasitesini artırmaya yardımcı olacaktır. Su parkı iyi tasarlanıp planlanırsa günlük kullanıcı kapasitesini arttırabilir.

- İklim

Su parkı tasarımında iklim çok önemlidir. Düzce Su Parkı, hava sıcaklığına bağlı olarak Haziran – Eylül ayları arasında 3 aylık bir sezonda hizmet vermektedir. Diğer bölgedeki su parklarına göre daha hizmet vermektedir. Bunun için farklı aktiviteler yapmalı sezon dışında kullanımlara ya da su parkının belli bir kısmını kapalı su parkı olarak tasarım ve planlama yapılmalıdır.

- Otopark Yeterliliği

Park alanı girişinde, 3.000 m² açık otoparkı mevcut olmakla birlikte otopark alanı yeterli şekilde bitkilendirilmemiştir. Alanda park eden araçlar güneşe maruz kalmaması için bitkilendirme yapılmalıdır. Yıllar içerisinde alan ile ilgili yenileme çalışmalarının yapılması kişi kapasitesini arttırmıştır. Bu nedenle planlama esnasında planlanan otopark büyüklüğü yıllar içerisinde yetersiz kalmıştır. Toplam 15.000 m² alan için (15.000/30 m²) 500 araçlık otopark alanı olması gerekiyor. 3.000 otoparkı bulunan Düzce su parkı 150 araçlık otopark yeri mevcuttur. Standartların altındadır. Bunun için otopark alanı genişletilmelidir.

- Güvenlik

Kullanıcıların güvenliği de çok önemlidir, bu konuda uzman kişiler ile çalışılmalı, güvenlik önlemleri yönünden standartlar geliştirilmelidir. Her havuz ve kaydırak için ayrı ayrı, en az 2 dilde hazırlanmış, aktivitenin nasıl kullanılacağı yazılı ve görsel olarak yönlendirici tabelalar bulundurulmalıdır. Su parklarında çalışan elemanların eğitilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalı, özellikle tehlike anında ilk müdahale konusunda eğitimleri sağlanmalıdır.

Her havuzda mutlaka bir can kurtaranın (gerekli belgeye sahip) hazır bulunup, dikkatle kullanıcıları izlemesi gerekmektedir. Bu konuda özellikle çocuk havuzu önem taşımaktadır.

Yine aynı şekilde her kaydırak için bir operatör bulunup, (gerekli eğitimi almış) o kaydırağa uygun kullanım tipini, kullanıcıya tabela yardımı ile anlatıp, buna göre kullanıldığından emin olunması gerekmektedir. Kaydırakların periyodik bakımları sürekli yapılmalı ve kaydırak parçalarının birleşme noktalarında oluşun ve kullanıcıya zarar veren pürüzler yok edilmelidir.

- Yeme-İçme Birimleri

Kafe ve restoranlar max. kişi kapasitesine göre hesaplanmalı, yeterli sayıda ve hizmet vereceği gruba (yiyecek –içecek vb.) göre planlanmalıdır. Düzce Su Parkında 1.000 m² alana kurulmuş fastfood alanı bulunmakta, alana ulaşım her noktada sağlanabilmektedir. Fastfood alanı kapalı alanda mevcut. Açık

alandaki mevcut herhangi kafe, restoran, satış birimi bulunmamaktadır. Açık alanlar alternatif olabilecek duruma getirilmeli, özgün ve orijinal tasarımlar hedeflenmeli birbirlerine göre ayırt edici özelliğe sahip olmaları sağlanmalıdır.

- Soyunma Birimleri-Duş-Wc

Park alanında tek giriş olup kadın ve erkek olarak ayrılmıştır. Duş açık alanda 2 adet kapalı alanda ise kadın ve erkek olarak 2'şer adet, wc soyunma odalarında 2'şer adet mescitte de 2'şer adet, soyunma odaları 4'er adet olup kadın soyunma dolabı 150 adet, erkek soyunma dolabı ise 270 adet olarak gözlemlenmiştir. Günlük 1.100 kişi kapasiteli su parkı için yeterli sayıda duş, wc ve soyunma dolabı olmadığı görülmüştür. Kişi kapasitesine göre sayılar artırılmalıdır. Giriş binası max. kişi kapasitesine göre hesaplanmalı ve buna göre wc, duş ve dolap adetleri belirlenmelidir.

- Çocuk Animasyon Çeşitleri

Değerlendirme kriterine göre 2 puan alan Düzce su parkı küçük çocuk animasyonu bakımından yeterli sayıda mevcuttur. Fakat aquatowers gruplarından herhangi bir oyun grubunun eklenmesi çocuklara yönelik aktiviteyi arttırabilir.

- Kaydırak Seçimi

- ✓ Su parklarının içerisinde planlanan aktiviteler alanın büyüklüğü ve ekonomik duruma göre planlanmalı.
- ✓ Düzce Su Parkında rafting slide, tunnel freefall, multislide, kamikaze, black hole, space boat ve boby slide yetişkin kaydıracağı bulunmaktadır. Kaydırak ve havuz sayısı ne kadar fazla ise su parkı daha zengin bir hal almaktadır.
- ✓ Yıllar içerisinde araştırma alanında en çok görülen değişiklik ekstrem kaydıraklar grubunda yer alan body slide ve space boat kaydıraklarının alan içerisine eklenmesidir. Bu değişikliklerin müşteri potansiyelini etkilediği görülmüştür.
- ✓ Su parkı kullanıcılarının fikirleri doğrultusunda gelişme stratejileri belirlenmeli bu yönde çalışmalar yapıp sektörel hayata geçirilmelidir.
- ✓ Su parkı alanlarının yenilenmesi sağlanmalı, farklı kaydırak türleri ve aktiviteler uygulanmalıdır. Sektörel gelişim mutlaka takip edilmeli kullanıcıların istedikleri ve alan için uygun kaydırak ve farklı aktivitelere yer verilmelidir.

- Su Ögesi Kullanımı

Havuzlar kullanıcının işini kolaylaştıracak şekilde planlanmalıdır. Su parkı alanlarının tasarımları bu konuda profesyonel kişiler tarafından yapılmalıdır. En az bir yüzme, çocuk ve düşme havuzu olarak gerekli büyüklüklerde tasarlanmalıdır. Alan ve bütçeye bağlı olarak bazı atraksiyon havuzları da ilave edilebilir. Bunlar dalga havuzu, tembel nehir, vahşi nehir, sörf havuzu, jakuzi olabilir. Havuz büyüklükleri ve havuz sayıları alana bağlı olarak verilmektedir.

- Hedef Kitle

- ✓ Su parklarının başarısı, çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri gibi tek bir araştırmada incelenemeyecek kadar geniş çaplı konuları kapsamaktadır. Bununla birlikte, su parkının başarısında, hedef kitle önemli bir kriterdir. Yapılan değerlendirme kriteri sonucunda su parkının ziyaretçi sayısında en büyük etkenin, su parkının bulunduğu bölgenin demografik yapısı ulaşılabilirliği ve sezon dışı kullanımı olduğu görülmüştür.
- ✓ Su parkının hedef kitesini arttırmak için aktiviteler ve sezon dışı kullanımları arttırılmalı.
- ✓ Su parkında yazılı ya da görsel tanıtıma önem verilmeli bu konuda yapılan çalışmalar desteklenmelidir.
- ✓ Hedef kitleyi arttırabilmek için işletmelerin olaya ticari olarak değil de topluma hizmet mantalitesi ile yaklaşımları sağlanmalıdır.

3 puan alan 7 kriter;

- Ulaşım-Konum

- Kente Uzaklık
- Bitkilendirme
- Yerleşim Alanı m²
- Sezon Dışı Kullanımı
- Bilgi-İletişim Levhaları
- Donatı Elemanları

Düzce Su Parkı bu kriterlerden tam puan almıştır.

Su parkı alanlarında bulunan bitki örtüsünün aynen korunmaya çalışıldığı gözlenmiş olup, bu konuda peyzaj mimarları ile yapılan çalışmalarda bitkilerin havuz kenarlarından daha uzaklarda planlandığı gözlenmiştir. Havuz kenarlarında daha çok çalı türü bitkilerin planlandığı, yaprak döken ağaçların bu bölgelerde hiç yer verilmediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle havuz kenarlarında bulunan açık alanlarda gölge ihtiyacı şemsiyeler ile sağlanmıştır.

Kentlerde yeşil alan ve parkların giderek azalması; bunların yerine ekonomik getirileri nedeniyle alışveriş merkezlerinin, kapalı spor salonlarının ve eğlence merkezlerinin yaygınlaşması, açık alanda rekreasyon ve boş zaman değerlendirme imkanlarının azalmasına neden olmuştur. Günümüzde su parkları, her yaşa hitap eden etkinlikler içermesi, teknolojiyle açık alanda rekreasyon imkanını bir araya getirmesi ve ekonomik getirileri nedeniyle cazip aktif rekreasyon alanları haline gelmiştir.

Yapılan bu çalışmanın önemini şu şekilde özetlemek gerekirse; su parklarının planlanmasında uyulması gereken birçok standardın oluşturulması ve bu tesislerin daha kullanışlı oluşturulmasında ışık olacaktır. Bu araştırma sonucunda elde edilen bilgiler, gelecekte yapılacak olan su parklarına katkı sağlayacak, aynı zamanda tüm çalışmalar için altlık ve yol gösterici bir kaynak olacaktır.

V. KAYNAKLAR

[1] B. Karaca, 'Başarılı Bir Su Parkı İçin Olması Gereken Planlama ve Tasarım Kriterleri' Yüksek lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.

[2] A. Zaloğlu, 'Ankara Kent Parklarında Suyun Gösteri Elemanı Olarak İrdelenmesi' Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.

[3] T. O'Brien, *The Wave Maker: The Story of Theme Park Pioneer George Millay and the Creation of SeaWorld, Magic Mountain and Wet'n Wild.*, 0rd ed., vol. 352, New Haven, USA: John Ripley Entertainment Inc, 2004, pp. 36–120.

[4] Anonim. (2020, 8 Mart). *Park World Online* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.parkworld-online.com/wet-n-wild-orlando-the-waterpark-that-made-waves-in-the-industry>.

[5] H. Akgül, 'Aqua parkların Tasarım ve Planlama İlkeleri ve Ülkemizdeki Örnek Aqua parkların Değerlendirilmesi' Yüksek lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2006.

[6] H. Nacak, 'Su Parkların Yer Seçim İhtiyaçları ve Tasarım Kriterlerinin İncelenmesi' Yüksek Lisans Tezi, Şehir ve Bölge Planlama Ana Bilim Dalı, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2000.

- [7] E. Malkoç, 'Aqua parkların (Su Parklarının) Planlama ve Tasarım İlkeleri Üzerine Bir Araştırma' Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2002.
- [8] E. Dalkılıç, 'Eğlence Parklarının Tarihsel Gelişimi ve Planlama' Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [9] A. B. Oruçkaptan, 'Su Parkı Planlama Kriterinin Saptanması ve Ankara Susuz Gölet'i Örneğinde Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma' Doktora Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [10] A. A. W. P. Wylson. *Theme Parks, Leisure Centers, Zoos and Aquaria.*, 2nd ed., vol. 183, Los Angeles, California, USA: Longman Building Studies, 1994, pp. 78–96.
- [11] T. H. Sawyer, *Facility Planning and Design for Health, Physical Activity, Recreation, and Sport.*, 14rd ed., vol. 508, USA: Sagamore Publishing., 2013., pp. 120–280.
- [12] S. Tankurt, 'Güney Ege ve Akdeniz Kıyılarında Yer Alan Tatil Köylerinin Tasarım Ve Planlama İlkelerinin Oluşturulmasına Yönelik Bir Araştırma' Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 1999.
- [13] R. Meyer. (2020, January 5). *Theme Park Insider* [Online]. Available: <https://www.themeparkinsider.com/flume/201309/3655/>.
- [14] M. Y. E. Hatipoğlu, 'Firma Değerlemesinde İndirgenmiş Nakit Akımları Yöntemi: BIST Elektrik Endeksinde Bir Uygulama' *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, c. 8, s.3, ss. 7-29, 2013.
- [15] T. C. Düzce Valiliği. (20.05.2020) [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.duzce.gov.tr/sehrimiz>.
- [16] U. Havuz, Ulusal Yüzme Havuzları Fotoğraf Arşivi., (15.02.2019), [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ulusalhavuz.com/tr>
- [17] Anonim (20.05.2020), *Google Earth Harita*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://earth.google.com>
- [18] C. S. Yaylacı, 'Anaokul Bahçelerinde Dış Mekân Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi, İstanbul Anadolu Yakasından Örnekler' Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [19] M. T. Güneri, 'Kentin Düğüm Noktaları Olan Meydanların Peyzaj Mimarlığı Açısından Değerlendirilmesi, Mersin İli Örneği' Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2019.
- [20] M. F. Tekinalp, 'Japon Bahçesi Tasarım Kriterleri Açısından Türkiye'deki Bazı Japon Bahçelerinin Değerlendirilmesi' Yüksek Lisans Tezi, Peyzaj Mimarlığı Anabilim dalı, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2017.
- [21] C. Hatipoğlu, Interviewee, Düzce Aquapark. [Röportaj]. 03 07 2020.
- [22] Anonim. (20.05.2020) [Çevrimiçi]. Available: <https://duzce.ktb.gov.tr/TR-211369/iklimi-ve-bitki-ortusu.html>.

[23] R. Sönmez, Artist, *Düzce Aquapark Fotoğrafları*. [Art]. 2020.

[24] Anonim. (2020, 26 Mayıs). *Tesisin Konumu Ve Yakın Çevresi B- Tesisin Engelsiz Turizm Politikası* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://tourismforall.org.tr/Documents/Engelsiz-isletme-siniflandirma-Formu-05-04-2013.pdf>.

[25] Anonim. (26.05.2020). *Engelsiz Ürünler* [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.engelsizurunler.com.tr/ur_er_havuz_erisim.html.



Düzce University Journal of Science & Technology

Review Article

Re-establishment and Regarding Trust and Transparency, Blockchain's Contribution to the Solution of a Thousand-Year Problem

 Koray ADIGÜZEL ^{a,*},  Natallia KRASNOKUTSKA ^a

^a Department of Management & Taxation, Institute of Economics, Management, and International Business,
National Technical University, Kharkiv, UKRAINE

* Corresponding author's e-mail address: koray.adiguzel@emmb.khpi.edu.ua

DOI: 10.29130/dubited.868598

ABSTRACT

Trust is the most important key element in the history of humanity and its success. We see and witness an emerging and exciting technology called Blockchain, eliminating losses caused by anti-trust and relieves pain in our social-build environment. Although the atmosphere in business, management, and society today has been heavily altered and involved, trust stays the same. This requirement leads companies in various industries to use new techniques to ensure their customer's business is in safe hands. Unfortunately, most of the current research is heavily based on the Bitcoin currency rather than its underlying technology, which focuses on revealing and improving Blockchain's limitations from managerial value perspectives. Many of the proposed solutions lack a concrete evaluation of their effectiveness. Many other Blockchain scalability related challenges, including throughput and latency, have been left unstudied. In this study, enabling functions is studied, and Blockchain's contribution to organisations' management is discussed. Besides, applicability in today's economic environment in various industries is studied. It is understood that after the development of technologies that eliminate centralised structures such as Blockchain, the business world is keen to adapt to this change. In this context, it is concluded that including new technologies such as Blockchain increased trust in various industries, and in the majority of the studies, Blockchain considered being an element to reduce costs and create a more transparent environment. It can be said that this technology contributes to the development and better understanding of the application area of the industries mentioned in the study.

Keywords: Trust, Transparency, Blockchain, Organization, Industries, Applications.

Güven ve Şeffaflığın Yeniden Tesis Edilmesi ve Gözetilmesi, Blokzincirin Bin Yıllık Bir Sorunun Çözümüne Katkısı

Öz

Güven, insanlık tarihinin ve başarısının en önemli anahtar unsurudur. Güvensizliğin neden olduğu kayıpları durdurmak ve sosyal yapı ortamımızdaki sancılıları hafifletebilmek amacına yönelik olarak geliştirilen ve blokzincir olarak tanımlanan heyecan verici yeni bir teknolojinin doğuşuna tanık oluyoruz. Günümüzde her ne kadar işletme-yönetim ve sosyal toplum arasındaki ilişki ve atmosfer büyük ölçüde değişmiş birebirleri ile oluşan ilişkileri kurallar ile entegre olsa da güvene karşı gereksinim aynı kalmaktadır. Bu gereklilik, çeşitli sektörlerdeki şirketlerin müşterilerinin kendileri ile oluşturduğu ticari bağ ve işlemlerin emin ellerde olmasını sağlamak adına yeni teknolojiler kullanmaya yönlendirmektedir. Ne yazık ki, mevcut bilimsel araştırmaların çoğu, blokzincirin yönetsel değer perspektiflerinden sınırlamalarını ortaya çıkarmaya ve iyileştirmeye odaklanan temel teknolojilerinden ziyade bitcoin para birimine dayanmaktadır. Önerilen çözümlerin çoğu, etkinliklerinin somut bir

değerlendirmesinden yoksundur. Verimlilik ve gecikme dahil olmak üzere, diğer birçok blokzincir ölçeklenebilirliği ile ilgili zorluklar incelenmeden bırakılmıştır. Bu çalışmada, etkinleştirici işlevler incelenmiş ve blokzincirin kuruluşların yönetimine katkısı tartışılmıştır. Ayrıca günümüz ekonomik ortamında çeşitli endüstrilerdeki uygulanabilirliği incelenmektedir. Blokzincir gibi merkezi yapıları ortadan kaldıran teknolojilerin gelişmesinden sonra iş dünyasının da bu değişime uyum sağlamaya istekli olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda, blokzincir gibi yeni teknolojilerin dahil edilmesinin çeşitli sektörlerde güveni artırdığı ve çalışmaların çoğunda blokzincirin maliyetleri düşürmek ve daha şeffaf bir ortam oluşturmak için bir unsur olarak değerlendirdiği sonucuna varılmıştır. Bu teknolojinin çalışmada adı geçen sektörlerin uygulama alanlarının gelişmesine ve daha iyi anlaşılmasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güven, Şeffaflık, Blokzincir, Organizasyon, Sektörler, Uygulamalar.

I. INTRODUCTION

Trust is the most important key element in the history of humanity and its success. From private to public or family to business needs, every relationship form and asks for trust. It becomes more critical when whatever temporary or permanent parties involved in the relationship are poly and foreign to each other. We see and witness an emerging and exciting technology called Blockchain, which stops losses caused by anti-trust and relieves pain in our social build environment. A blockchain can study a distributed database organised as a list of consistent blocks, where the committed blocks are immutable. One can see that this is ideal in the banking sector as banks can cooperate under the identical Blockchain and push their customers' transactions. This way, beyond transparency, Blockchain facilitates transactions' auditing. Companies bedeck in this technology as they see the potential of their architectures decentralised and minimising their transaction suffering as they become inherently safer, translucent and in some inclose faster. When Satoshi Nakamoto, whose real personality is still unknown, issued this whitepaper Bitcoin: The Peer to Peer electronic payment organisation in 2008 reported the "strictly peer-to-peer edition of electronic cash" known as Bitcoin, blockchain technology made its public debut. Blockchain, this application that goes Bitcoin, has evolved around this last decade into one of the day's most significant ground-breaking technologies with the potential to change every industry from business to manufacturing to educational institutions [1]. Although the understating is that Blockchain technology is new and exciting by its nature, its roots have been established before thousand years ago. Its founders have successfully utilised them in the "Island of Yap." The island with the never-seen stone disks was used as an immutable distributed ledger to save the information and build trust in their community for their assets' mutual transactions. For centuries, Yapese islanders in what is now understood as Micronesia, wing hundreds of kilometers to mine limestone, fashioned into monumental stone sculptures assumed as rai and used as currency. Those stone coins were so weighty that islanders drilled holes through the core to move on extended poles [2].

Although blockchain technology is a concept that is still developing, the technology continues to grow (see Figure 1). Thanks to the trust it offers, today, when many industries try to discover this technology somehow, it is taken for granted that many industries or businesses will be affected by the Blockchain in some way sooner or later. Since financial services are among the first industries to embrace this technology in recent years, this area's applications are pretty advanced. Banking and payments are still the only places where we can benefit from the Blockchain, but there is much more to it. The promise that all manual paper transactions can be recorded, tracked, and stored using blockchain technology and the records are verifiable and secure, providing an environment that can reduce human errors.

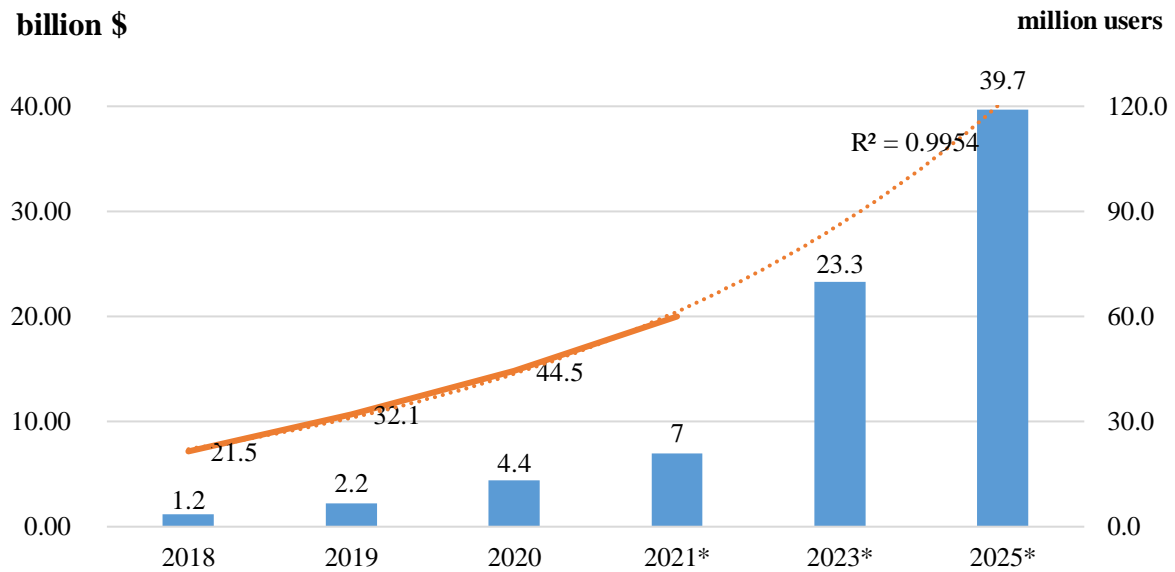


Figure 1. Blockchain technology market size [3], [4]

Last publications show the growing interest in this topic and change focus from technical or financial aspects of Blockchain to its impact on sustainability where the definition has been developed and introduced by United Nations as the Three Dimensions of Sustainability [5] (see Figure 2), Social, economic, and environmental constitute the triple bottom line on sustainability development. Today more researchers claim that Blockchain can be an instrument for accomplishing the United Nations Sustainable Development Goals [6]. In fact, some practices carried out in a traditional way are no longer sustainable, and digital tools such as Blockchain are required to reform environmental, economic and social sustainability [7].



Figure 2. Three Dimensions of Sustainability [5]

In this study, we are willing to break down Blockchain's historical and critical points and emphasise Blockchain's usage in various industries and its contribution to sustainability. Arguably, as trust in the system is improved through practice, blockchain technology will evolve longevity and cause precious contributions to the circular economy through sustainability and social responsibility [8].

Section two presents what Blockchain Technology is, its history and milestones of evolution, how it functions, what it is for, and where it is headed to. Section three details Blockchain Technology use cases and provides examples of how it can add value to business, economy, trust, transparency and sustainability in diverse industries and belonging applications. Section four contributes as a literature review and reveals how Blockchain Technology and its main futures are utilized in various industries. Section five explains the literature review results whilst contributing by idealizing potential future use cases and the Blockchain Technology evolution.

II. THE CONCEPT OF BLOCKCHAIN

Blockchain was first developed for Bitcoin for recording data and transactions, and it is a decentralised data management technology where it is kept. In his article titled "Bitcoin: Peer-to-Peer Electronic Cash System", published in 2008, Satoshi Nakamoto mentioned a system where two parties can directly transact without a reliable third party are based on cryptography [1].

Bitcoin is the pioneer and first application of blockchain technology and one of the most significant shareholders in its spread. The fact that blockchain technology enables transactions to be made without third parties means that this technology can be used in many sectors and applications.

Blockchain technology is a technology where transactions are made using the cryptography method, and the records of the data are kept scattered. Haber and Stornetta created the first study on cryptic blocks used in blockchain technology [9], and later work by Satoshi Nakamoto in 2008 is accepted as the turning point of the Blockchain [10].

It is expected that the technology will affect many areas of transactions, thanks to the fact that transactions can be performed reliably without the need for third parties. Allowing third parties to disappear can be considered as a cost-benefit for both companies and customers. Some terms, such as peer-to-peer information transfer, confidentiality, trust, and irreversibility provided by blockchain technology, mean that all responsibilities undertaken by third parties can be fulfilled with this technology without any intermediaries [11].

Blockchain has enabled many applications to be further developed, implemented, and used with the technology and infrastructure it offers. While Blockchain is a technology that will pave the way for economic and financial changes globally, it also supports the rapid and safe implementation of new applications in various fields. It is expected to bring significant innovations in many areas, such as health, supply chain, logistics, finance, and accounting [12].

To briefly state various features of Blockchain, irreversibility can be mentioned. Any transaction on a blockchain cannot be reversed or cancelled once other nodes approve it. Blockchain technology uses the distributed registration mechanism, and all nodes involved in the system contain a copy of the entire Blockchain.

Below a figure (see Figure 3) containing the Blockchain mechanism illustrating a non-tempered versus a tempered chain. It is quick to notice that the data has been tempered, and the content has been changed in the continuum, resulting in a complete change in the chain. This illustrates that a single data entry cannot be changed until a difference in all datasets will occur.

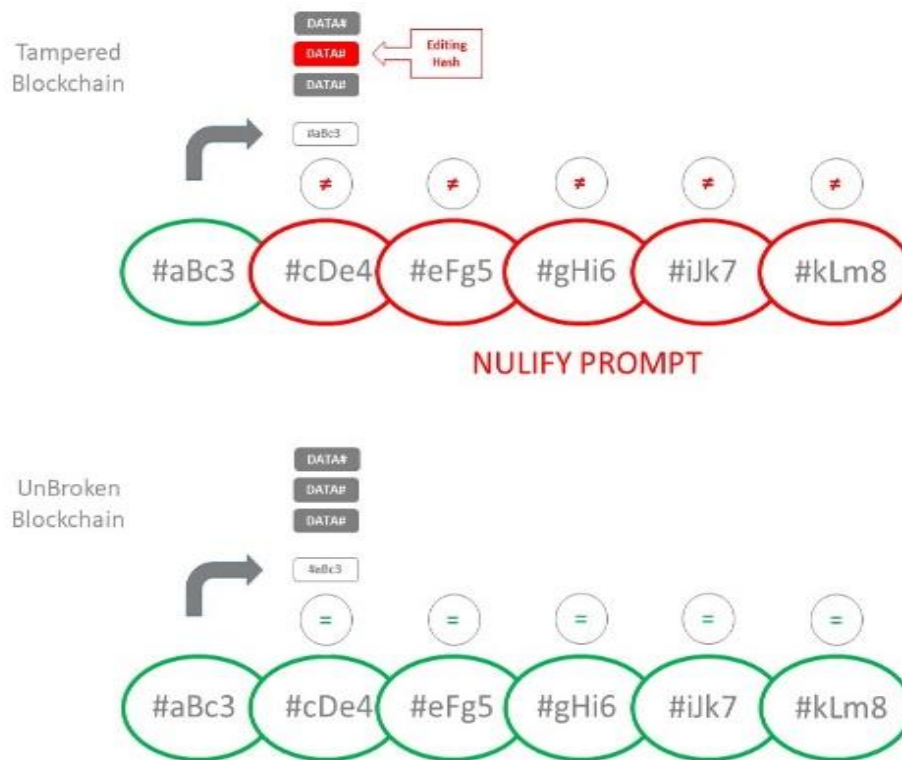


Figure 3. Immutability of Blockchain

Therefore, a transaction cannot be undone after the users included in the chain approve it. Apart from this point of view, it is understood that due to the principle of the Blockchain's irreversibility, the payments made and some similar transactions have definite results. It can also be said that this situation increases the confidence in the transactions to be made in the system [13].

In its peer-to-peer communication model, communication takes place directly between peers without any central regulator. Each peer stores the available information and directs it to other peers [14]. Therefore, data is transmitted between peers rather than from a single centre. The data are distributed and stored between peers. The peer-to-peer communication model offers advantages such as obtaining resources in an interoperable way, decreasing sustainability and distribution costs, and providing privacy and security to peers [15]. Blockchain technology also uses the peer-to-peer communication model. Distributed registration mechanisms, not the need for central authority and confidentiality, characteristic of blockchain technology, are compatible with the peer-to-peer communication model. Today, the development of the Blockchain can be defined in three phases [16].

Blockchain 1.0, also known as the digital money phase, refers to crypto money with money transfer and digital payment applications. Blockchain technologies such as mining, encryption, and block structure are used in crypto coins. Bitcoin, the first cryptocurrency, has preceded the theory as an application [17]. Bitcoin requires minimal transaction fees compared to traditional methods for money transfer and electronic purchases. Bitcoin accounts provide more privacy than credit cards. Traditional currencies rely on a central bank for transactions such as financial regulation and issuing, whereas Bitcoin and other digital currencies use cryptography to secure a fixed money supply. In this way, digital currencies are protected against inflation [18].

Blockchain 2.0, also referred to as the digital economy, covers a wide range of economic and financial applications beyond simple payments and money transfer transactions. Such applications include traditional banking instruments such as loans and mortgages, instruments such as stocks, bonds, futures, and contracts. Smart contracts are used for complex transactions based on such rules. Smart contracts can be expressed as computer programs with specific rules on the blockchain network. Smart contracts

are a blockchain technology whose use has become widespread in recent times. One of the most promising and exciting applications of blockchain technology is smart cities, which include all concepts such as smart management, smart transportation, smart living, smart use of natural resources, and smart economy [19]. It is possible to gain significant opportunities from blockchain technology in the machine to machine communication in the scope of the internet of things [20].

Blockchain 3.0, with significantly broader and more complex applications beyond currencies, is currently emerging [21]. With Blockchain 3.0, people who started developing applications in a wide range of business lines began to encounter a problem over time. Although Smart Contracts provide an excellent convenience in software, it was troublesome to use this data because the data that this software should use was in the outside world, i.e. in systems outside the current blockchain network. With the introduction of alternatives that can be integrated with the data in existing external systems, the concept of Distributed Applications has become apparent. With Blockchain 3.0, a blockchain understanding closer to real-life applications has come up today. Dapps, which we can describe as end-user interaction, smart contracts and blockchain network at the back, will continue to be important topics of the future [22].

Blockchain 4.0, When contemplating and comparing to the older generations historically (see Figure 4), this generation is principally centred on services such as public ledger and distributed databases in real-time. This level has seamless integration of Industry 4.0-based applications. It uses the smart contract, deduces the necessity for paper-based contracts and regulates within the network by its consensus [23].

A business with an immense conception but without a lot of Blockchain exercise can frame, instrument and conduct business Decentralised Applications (Dapps) on a 4.0 Blockchain, without comprehensive Blockchain programmer skills.

That signifies it can frame applications that enclose permissions hierarchies, tolerate to prefer who gets to see what; it can make and take payments inside the app, entirely safe and immutably, automatically recorded; it can enact self-executing contracts for anything from stage deliverables in-house to undertaker payments, and it can do it all inside an app that appears and feels as serviceable and runs as fast as anything noticed on the web.

Those capabilities empower and cause Blockchain 4.0 technology to serve and assist the United Nations Sustainability goals as its urgent need and an engineering challenge in the modern world. Developing smart technologies is an accurate journey to ensure that coming systems are sustainable. Blockchain is a next-generation evolution of information technology for realising sustainability in businesses and industries. Much investigation on blockchain-empowered sustainable manufacturing in Industry 4.0 has been conducted from technical, commercial, organisational, and operational perspectives[24].

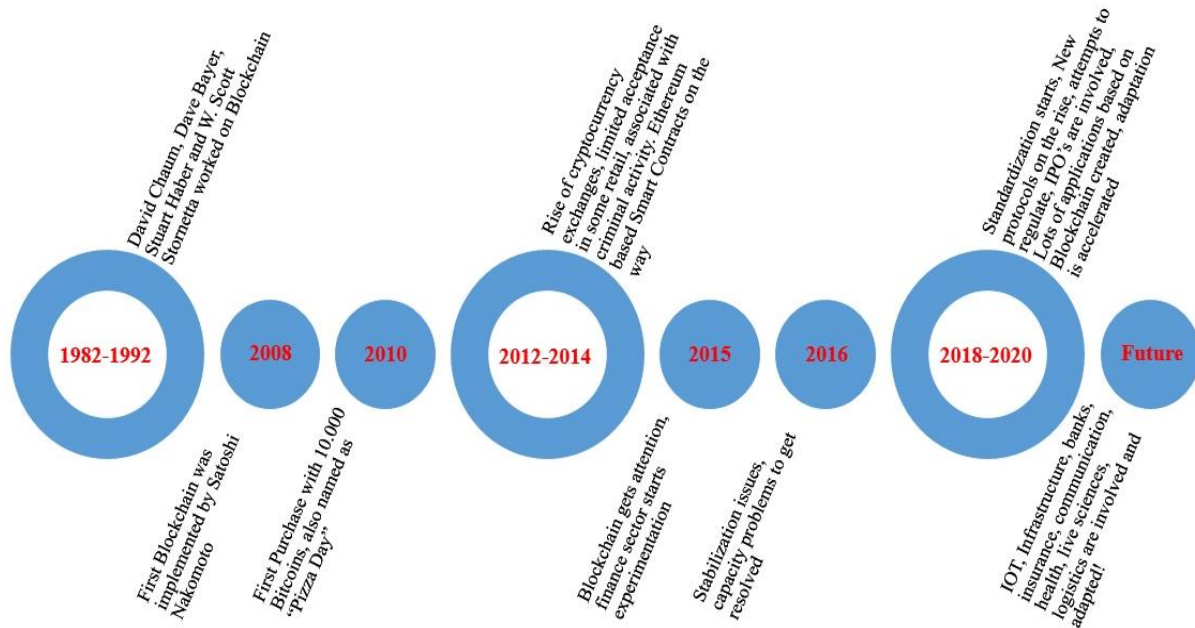


Figure 4. History of Blockchain

From an academic point of view and consideration, when evaluated, it is being observed that the academic publications were quite limited in the year 2015 for both subjects "Bitcoin" and Blockchain. Additionally, the majority of the publications were for "Bitcoin" rather than the technology "Blockchain", which was empowering it (Table 1).

Table 1. Academic keyword search for "Bitcoin" and "Blockchain" 2015-2020

Academic Database	Bitcoin			Blockchain		
	2015	2020	Growth, %	2015	2020	Growth, %
Google Scholar	4.940	16.500	334,0	1790	44300	2.474,9
Science Direct	94	954	1.014,9	19	1862	9.800,0
Jstor	62	93	150,0	17	178	1.047,1
Springer Link	204	2.017	988,7	39	4756	12.194,9

When we consider that five years is a timeframe generally accepted to see changes and evaluations, it is interesting to see and witness the evaluation of the background technology itself, the "Blockchain", instead of its first and most successful application, Bitcoin only now. In the year 2020, we observe that publications containing the subject "Blockchain" definitely increase over the subject "Bitcoin", which is an indicator that the academic and enterprise tension is rising and is heading in the right direction to understand and evaluate the technology to build a sustainable and trustful future.

III. RESEARCH

A. USE OF BLOCKCHAIN IN VARIOUS INDUSTRIES

There are various academic studies in the literature on the applications of blockchain technology. Pilkington [25], by transferring the most advanced applications of Blockchain technology and the basic principles of new application areas, showed the potential of Blockchain to change the nature of the

interface between economic intermediaries as the biggest reason for the disruption of technology and drew attention to the social interest. Davidson et al. [26] argued that Blockchain is more than information and communication technology innovation, and they have put forward the idea that it facilitates a new type of economic organisation and control.

The study suggests that the control approach based on the current corporate economy and the public choice economy is more promising. Catalini and Gans [27] argued that the two significant costs affected by technology are verification and network costs, arguing that the first is related to the ability to verify the properties of a transaction in a cost-friendly way, and the second to the ability to operate a marketplace without the need for a traditional intermediary. They also concluded that the Blockchain offers clear opportunities for new approaches to existing revenue models, reputation systems, and established knowledge. Wust and Gervais [28] analysed three use cases, Supply Chain Management, Interbank and International Payments, and Decentralized Autonomous Organizations, with a structured methodology, examining whether Blockchain is a suitable technical solution for a specific application scenario.

Oh, and Shong [29], in the case study for Blockchain technology, in which they stated that financial institutions in Korea are still in the proof-of-concept phase and they stated that there is not enough accurate measurement data, they revealed that the distributed features of Blockchain could not be fully implemented when developing financial services. Blemus [30] discusses and explains the legal projects that examine Blockchain regulations in the United States and the European Union regarding virtual currencies, smart contracts and initial money offers (ICO). Some of the industries where Blockchain and smart contracts can be helpful will be further discussed in detail below to define the main benefits of their usage in academic papers.

B. SUPPLY CHAIN AND LOGISTICS APPLICATIONS

Recently, Blockchain emerged as a renovated journey of exchanging currency. However, the mechanisms that such technology uses are revolutionising companionable and economic dynamics. Indeed, Gartner ranked Blockchain as one of the top ten strategic technologies for 2020 [31]. However, in that report, the technology-related as in the “Trough of Disillusionment” state, since interest had reduced as proof and implementations failed to realise significant achievement. Despite this, Blockchain can weigh a fresh model of information and data interchange, which is considered crucial in several regions [32]. Therefore, interest has full-grown in many sectors that contain supply chains. One of the most significant considerations for using Blockchain within supply chains is its capableness to have a continually updated, transparent and safe distributed ledger on product tracking [33,34].

The concept of transparency is defined as any information that counter-observers can easily use in its current state. In the idea of a supply chain, the concept of transparency referred to the information contained in a supply network and presented to stakeholders. In this context, the supply chain's information flow can be transformed into a more reliable and transparent form with blockchain technology [35]. One of the underlying reasons blockchain technology attracts excellent attention in sectors such as the supply chain is that it emerges as a solution to the trust problem encountered in classical commercial relations [36].

Blockchain systems make supply chain applications more transparent, reliable, and independent from a central authority. If smart contracts are used in these applications, it will be possible to provide automatisations, transparency, and security. A supply chain is a structure in which many physical flows involving more than one actor and information sharing supporting these flows occur. Throughout this structure and flow, many activities are carried out, starting with the order's receipt and delivering the right product in the correct quantity, in the right conditions, at the right place and time.

The blockchain structure and the supply chain's application architecture show many similarities in these aspects [37]. Blockchain technology provides the opportunity to reduce production and logistics costs significantly, speed up production processes, reduce intermediaries in production processes, and also

prevent fraud in documents and processes. It is also imperative to implement blockchain architecture in the logistics sector in digital document management and product tracking.

This foundational – disruptive - technology does not utilise a central trusted agent for coordination but still grant a shared digital past and register updating between participator who might not unavoidably trust each other. It has been explained to maintain a trustless relationship[38].

Also, the concepts of immutability, transparency, traceability, and trust of blockchain technology can be easily applied in the logistics sector, and the control of products, materials, data, and processes with Blockchain will make outstanding contributions to the logistics industry [39]. (See Figure 5)

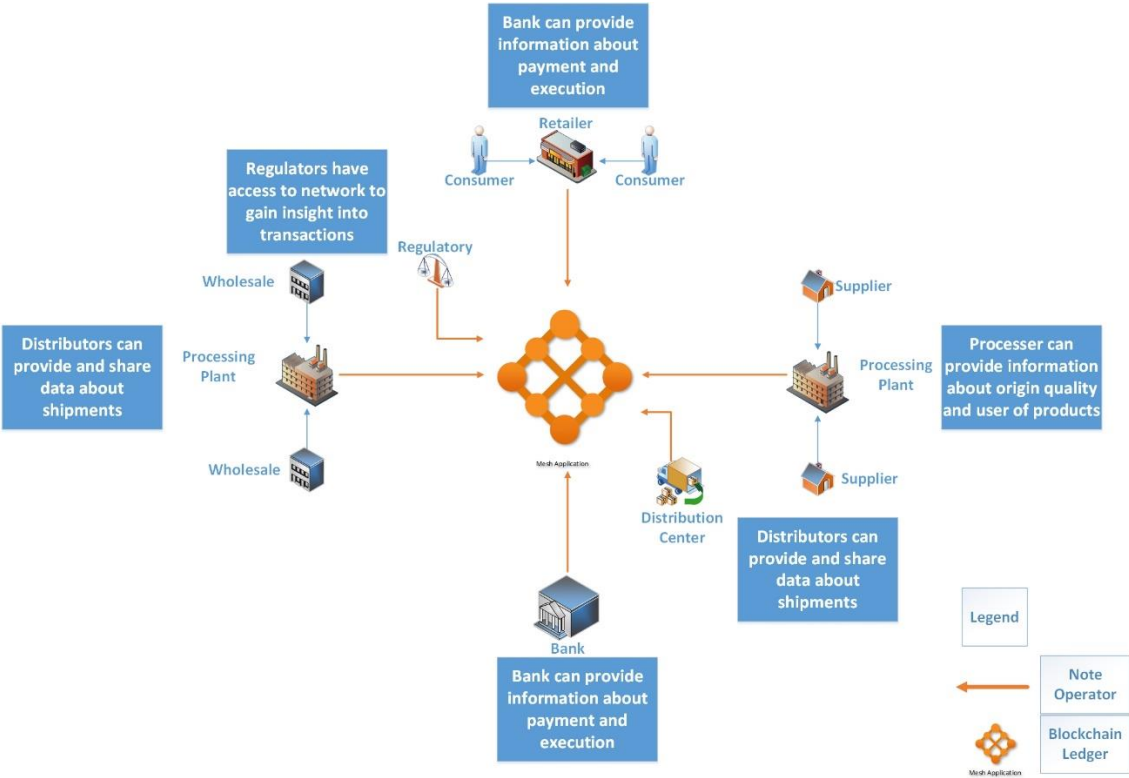


Figure 5. Logistics blockchain ecosystem

With the prominence of traceability, it has been observed that the applications in the supply chain for tracking products such as food, drugs, hazardous materials, sensitive electronic devices that have the risk of deterioration, theft, or forgery in the supply process will also benefit, and various studies have been carried out in this regard. In Jabbar and Bjørn [40] research, the first accepted that Blockchain might not incorporate the shipping area directly.

They suggest using the Infrastructure Grind feature with Blockchain. In this way, they expect an increase in consolidation, permeability, and speed factors compared to traditional methods. Alangot and Archa [41] suggested using Blockchain transportation of drugs. With Blockchain, all parties can hold immutable records of medicines. This way, it is ensured that all records and transactions are correct and in place.

Imeri et al. [42] suggested the use of blockchain transportation and supply chain management. They concluded that the use of this technology would increase information safety and traceability. Mackey and Nayyar [43] also suggested the use of Blockchain in medical transportation. They mentioned that this technology would provide a complementary solution to information sharing and data collection matters. Blockchain not only improves the issues mentioned, and the technology is also designed to solve existing barriers of adoption and implementation.

They concluded that Blockchain investment is essential to ensure the future security and integrity of supply chain management. Madhwal and Panfilov [44] also suggested the use of Blockchain in the aircraft industry. They indicated a transparent network of the supply chain for aircraft's parts would be achieved and decrease the black-market activity risk.

Sadouskaya [45] examined blockchain technology's effects on the supply chain and logistics sectors in her study. In the study in question, some advantages of blockchain technology on the supply chain were providing reliable information about the product to consumers, enabling all parties' participation with a decentralised structure, reducing fraud, minimising product returns, and facilitating payment systems. In the study of Meng et al. [46], investigations were made on intrusion detection systems in the supply chain processes of blockchain technology. The study mentioned that the Blockchain could be used in the supply chain area and that blockchain technology will go beyond the systems currently used and be more efficient to protect against cyber-attacks.

C. HEALTH APPLICATIONS

Recently, thanks to the developed devices and assistive technologies, people can monitor their health from their homes. Blockchain technology is useful in the areas of patient privacy and information storage in a distributed structure. Smart contracts can be used to make these systems more reliable and automated. Depending on the health data results collected or the emerging situations, the necessary actions can be triggered automatically.

Yang et al. [47] suggested using blockchain technology in medical decision-making. They have brought together the patient, cured patient, doctor, and insurance company's experience, skill, and collaborative success rate to bring out a local reference-based consortium via Blockchain. Wang and Song [48] mentioned using Blockchain to achieve confidentiality, authentication, medical data integrity, and support fine-grained access control. They suggested a secure electronic health record (EHR) system based on facilitating the system's management and ensuring the integrity and traceability of medical data. Fan et al. [49], in turn, focused on bringing a standard to data management and sharing policy.

In this way, they would like to ease the process for pharmaceutical scientists to develop precise medicines. They concluded that Blockchain could play a vital part in sensitive medical information sharing. Hyla and Pejaś [50] suggested that Blockchain can promote transparency in data transactions in the medical industry. Blockchain provides a cure that does not necessarily need trusted third parties, works in a distributed environment. (see Figure 6)

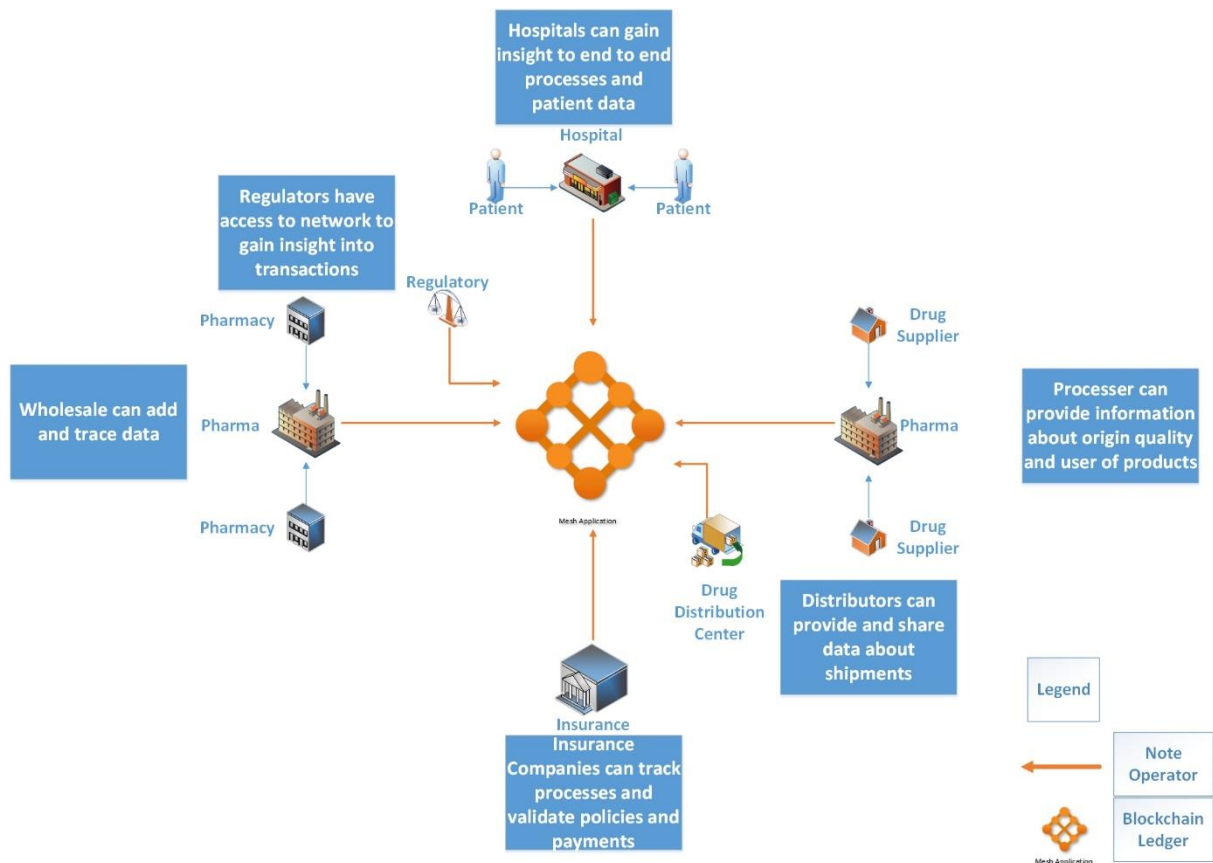


Figure 6. Healthcare blockchain ecosystem

D. INSURANCE APPLICATIONS

Traditional insurance solutions have uncertainties and prolonged results. If smart contracts are implemented by removing delays in the processes, speedy and transparent results can be obtained without a third party's intervention. Kunde et al. [51] and Davis et al. [52] suggested using Blockchain either to solve the problem of unemployment insurance in terms of underwriting or peer-to-peer insurance models to reduce costs and avoid double-spending (Figure 7).

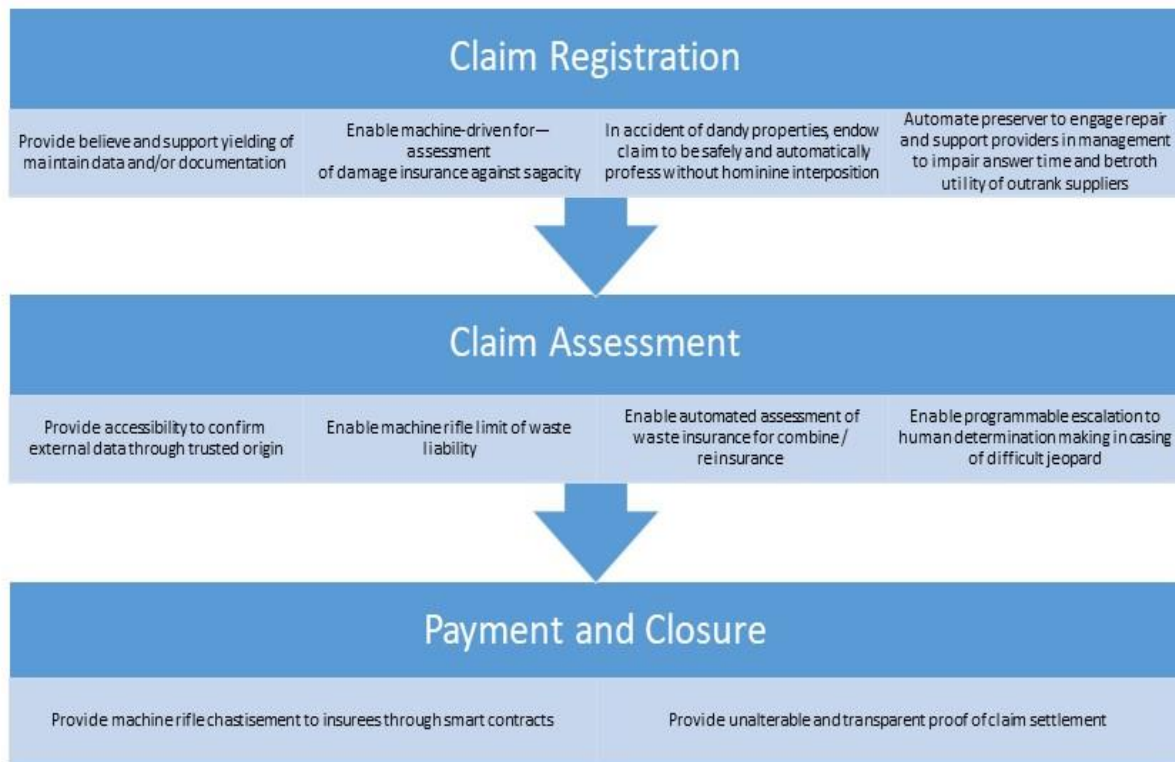


Figure 7. Insurance blockchain ecosystem

E. ACCOUNTING APPLICATIONS

Due to its structure, smart contracts can be used in many financial areas such as checks, loans, and leasing. For the first time, the applicability of the blockchain accounting system was explained by Lazanis [53]. It has been emphasised that if a company voluntarily publishes its transactions on the Blockchain, the Blockchain, in particular, eliminates the need for trust in an intermediary, such as a bank or insurance company.

Another concept used in connection with blockchain accounting is the "worldwide ledger" (WWL). Tapscott and Tapscott [54] defined WWL as a final implementation of a verifiable, auditable and searchable blockchain accounting system where international companies publish all their transactions and make them suitable for regulators, managers, and key stakeholders.

Dai and Vasarhelyi [55] and Hambiralovic and Karlsson [56] suggested that although different concepts related to the blockchain-based accounting system serve the same outputs, the idea of "tripartite accounting system" will be a correct use in practice and the accurate perception of the public. The literature is associated with the tripartite accounting system concept (Triple-Entry Accounting System)

related to the blockchain-based accounting system. In the blockchain-based accounting system, distributed and public records will be created instead of central accounting records. Records will be placed at three different points due to the third accounting record, decentralised and open to everyone, in the Blockchain and the buyer and seller. This decentralised and agentless system also allows the creation of financial statements at any time [57].

A real-time blockchain accounting system will undoubtedly provide transparency, immutability, and accessibility to achieve all technology capabilities for companies and their stakeholders. In this context, the use of Blockchain as a source of trust in accounting processes and the inclusion of the transparency level in the financial regulation and control system will change many aspects of modern accounting. In particular, it will allow data to be easily accessed by many stakeholders and multiple control mechanisms (Figure 8).

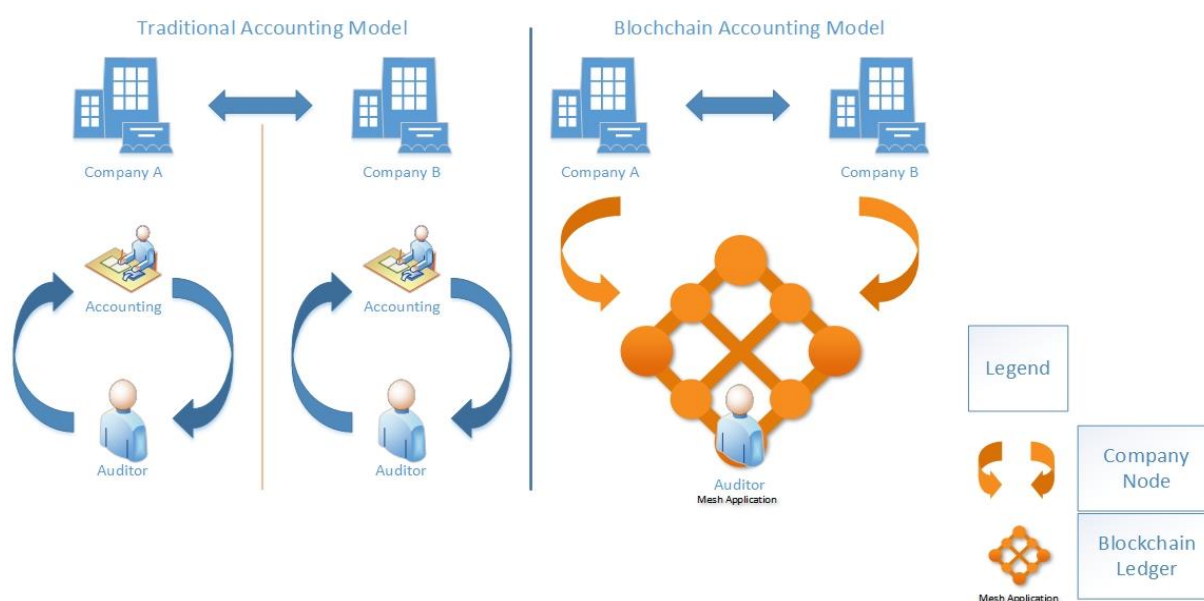


Figure 8. Accounting blockchain ecosystem

F. FINANCE APPLICATIONS

These days, blockchain technology is used for various financial fields, including business, financial assets, foreseeing markets, and transactions [58]. With Blockchain, it is planned to sustain the global economy's development, consumers benefit, more efficient banking system [59].

Peters and Panayi [60] suggested using a financial system for blockchain-enabled applications for financial assets, such as securities, fiat money, and derivative contracts. They mentioned that blockchain technology could be used for central bank treasury ledgers, retail and investment bank ledgers, trading, settlement, and clearing processes.

Although they emphasise the need for blockchain technologies to be carefully considered, they believe that the Blockchain will play an integral part to revolutionise the finance sector. Beck et al. [61] suggested a blockchain technology that offers a significant shift to capital markets and a more utilised method for performing operations like securities and derivatives transactions.

Poon and Buterin [62] proposed a way to use decentralised autonomous applications to promote globally available data services, creating an option for centralised server farms. Lewis et al. [63] suggested that distributed ledger increases the efficiency and security of financial markets. They also added that it could better cooperate between the public and private sectors via improving transparency, trust, information sharing, and audit trails (Figure 9).

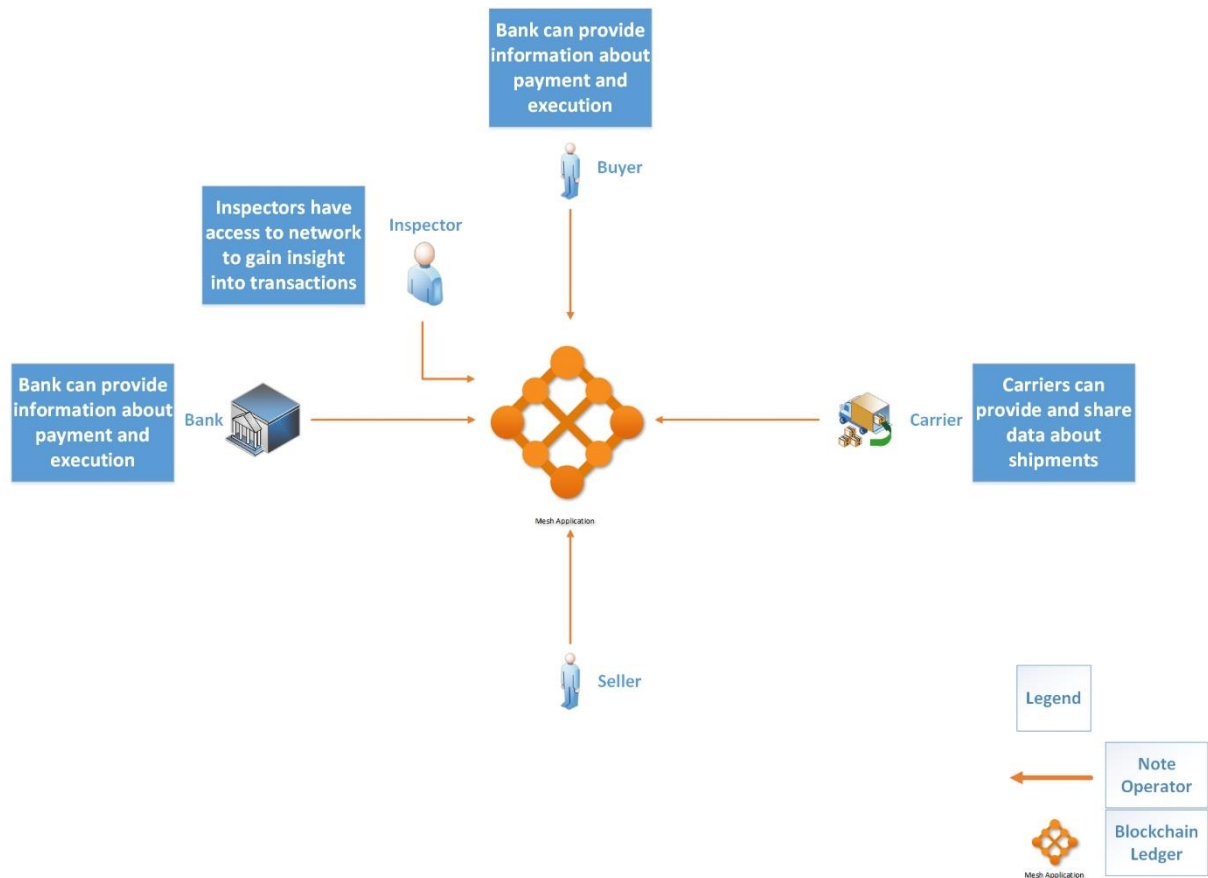


Figure 9. Finance blockchain ecosystem

Blockchain adoption to the financial sector will finally lead to cost savings in financial reporting, compliance, centralised, and business operations [64].

IV. RESULTS

The studies' summary with their contribution to the literature on the advantages of the Blockchain usage of mentioned industries is shown below (Table 2).

Table 2. Summary of the advantages of blockchain usage in some industries (compiled by authors)

Industry	Author	Advantages of the Blockchain usage			
		Transparency	Cost Reduction	Immutability	Trust (Security)
Logistics	Awaysheh et al. [35]	+			
	Hawlitshchek et al. [36]				+
	Bross [39]	+		+	
	Jabbar and Bjørn [40]		+	+	
	Alangot and Archa [41]		+	+	
	Imeri et al. [42]				+
	Nayyar [43]				+
	Madhwal and Panfilov [44]				+
	Sadouskaya [45]		+		+
	Meng et al. [46]		+		+
Health	Yang et al. [47]			+	
	Wang and Song [48]			+	+
	Fan et al. [49]		+		+
	Hyla and Pejaś [50]	+	+		
Insurance	Kunde et al. [51]		+		
	Davis et al. [52]		+		
Accounting	Lazanis [53]				+
	Tapscott and Tapscott [54]	+			
	Dai and Vasarhelyi [55]	+			
	Hambiralovic and Karlsson [56]	+			
	Potekhina and Riumkin [57]	+		+	
Finance	Beck et al. [61]		+		
	Poon and Buterin [62]	+			+
	Lewis et al. [63]				+

In the summary table above, most of the studies in that research considered the advantages of Blockchain: transparency, cost reduction, immutability, trust, and security. As for openness, especially for the studies in the accounting field, everyone can see both their transaction status and the details of all transactions on the Blockchain, ensuring transparency. Cost reduction is also underlined for the health and logistics industry because it increases efficiency, reducing costs. From the aspect of immutability, Blockchain can provide advantages for the logistics industry since it creates a solid frame, especially data records.

It should also be noted that the environmental circumstances of technology and the requirement of new business processes and systems that will be enabling new opportunities require extreme and cutting edge technologies. Those will melt into each other to take complete control of privacy whilst providing total transparency and independence to centrally managed systems and business management.

We do witness that “Artificial Intelligence” and the “Internet of Things” already interface with Blockchain technology to deliver business examples of intelligent sensors providing control and data to business processes and maintaining their privacy totally under control by not belonging to any central authority or control mechanisms. Those inter systems will provide a data flow and exchange between all interconnected systems and tools and help create an “automated decision execution system” without human intellectual and physical contribution, which will stop manipulations.

For example, there is very little notice on the application of this technology to control social sustainability. Social sustainability administration is tough and faces unmatched challenges. For instance, SCC prescribes manufacturer suppliers to keep a faithful record of data on their employees' safety and good. However, when buyers and their auditing agencies recognise potentially egress in suppliers' register, such as wage and leave data, suppliers often handle data to hide noncompliance. Blockchain technology, being used together with the Internet of Things and big data analytics, can transverse such opportunist behaviours by automatise data gathering and recording updates and building tamper-proof record blocks that intercept data manipulation [65].

Finally, for trust and security, Blockchain can provide benefit for logistics, health and finance industries since, as it was stated before, in Blockchain technology, each participant keeps a copy of all records from the start. Since changing these records will cause the summaries to change, most may notice this when the records are changed.

Therefore, the need for a central database is eliminated in a reliable environment. With a distributed database system where everyone can verify, it can be proven that the correct information is kept.

V. CONCLUSION

Blockchain can be expressed as the beginning of a new era in information technologies thanks to its transparency and distributed structure that eliminates central authority. Press, social media, international organisations, the private sector, and public institutions show great interest in Blockchain. When the literature is examined, it is seen that the number of studies on Blockchain has increased rapidly in the last decade. As academic studies and applications in the market grew, some limitations of blockchain technology emerged. Despite the performance and security problems encountered in the widespread use of new technology, Blockchain, the solutions developed to lead to this technology's maturation. Blockchain appears to have more research potential in terms of its current structure, mode of operation, application areas, and the opportunities it promises. It is understood that blockchain technology can change the way the business world does business; it will support removing borders in countries and speak a common language.

Blockchain contributed to the industries in various ways. In this study, the literature has reviewed, and the dimensions of transparency, cost reduction, immutability, security and trust are underlined. It is seen that the majority of the studies emphasised the trust dimension of Blockchain, and also, it clearly stated that it would reduce costs and will create a more transparent environment on both the industry side and even customer side.

Concepts like Circular Economy, Social Sustainability, Servitization, Social Manufacturing, Shared Economy will expand and will be realised with the support of Industry 4.0 and its underlying new generation Blockchain, Internet of Things ad Artificial Intelligence Technologies. In the familiar IoT-enabled world, there is a blast of data present for businesses. Insufficient capabilities of current decision-making techniques limit the abilities of businesses to utilise big data fully. New software tools and techniques should be integrated with intelligent factories and CPS to enable real-time quantification of the ecological impacts of production processes from ubiquitous sources. Sensors can help collect appropriate data, and protocol development for data integration is vital for successfully integrating sustainability principles [66].

This bundle of concepts and technologies will strategically and tactically improve Business and its Sustainability with the data they produce and provide to decision-making systems and respective management levels.

It is understood that after the emergence and development of transparent and accountable technologies that eliminate centralised structures such as Blockchain, the business world must adapt to this change,

and countries need to rearrange themselves, their governments, and laws accordingly. In this context, including new technologies such as Blockchain contribute to developing and better understanding the industries' application area mentioned in the study.

We are highly optimistic about a coming blockchain utopia that leads and protects humanity with what we define as DPoSEGr “Decentralised Privatisation of Social, Economic, and Governmental Relationships” This will enable us to set duplex relationships “between our private and safe ourselves“ with the remaining social surrounding what we call “trustless others“.

This future and disrupting technology will govern privacy and anonymity as information and data will become the main economic driver. We assume that more and more beings will realise the truth and value of their own “naturally self-generated data“ and its importance and keep private data safe and available only for the ones that permission is given for a reason.

A robust, shared, circular economy will form around this idea; it will gain soft control of regulations and transform it to SSR & SSI “Social-Self-Regulation“ and “Self-Sovereign Identity“, which will boost the economy, create a new “p2p“ ecosystem, support sustainability and transparency as well reform trust in society.

ACKNOWLEDGEMENTS: We would like to show our appreciation and extend special thanks to Mrs Özlem Özdemir Adıgüzel (M.Sc.Project and Program Management) for her contribution to manuscript structuring, formatting, style and consistency.

VI. REFERENCES

- [1] S. Nakamoto, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,” Bitcoin.org, 2008. [Online]. Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. [Accessed: 22-Jan-2021].
- [2] S. M. Fitzpatrick and S. McKeon, “Banking on Stone Money: Ancient Antecedents to Bitcoin,” *Economic Anthropology*, vol. 7, no. 1, pp. 7–21, Jun. 2019.
- [3] S. Liu, “Blockchain technology market size worldwide 2018-2025,” Statista, 09-Jun-2020. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/647231/worldwide-blockchain-technology-market-size/>. [Accessed: 22-Jan-2021].
- [4] Global Industry Analysts, “Global Blockchain Technology Industry,” Report Linker, Sep-2020. [Online]. Available: https://www.reportlinker.com/p05443600/Global-Blockchain-Technology-Industry.html?utm_source=GNW. [Accessed: 22-Jan-2021].
- [5] Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future: UN Documents Gathering a Body of Global Agreements, document A/42/427, United Nations, New York, NY, USA, 1987. [Online]. Available: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- [6] R. Cole, M. Stevenson and J. Aitken, “Blockchain technology: Implications for operations and supply chain management”, *Supply Chain Management*. vol. 24, no. 4, pp. 469–483, Jun. 2019, doi: 10.1108/scm-09-2018-0309.
- [7] F. Michelino, A. Cammarano, A. Celone and M. Caputo, “The linkage between sustainability and innovation performance in IT hardware sector”, *Sustainability*, vol. 11, no. 16, pp. 4275, 2019, doi: 10.3390/su11164275.

- [8] A. Upadhyay, S. Mukhuty, V. Kumar, and Y. Kazancoglu, "Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility", *Journal of Cleaner Production*, vol. 293, 126130, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126130.
- [9] S. Haber and W. S. Stornetta, "How to time-stamp a digital document. presented at the *In Conference on the Theory and Application of Cryptography*," Heidelberg, Berlin, Springer, *J.Cryptology*, vol. 3, no. 2, pp. 437–455, Jan. 1991.
- [10] M. Nofer, P. Gomber, O. Hinz, and D. Schiereck, "Blockchain," *Business Information Systems Engineering*, vol. 59, no. 3, pp. 183–187, Mar. 2017.
- [11] M. Crosby, P. Pattanayak, S. Verma, V. Kalyanaraman, and Nachiappan "Blockchain technology: Beyond bitcoin." *Applied Innovation Review*, vol. 2, no. 6-10, p. 71, 2016.
- [12] S. Underwood, "Blockchain beyond bitcoin," *Communications of the ACM*, vol. 59, no. 11, pp. 15-17, Oct. 2016.
- [13] D. Yaga, P. Mell, N. Roby, and K. Scarfone, "Blockchain technology overview," *National Institute of Standards and Technology*, Oct. 2018.
- [14] V. Morabito, *Business Innovation Through Blockchain The B³ Perspective*. Springer International Publishing, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-48478-5.
- [15] D. S. Milojevic, V. Kalogeraki, R. Lukose, K. Nagaraja, J. Pruyne, S. Rollins, and Z. Xu, "Peer-to-Peer Computing," in *HP Laboratories Palo Alto*, 2002, vol. 57.
- [16] J. L. Zhao, S. Fan, and J. Yan, "Overview of business innovations and research opportunities in blockchain and introduction to the special issue," *Financial Innovation*, vol. 2, no. 1, Dec. 2016, doi: 10.1186/s40854-016-0049-2.
- [17] A. Narayanan, J. Bonneau, E. Felten, A. Miller, and S. Goldfeder, *Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction*. Princeton University Press, 2016.
- [18] T. Moore, "The promise and perils of digital currencies", *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 6, no. 3-4, pp. 147-149, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.ijcip.2013.08.002.
- [19] J. Sun, J. Yan, and K. Z. K. Zhang, "Blockchain-based sharing services: What blockchain technology can contribute to smart cities," *Financial Innovation*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, Dec. 2016, doi: 10.1186/s40854-016-0040-y.
- [20] J. J. Sikorski, J. Haughton, and M. Kraft, "Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market," *Applied Energy*, vol. 195, pp. 234–246, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.03.039.
- [21] M. Swan, *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2015.
- [22] M. C. Yücel, "Blockchain Evrimi ve Blockchain 3.0," Medium, 25-Dec-2017. [Online]. Available: <https://medium.com/blockchainturk/blockchain-evrimi-ve-blockchain-3-0-4f1af18ef619>. [Accessed: 22-Jan-2021].
- [23] M. Holland, J. Stjepandić and C. Nigischer, "Intellectual Property Protection of 3D Print Supply Chain with Blockchain Technology," presented at the *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, Stuttgart, 2018, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICE.2018.8436315.

- [24] J. Leng et al., “Blockchain-empowered sustainable manufacturing and product lifecycle management in industry 4.0: A survey,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 132, 110112, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110112.
- [25] M. Pilkington, “Blockchain technology: principles and applications,” *Research Handbook on Digital Transformations*. Edward Elgar Publishing, pp. 225–253, doi: 10.4337/9781784717766.00019.
- [26] S. Davidson, P. De Filippi, and J. Potts, “Economics of Blockchain,” *SSRN Journal*, 2016, doi: 10.2139/ssrn.2744751.
- [27] C. Catalini and J. S. Gans, “Some Simple Economics of the Blockchain.” *SSRN Journal*, 2016, doi: 10.2139/ssrn.2874598.
- [28] K. Wust and A. Gervais, “Do you Need a Blockchain?,” presented at the *2018 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT)*, ETH Zurich / Switzerland, Jun. 2018, doi: 10.1109/cvcbt.2018.00011.
- [29] J. Oh and I. Shong, “A case study on business model innovations using Blockchain: focusing on financial institutions,” *APJIE*, vol. 11, no. 3, pp. 335–344, Dec. 2017, doi: 10.1108/apjie-12-2017-038.
- [30] S. Blemus, “Law and Blockchain: A Legal Perspective on Current Regulatory Trends Worldwide,” *SSRN Journal*, 2018, doi: 10.2139/ssrn.3080639.
- [31] D. Cearley, N. Jones, D. Smith, B. Burke, A. Chandrasekaran, C. Lu, et al., “Gartner top 10 strategic technology trends for 2020—smarter with gartner”, *Gartner*, Oct. 2019, [online] Available: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2020/>.
- [32] M. Caputo, E. Lamberti, A. Cammarano and F. Michelino, “Investigating technological strategy and relevance of knowledge domains in R&D collaborations” *International Journal of Technology Management*, vol. 79, pp. 60–83, 2019, [Online]. Available: <https://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=96534>. [Accessed: 13- Apr- 2021].
- [33] D. Ivanov, A. Dolgui, and B. Sokolov, “The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics,” *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 3, pp. 829–846, Jun. 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1488086.
- [34] J. Astill et al., “Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions,” *Trends in Food Science & Technology*, vol. 91, pp. 240–247, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.tifs.2019.07.024.
- [35] A. Awaysheh and R. D. Klassen, “The impact of supply chain structure on the use of supplier socially responsible practices,” *International Journal of Operation & Production Management*, vol. 30, no. 12, pp. 1246–1268, Nov. 2010, doi: 10.1108/01443571011094253.
- [36] F. Hawlitschek, B. Notheisen, and T. Teubner, “The limits of trust-free systems: A literature review on blockchain technology and trust in the sharing economy,” *Electronic Commerce Research and Applications*, vol. 29, pp. 50–63, May 2018, doi: 10.1016/j.elerap.2018.03.005.
- [37] J.P Rodrigue, “Efficiency and Sustainability in Multimodal Supply Chains,” presented at the *International Transport Forum Discussion Papers*. Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), Oct. 17, 2018, doi: 10.1787/12f93f71-en.
- [38] C. A. Bai, J. Cordeiro, and J. Sarkis, “Blockchain technology: Business, strategy, the environment, and sustainability,” *Bus Strat Env*, vol. 29, no. 1, pp. 321–322, 2019, doi: 10.1002/bse.2431.

- [39] P. Bross, "The potentials of Blockchain technology in logistics," M.S. thesis, Informatics, Jönköping University, Jönköping, Sweden, 2017.
- [40] K. Jabbar and P. Bjørn, "Infrastructural Grind: Introducing blockchain technology in the shipping domain," presented at the *GROUP '18: 2018 ACM Conference on Supporting Groupwork*, Jan. 2018, pp. 297–308, Jan 2018, doi: 10.1145/3148330.3148345.
- [41] Archa, B. Alangot, and K. Achuthan, "Trace and Track: Enhanced Pharma Supply Chain Infrastructure to Prevent Fraud," in *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, Springer International Publishing, 2017, pp. 189–195.
- [42] A. Imeri, C. Feltus, D. Khadraoui, N. Agoulmine, and D. Nicolas, "Solving the trust issues in the process of transportation of dangerous goods by using blockchain technology," presented at the *SIN '18: 11th International Conference On Security Of Information and Networks*, Sep. 2018, pp. 1-2, doi: 10.1145/3264437.3264470.
- [43] T. K. Mackey and G. Nayyar, "A review of existing and emerging digital technologies to combat the global trade in fake medicines," *Expert Opinion on Drug Safety*, vol. 16, no. 5, pp. 587–602, Apr. 2017, doi: 10.1080/14740338.2017.1313227.
- [44] Y. Madhwal and P. Panfilov, "Blockchain And Supply Chain Management: Aircrafts' Parts' Business Case," in *DAAAM Proceedings*, DAAAM International Vienna, 2017, vol. 6, pp. 1051–1056.
- [45] K. Sadouskaya, "Adoption of blockchain technology in supply chain and logistics," B.S. thesis, Business Logistics, South-Eastern Finland University of Applied Sciences, Kouvola, Finland 2017.
- [46] W. Meng, E. W. Tischhauser, Q. Wang, Y. Wang, and J. Han, "When Intrusion Detection Meets Blockchain Technology: A Review," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 10179–10188, 2018, doi: 10.1109/access.2018.2799854.
- [47] R. Yang, F. R. Yu, P. Si, Z. Yang, and Y. Zhang, "Integrated Blockchain and Edge Computing Systems: A Survey, Some Research Issues and Challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 2, pp., 1508–1532, 2019, doi: 10.1109/comst.2019.2894727.
- [48] H. Wang and Y. Song, "Secure Cloud-Based EHR System Using Attribute-Based Cryptosystem and Blockchain," *Journal of Medical Systems*, vol. 42, no. 8, pp. 152, Jul. 2018, doi: 10.1007/s10916-018-0994-6.
- [49] K. Fan, S. Wang, Y. Ren, H. Li, and Y. Yang, "MedBlock: Efficient and Secure Medical Data Sharing Via Blockchain," *Journal of Medical Systems*, vol. 42, no. 8, pp. 136, Jun. 2018, doi: 10.1007/s10916-018-0993-7.
- [50] T. Hyla and J. Pejaś, "eHealth Integrity Model Based on Permissioned Blockchain," *Future Internet*, vol. 11, no. 3, p. 76, Mar. 2019, doi: 10.3390/fi11030076.
- [51] T. Kunde, S. Herfurth, and J. M. Plath, "Friendsurance: The P2P Insurance Concept," 2017. [Online]. Available: <https://www.friendsurance.com/>. [Accessed: 24-Jan-2021].
- [52] J. Davis, "Peer to Peer Insurance on an Ethereum Blockchain, General Consideration of the Fundamentals of Peer to Peer Insurance," *Dynamisapp* 2018, [Online]. Available: <http://www.dynamisapp.com/whitepaper>. [Accessed: 22-Jan-2021].
- [53] R. Lazanis, "How Technology Behind Bitcoin Could Transform Accounting As We Know It," *Born Digital*, 22-Jan-2015. [Online]. Available: <https://www.borndigital.com/2015/01/22/how->

technology-behind-bitcoin-could-transform-accounting-as-we-know-it-2015-01-22. [Accessed: 22-Jan-2021].

[54] D. Tapscott and A. Tapscott, "The Impact of the Blockchain Goes Beyond Financial Services," *Harvard Business Review*, vol 10, no 2, 10-May-2016. [Online]. Available: <https://hbr.org/2016/05/the-impact-of-the-blockchain-goes-beyond-financial-services>. [Accessed: 22-Jan-2021].

[55] J. Dai and M. A. Vasarhelyi, "Toward Blockchain-Based Accounting and Assurance," *Journal of Information Systems*, vol. 31, no. 3, pp. 5–21, Jun. 2017, doi: 10.2308/isis-51804.

[56] M. Hambiralovic and R. Karlsson, "Blockchain Accounting in a Triple-Entry System - Its Implications on the Firm and its Stakeholders, a Case Study on the Request Network," B.S. thesis, Business Administration, Lund University, Lund, Sweden, 2018.

[57] A. Potekhina and I. Riumkin, "Blockchain – a new accounting paradigm : Implications for credit risk management", " M.S. thesis, Business Administration, Umeå School of Business and Economics, Umeå, Sweden, 2017.

[58] M. Haferkorn and J. M. Q. Diaz, "Seasonality and interconnectivity within cryptocurrencies— An analysis on the basis of Bitcoin, Litecoin and Namecoin," in *Enterprise Applications and Services in the Finance Industry*. Cham, Switzerland: Springer, Dec 2014.

[59] Q. K. Nguyen, "Blockchain - A Financial Technology for Future Sustainable Development," presented at the *2016 3rd International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)*, IEEE, pp. 51–54, Nov. 2016, doi: 10.1109/gtsd.2016.22.

[60] G. W. Peters and E. Panayi, "Understanding Modern Banking Ledgers through Blockchain Technologies: Future of Transaction Processing and Smart Contracts on the Internet of Money," *SSRN Journal*, 2015, doi: 10.2139/ssrn.2692487.

[61] R. Beck, J. Stenum Czepluch, N. Lollike, and S. Malone, "Blockchain – The Gateway to Trust-Free Cryptographic Transactions," in *Proceedings of the Twenty-Fourth European Conf. On Information Systems (ECIS)*, pp. 1–14 Springer Publishing Company, 2016.

[62] J. Poon and V. Buterin, "Plasma : Scalable Autonomous Smart Contracts Scalable Multi-Party Computation," pp. 1–47, 2017. [Online]. Available: <https://plasma.io/plasma.pdf>

[63] R. Lewis, J. McPartland, and R. Ranjan, "Blockchain and Financial Market Innovation," *Economic Perspectives*, vol. 7, no. 41, pp. 1–17, 2017.

[64] Accenture Consulting, "Banking on Blockchain. A value analysis for investment banks," Accenture, 2017. [Online]. Available: https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Consulting/Accenture-Banking-on-Blockchain.pdf. [Accessed: 22-Jan-2021].

[65] V. G. Venkatesh, K. Kang, B. Wang, R. Y. Zhong, and A. Zhang, "System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 63, 101896, 2020, doi: 10.1016/j.rcim.2019.101896.

[66] B. Esmailian, J. Sarkis, K. Lewis, and S. Behdad, "Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 163, 105064, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105064.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Şantiyede Çalışan İşçilerin Çalışma Koşullarıyla İlgili Algılarının Değerlendirilmesi, Düzce İli Örneği

 Hüseyin BAYRAKTAR^{a,*}

^a *Yapı Ressamlığı Programı, Kaynaşlı MYO, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

^{*} *Sorumlu yazarın e-posta adresi: huseyinbayraktar@duzce.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.754929

ÖZ

Düzce merkezde 2014 ve 2019 yıllarında farklı yerlerde bulunan rastgele seçilen şantiyelerde farklı alanlarda çalışan 71 işçi ile yüz yüze görüşme yoluyla anketler uygulanmıştır. Anketlerde işçilere yaş, memleket, medeni durum, aldıkları ücret, çalıştıkları alan, çalışma süreleri, alan eğitimleri, iş güvenliği ve deprem farkındalığı gibi sorular yöneltilmiştir. Nitel ve nicel bulguların elde edildiği çalışmada işçilerin genel profilini ve çalışma koşullarını irdeleyen 2014 ve 2019 yılı anket sonuçları karşılaştırmalı olarak tablo ve grafik yoluyla yazı içeriğinde verilmektedir.

Anahtar kelimeler: *Düzce, Şantiye, İşçi profili, Çalışma koşulları*

Evaluation of Perceptions of Workers Working at The Construction Site Regarding Working Conditions, Example of Düzce Province

ABSTRACT

Questionnaires were conducted through face-to-face interviews with 71 workers working in different fields at randomly selected building sites located in different locations in the center of Düzce in 2014 and 2019. In the surveys, questions such as age, hometown, marital status, wages received, the area they work, their working time, field training, job security and earthquake awareness were asked. In the study, where qualitative and quantitative findings are obtained, the survey results of 2014 and 2019, which examine the general profile of the workers and the working conditions, are presented comparatively via tables and graphics.

Keywords: *Düzce, Building site, Workers profile, Working conditions*

I. GİRİŞ

İnşaata başlamadan önce arsa seçimi yapıp proje çalışmalarına geçilmektedir. Proje çalışmaları ofis içerisinde yapılan birinci aşama işlemleri kapsamaktadır. Daha sonra ilgili kurum tarafından onaylanan projenin seçilen arsaya tatbiki yani ikinci aşamaya geçilmektedir. Yükleniciye yer teslimi yapıldıktan sonra şantiye kurulumu için hazırlıklara başlanılmaktadır. İnşaat işinin büyüklüğüne göre şantiyenin kapsamı belirlenmektedir. Büyük inşaatlarda kurulan şantiyelerde işçiler için kalma yerleri, idari birimler, depo, silo vb planlanırken küçük inşaatlarda kurulan şantiyelerde ise sadece inşaat için kullanılacak malzemeler için yer gibi daha basit bir düzen oluşturulmaktadır. İnşaat yapımının ikinci aşaması projede bulunan en, boy ve yükseklik ölçülerinin gerçek yerinde yani arsada işçiler tarafından tatbikinin gerçekleştirilmesidir. Yapım işiyle birlikte bina yükseklik kazanmaya başlar. Binanın gerçek boyutlarına getirilmesinde işçiler önemli görev üstlenmektedirler. Kalıpların hazırlanmasında, donatının projeye uygun düzenlenmesinde, betonun yerleştirilmesinde, duvarların örülmesi ve diğer ince işlerin yapılmasında işçilerin bina oluşumunda büyük bir rolü vardır. Bu denli önemli görevleri üstlenen işçilerin iş güvenliği, ekonomik olarak tatmini, konforlu barınma alanları ve huzurlu bir iş ortamının oluşturulması gibi imkanların yükleniciler tarafından sağlanması gerekmektedir. İşçilere yeterli özen gösterilmediğinde işçilerin işe olan adaptasyonları azalabilmektedir. Aynı zamanda işçilerin alanlarında tecrübeli olması, alanları ile ilgili gerekli eğitimleri almaları ve ilgili kurumlar tarafından işçilerin alanları ile ilgili uygulamalı eğitimler, iş güvenliği vb konularda eğitim almalarının sağlanması yapılacak inşaatların daha özenli ve sağlam yapılmasında önemli etkenler olacaktır.

İnşaat işi ağır ve uzun sürebilen bir iş koludur. Bu yüzden inşaatta çalışan işçiler genelde genç nüfus işçilerden oluşmaktadır. İnşaat işinde risklerde bir hayli çoktur. İş makinelerine dayalı çalışma, kalıp ve iş iskelesi kurulumu için yüksek katlarda bulunma, ağır yük kaldırma gibi birçok tehlike doğurabilecek alanlar bulunmaktadır. Bu yüzden inşaatta işçi sağlığı ve iş güvenliği önemli bir bölümü oluşturmaktadır. Ülkemizde büyük inşaat firmalarının artması ve yurt dışı firmalarla işbirliği işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunu daha da önem kazanmıştır [1]. İşyerlerindeki işçi sağlığı alanında yapılacaklar ilgili kamu kurumlarının sorumluluğunda gerekli mevzuat ve etkin denetimlerle yürütülmelidir [2]. İşçi sağlığı ve iş güvenliğinin doğru uygulanması sadece devletin görevi olmayıp işveren ve işçilerinde bu konuda gerekli özeni göstermesi gerekmektedir [3]. Ekonomik gelirin büyük bölümünü çalıştığı inşaatlarda elde eden işçilerin olası iş kazasında tekrar çalışmama riskleri oluşabilmektedir. Bu durum geçimini inşaat sektöründen sağlayan işçinin hem kendisi hem de ailesi açısından zor bir duruma neden olabilecektir. İş güvenliği ve işçi sağlığı konusuna her anlamda dikkat edilmesi gerekmektedir.

II. YÖNTEM

Çalışmada Düzce merkezde rastgele seçilen şantiyelerde toplam 71 işçi ile yüz yüze görüşme yapılarak daha önce hazırlanan anketlerle yapılandırılmış görüşme tekniği uygulanmıştır. Yapılandırılmış görüşme tekniğinde sadece önceden hazırlanan sorular anket yapılan kişilere sorulmaktadır [4]. Çalışma 2014 yılında ve 2019 yılında yaz döneminde inşaat işinin yoğun olduğu dönemde yapılmıştır. 2014 ve 2019 yılı anket sonuçları karşılaştırılarak verilerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmada 2019 yılında anket sorularına verilen yanıtlarla 2014 yılında aynı anket sorularına verilen yanıtlar kullanılmıştır. Bu sayede Düzce’de inşaatın ikinci aşaması yani uygulama aşaması şantiye-işçi bağlamında incelenmiştir.

Çalışmada 21 sorudan oluşan anket örneği uygulanmıştır. Anketin ilk sorularında işçilerin demografik bilgileri, sonraki sorularda ekonomik gelir, sigorta, alanla ilgili eğitimler, son sorularda ise iş güvenliği ve depremle ilgili sorular yöneltilmiştir. Tartışma ve bulgular bölümünde anketlerde yer alan tüm soruların analizleri ayrıntılı olarak verilmektedir.

III. TARTIŞMA VE BULGULAR

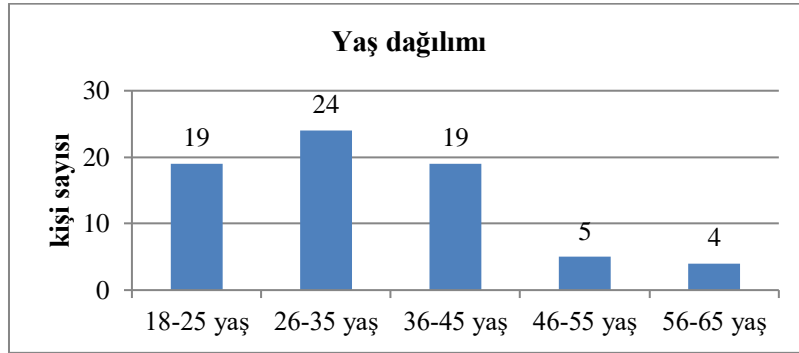
A. YAŞ ARALIĞI

Ankette ilk olarak yaş aralığı belirlenmiştir. Anket sonuçlarında beş aralıkta yaş dağılımı çıkmıştır (Tablo 1). Şantiyelerde 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerin % 33.8'inin 26-35 yaş arası işçilerden oluştuğu belirlenmiştir. Daha sonra % 26.7'si 18-25 yaş arası ve 36-45 yaş arası işçilerden oluşmuştur. Şantiyelerde çalışanların genelde genç yaş guruplarından oluştuğu anlaşılmıştır (Şekil 1).

Tablo 1. İşçilerde yaş aralığı dağılımı (2014 ve 2019 yılı)

Yaş aralığı (2019 yılı)	Kişi sayısı	Yaş aralığı (2014 yılı)	Kişi sayısı
18-25 yaş arası	19	18-25 yaş arası	9
26-35 yaş arası	24	26-35 yaş arası	21
36-45 yaş arası	19	36-45 yaş arası	20
46-55 yaş arası	5	46-55 yaş arası	14
56-65 yaş arası	4	56-65 yaş arası	3

2014 yılında aynı anket soruları yöneltilerek yapılan çalışmada yaş dağılımlarının 2019 yılı ile benzer dağılım gösterdiği görülmektedir (Tablo 1). 2019 yılında 18-25 yaş aralığı işçilerin biraz daha arttığı, 46-55 yaş arası işçilerin ise azaldığı anlaşılmıştır.



Şekil 1. Yaş dağılımlarının yaş aralıklarına göre dağılımı (2019 yılı)

B. MEDENİ DURUM

İşçilerin medeni durumuna bakıldığında 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerden % 73.2'sinin evli, % 26.7'sinin ise bekar olduğu görülmüştür. İşçilerin genelde evli oldukları ve evlerine gelir getirmek amacıyla inşaat alanında çalıştıkları anlaşılmıştır. 2014 yılında yapılan çalışmada ise işçilerden % 84.5'inin evli, % 15.4'ünün bekar olduğu belirlenmiştir. 2019 yılında yaş aralığının düşmesi bekar sayısının artmasında etken olduğu görülmüştür (Tablo 2).

Tablo 2. İşçilerin medeni durumu (2014 ve 2019 yılı)

Medeni durum (2019 yılı)	Kişi sayısı	Medeni durum (2014 yılı)	Kişi sayısı
Evli	52	Evli	60
Bekar	19	Bekar	11

C. EĞİTİM DURUMU

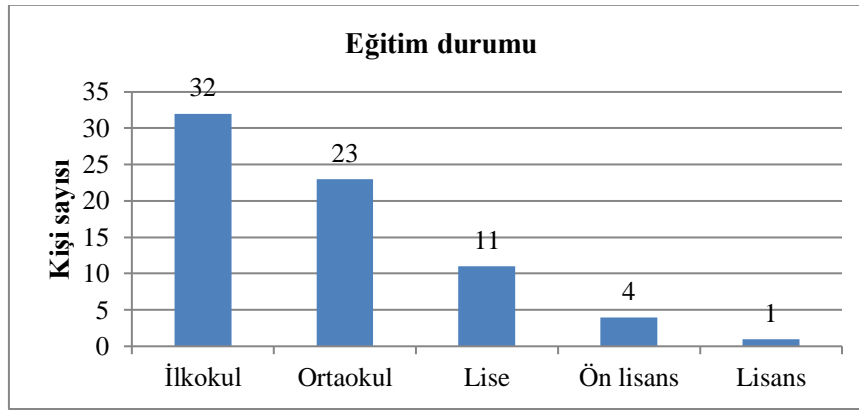
İnşaat alanında çalışan işçilerin eğitilmiş olmaları projelerin anlaşılmasında ve tatbikinde önemlidir. Şantiyelerde yapılan 2019 yılı anket çalışmasında işçilerin ağırlıklı olarak ilkokul mezunu oldukları

anlaşılmıştır. 32 işçinin ilkökul, 23 işçinin ortaokul, 11 işçinin lise mezunu olduğu anlaşılmıştır. Aynı zamanda şantiyelerde 4'ü ön lisans, 1'i lisans olmak üzere toplam 5 işçinin yüksek öğretim mezunu olduğu görülmüştür.

Tablo 3. İşçilerin eğitim durumları (2014 ve 2019 yılı)

Eğitim durumu (2019 yılı)	Kişi sayısı	Eğitim durumu (2014 yılı)	Kişi sayısı
İlkokul mezunu	32	İlkokul mezunu	51
Ortaokul mezunu	23	Ortaokul mezunu	7
Lise mezunu	11	Lise mezunu	12
Ön lisans mezunu	4	Ön lisans mezunu	0
Lisans mezunu	1	Lisans mezunu	0

2014 yılında yapılan çalışma sonucunda ise ilkökul mezununun 51, ortaokul mezununun 7, lise mezununun ise 12 kişi olduğu belirlenmiştir. 2019 yılında ilkökul mezununun azaldığı, ortaokul mezununun arttığı, lise mezununun neredeyse aynı olduğu, 2014 yılından farklı olarak 2019 yılında 5 kişinin yüksek öğretim mezunu olduğudur. 2019 yılına gelindiğinde işçilerin eğitim seviyelerinin arttığı görülmüştür (Tablo 3).



Şekil 2. İşçilerin eğitim durumları (2019 yılı)

Şekil 2'de 2019 yılında şantiyelerde yapılan çalışmada işçilerin eğitim durumlarının dağılımları grafiksel olarak verilmiştir. Grafikte ilkökul ile ortaokul seviyesinde işçilerin birbirine yakın sayıda oldukları ve onları lise mezunlarının izlediği görülmektedir. Aynı zamanda 5 üniversite mezunu çalışan bulunmaktadır.

D. SOSYAL GÜVENCE

İşçilerin sosyal güvenlik sistemine dahil olmaları hak ve aynı zamanda bir yükümlülüktür. Çalışmaya başlayanlar kanunen mutlaka sosyal güvenlik sistemine dahil olmak zorundadır. İşçilerin işe alımlarında hiçbir gerekçe gösterilmeden sigortalı olarak çalıştırılmaları işçilerin en doğal haklarıdır.

Tablo 4. İşçilerin sosyal güvencesi (2014 ve 2019 yılı)

Sosyal güvence (2019 yılı)	Kişi sayısı	Sosyal güvence (2014 yılı)	Kişi sayısı
Var	68	Var	63
Yok	3	Yok	8

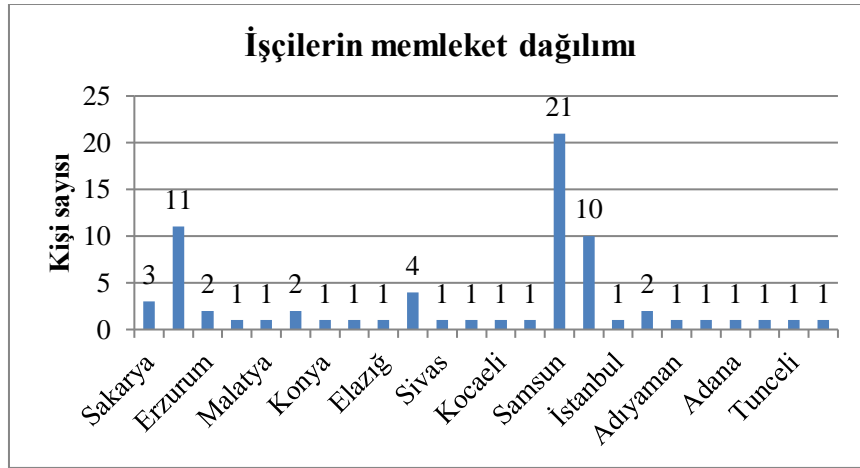
2019 yılında işçilerin % 95.7'sinin sigortalı olduğu, % 4.3'ünün ise sigortalı olmadığı anlaşılmıştır. 2014 yılında ise işçilerden % 88.7'sinin sigortalı olduğu, % 11.3'ünün ise sigortasının olmadığı belirlenmiştir. 2019 yılında sigortalı işçilerin arttığı, sigortası olmayanların ise azaldığı görülmüştür (Tablo 4).

E. MEMLEKET DAĞILIMI

Tablo 5’de Düzce’de rastgele seçilen şantiyelerde işçilerin 2014 yılı ve 2019 yılı memleket dağılımları yer almaktadır. 2014 yılında memleket dağılımları 18’er kişi ile en çok Düzce ve Ağrı iken, 2019 yılında ise 21 kişi ile en çok Samsun ilindedir. 2019 yılına bakıldığında 2014 yılına göre işlerin daha fazla ve farklı illerden geldiği anlaşılmaktadır. 2014 yılında 10 farklı ilden işçiler yer alırken, 2019 yılında 24 ilden işçilerin olduğu görülmüştür. Şekil 3’de 2019 yılı yapılan çalışmada işçilerin memleket dağılımları grafiksel olarak verilmektedir.

Tablo 5. Şantiyelerde çalışan işçilerin memleketleri (2014 ve 2019 yılı)

Memleketi (2019 yılı)				Memleketi (2014 yılı)	
Sakarya (3)	Ağrı (11)	Erzurum (2)	Ardahan (1)	Düzce (18)	Trabzon (15)
Malatya (1)	Muş (2)	Konya (1)	Diyarbakır (1)	Tokat (1)	Zonguldak (1)
Elazığ (1)	Van (4)	Sivas (1)	Muğla (1)	Samsun (8)	Ağrı (18)
Kocaeli (1)	Çanakkale(1)	Düzce (10)	Samsun (21)	Kars (2)	Iğdır (2)
İstanbul (1)	Çorum (2)	Adıyaman (1)	Hakkari (1)	Erzurum (5)	Sivas (1)
Adana (1)	Bingöl (1)	Tunceli (1)	Siirt (1)		



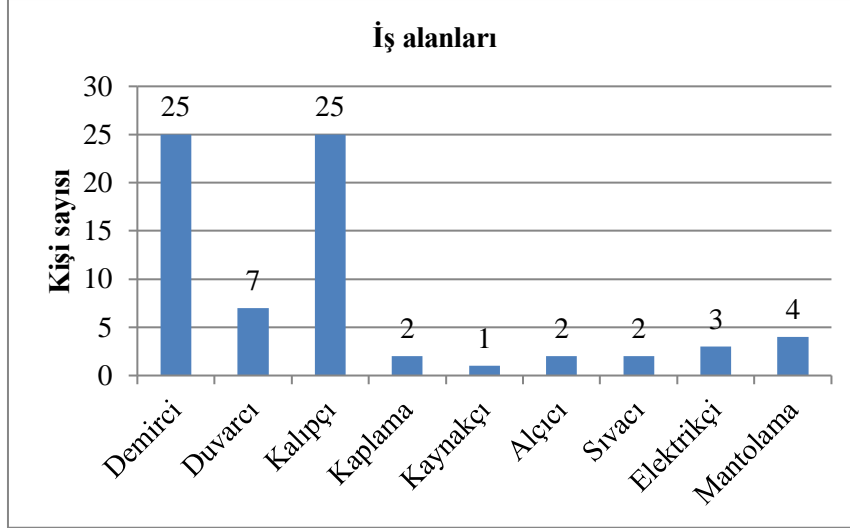
Şekil 3. İşçilerin memleket dağılımları (2019 yılı)

F. ÇALIŞTIKLARI İŞ ALANLARI

Tablo 6’da 2014 ve 2019 yılı işçilerin farklı alanlarda çalıştıkları iş alanları verilmektedir. 2019 yılında yapılan çalışmada demirci ve kalıpcı işçilerin çoğunlukta olduğu görülürken, 2014 yılında kalıpcı ve duvarcı işçilerin çoğunlukta olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4’de işçilerin çalıştıkları iş alanlarının 2019 yılı dağılımı görülmektedir.

Tablo 6. İşçilerin çalıştıkları alanlar (2014 yılı ve 2019 yılı)

Çalıştığı alan (2019 yılı)	Kişi sayısı	Çalıştığı alan (2014 yılı)	Kişi sayısı
Demirci	25	Demirci	3
Duvarcı	7	Duvarcı	13
Kalıpcı	25	Kalıpcı	16
Kaplama	2	Kaplama	3
Kaynakçı	1	Kaynakçı	0
Alçıcı	2	Alçıcı	6
Sıvacı	2	Sıvacı	9
Elektrikçi	3	Elektrikçi	3
Mantolama	4	Mantolama	5



Şekil 4. İşçilerin çalıştıkları iş alanları dağılımı (2019 yılı)

G. ÜCRET DAĞILIMLARI

İşçilerin şantiyelerde aylık olarak aldıkları ücretler 2019 yılı için Tablo 7’de, 2014 yılı için Tablo 8’de verilmektedir. Ücretin yıllara göre farklılık göstermesinden dolayı 2014 yılı ile 2019 yılı ücret anlamında karşılaştırma yapılmamıştır. Sadece iki farklı yıla ait tablolar verilmiştir.

Tablo 7. 2019 yılı işçilerin aylık gelirleri

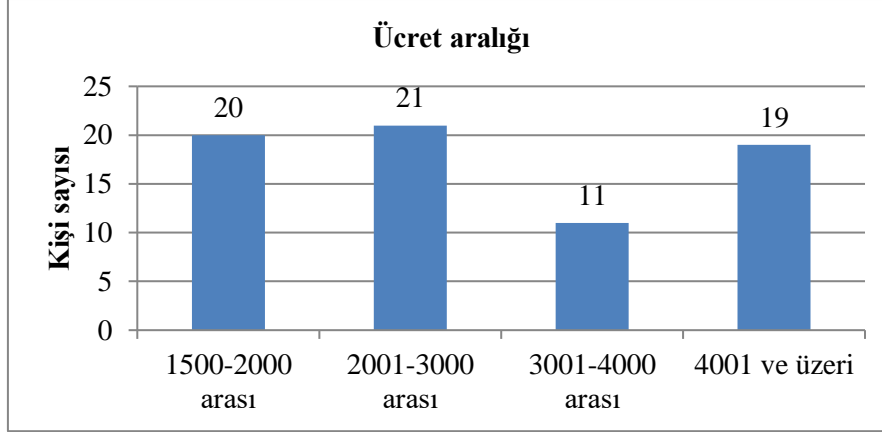
Aylık geliriniz (2019 yılı)	Kişi sayısı
1500-2000 arası	20
2001-3000 arası	21
3001-4000 arası	11
4001 ve üzeri	19

Tablo 7’de şantiyede çalışan işçilerin 2019 yılı aldıkları ücretler dört kategoride verilmiştir. İşçilerin % 57.7’si 1500 ila 3000 TL arasında ücret aldıkları görülürken, % 26.7’sinin 4000 TL üzerinde ücret aldığı görülmektedir. Şekil 5’te 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerin aldıkları ücretlerin grafiksel gösterimi verilmektedir.

Tablo 8. 2014 yılı işçilerin aylık gelirleri

Aylık geliriniz	Kişi sayısı
Değişken	1
1000 altında	9
1000-1500 arası	38
1501-2000 arası	17
2001-3000 arası	6
3001 ve üzeri	0

Tablo 8’de 2014 yılına ait altı kategoride cevaplar alınmıştır. 2014 yılında yapılan çalışmada işçilerin % 77.4’ünün ağırlıklı olarak 1000 ila 2000 TL arasında ücret aldıkları görülmektedir. 2014 yılında yapılan çalışmada 3000 TL üzeri ücret alan işçilere hiç rastlanılmamıştır.



Şekil 5. 2019 yılı araştırma yapılan şantiyelerde işçilerin aldıkları ücretler

Tablo 9’da 2014 yılında ve 2019 yılında şantiyelerde yapılan araştırma çalışmasında işçilere çalıştıkları firmalardan aldıkları ücretlerin yeterli olup olmadığı sorusu yöneltilmiştir. Yapılan iki çalışmada da neredeyse aynı sonuçlar elde edilmiştir. İşçilerin büyük bir kısmı % 70’i çalıştıkları gün ve saate göre aldıkları ücretin yeterli olmadığını belirtmektedir.

Tablo 9. Çalışılan firmada alınan ücretin yeterlilik durumu (2014 yılı ve 2019 yılı)

Gelirinizi yeterli buluyor musunuz? (2019 yılı)/Kişi sayısı	Gelirinizi yeterli buluyor musunuz? (2014 yılı)/Kişi sayısı
Evet/21	Evet/18
Hayır/50	Hayır/53

İşçilerin çalıştıkları şirketten aldıkları ücretin yeterliliği sorulduktan sonra talep ettikleri ücret sorusu yöneltilmiştir. 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerin 21’i talebinin olmadığını aldığı ücretin yeterli olduğu kanaatindedir. Diğer işçiler ücreti yeterli bulmayıp farklı ücretler talep etmektedir. İşçilerin % 40.8’i 5000 veya 6000 TL ve üzeri ücret talebinde bulunmuştur (Tablo 10).

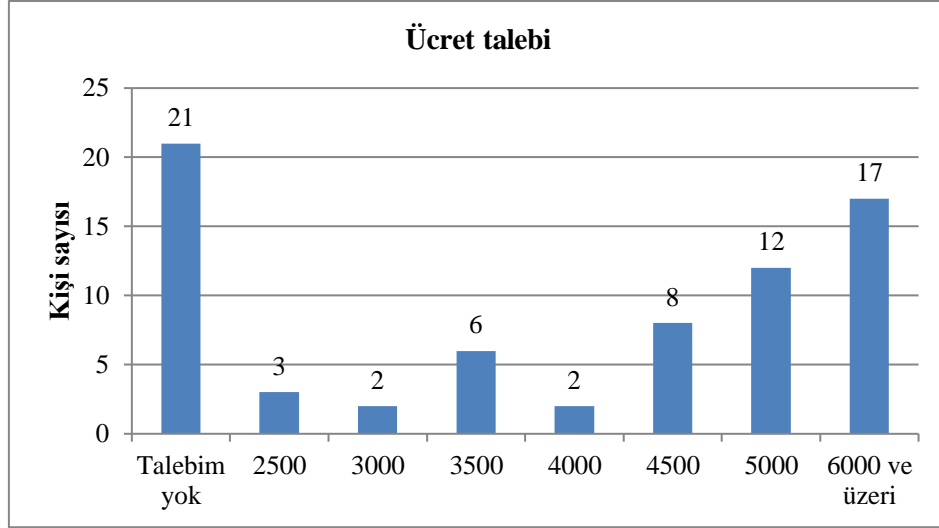
Tablo 10. İşçilerin talep ettiği ücret dağılımı (2019 yılı)

Talep ettiğiniz ücret	Kişi sayısı
Talebim yok	21
2500 ile 3500 arası	11
4000 ile 5000 arası	22
6000 ve üzeri	17

2014 yılında yapılan çalışmada ise işçilerden 17’si talebinin olmadığını belirtmektedir. Diğer işçilerden büyük bir kısmı ise 2000 TL, 2500 TL ve 3000 TL ücret talebinde bulunmuştur (Tablo 11).

Tablo 11. İşçilerin talep ettiği ücret dağılımı (2014 yılı)

Talep ettiğiniz ücret	Kişi sayısı
Talebim yok	17
Askeri ücret	1
1000 ile 2000 arası	20
2500 ile 3000 arası	19
5000 ve üzeri	4



Şekil 6. 2019 yılı araştırma yapılan şantiyelerde işçilerin talep ettikleri ücretler

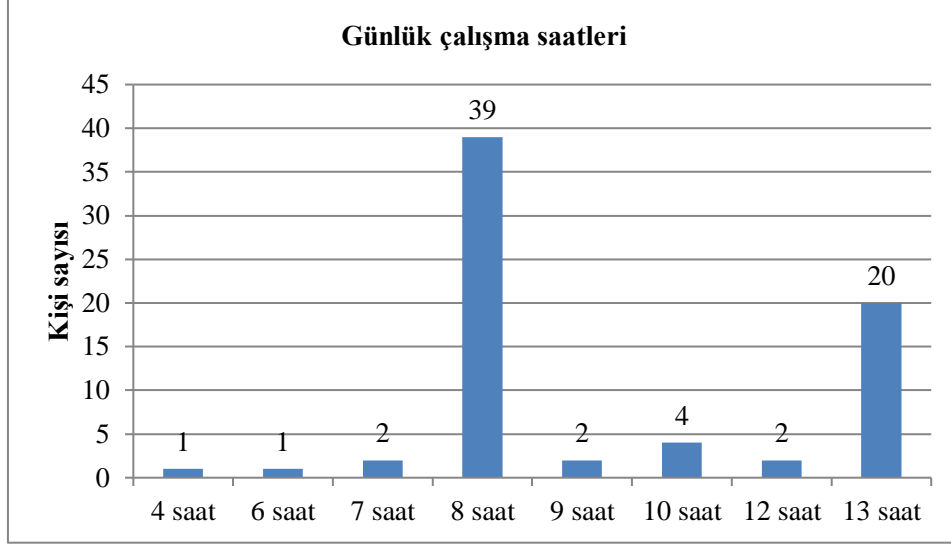
2019 yılında talep edilen ücretlerin grafiksel gösterimi Şekil 6'da verilmektedir. Talep edilen ücretler genelde 4500, 5000, 6000 ve üzeri ücretler işçilerden tarafından istenen ücretlerdir.

H. ÇALIŞMA SÜRELERİ

Ücretlerle ilgili sorulardan sonra işçilere günde kaç saat çalıştıkları sorusu yöneltilmiştir. 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerin % 54.9'u günde 8 saat çalıştıklarını belirtmektedir. Çalışılan en uzun saat günde 13 saattir. İşçilerden % 28.1'i günde 13 saat çalıştıklarını belirtmektedir (Tablo 12). İnşaat işi gibi ağır bir işte günde 13 saat çalışmak yorucu ve güç bir duruma yani iş verimliliğinin düşmesine neden olabilmektedir.

Tablo 12. İşçilerin günlük çalıştıkları saatler (2019 yılı)

Günde kaç saat çalışıyorsunuz	Kişi sayısı
4	1
6	1
7	2
8	39
9	2
10	4
12	2
13	20



Şekil 7. 2019 yılı araştırma yapılan şantiyelerde işçilerin günlük çalışma saatleri

Şekil 7’de 2019 yılında işçilerin şantiyelerde günlük çalışma saatleri grafiksel olarak gösterilmektedir. Günlük en az 4 saat, en çok 8 ve 13 saat olmak üzere işçilerin 4 ile 13 saat aralığında farklı saatlerde çalıştıkları görülmektedir.

Tablo 13. İşçilerin günlük çalıştıkları saatler (2014 yılı)

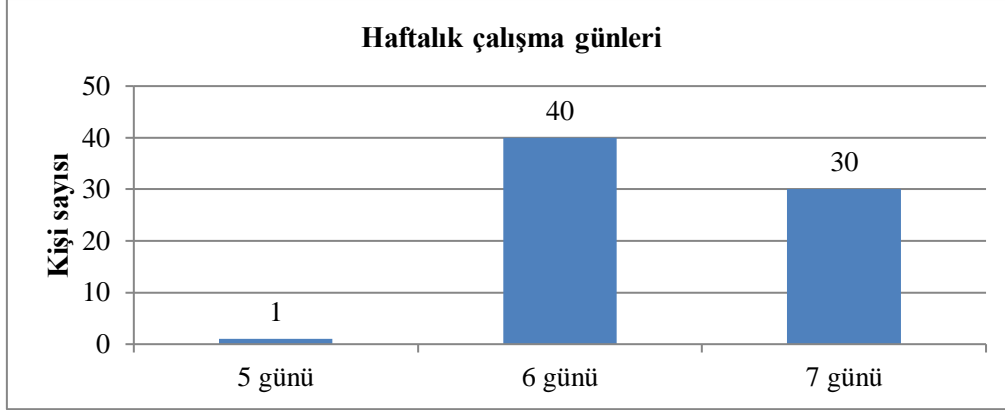
Günde kaç saat çalışıyorsunuz	Kişi sayısı
Belirsiz	1
8	31
9	15
10	15
12	9

Tablo 13’de 2014 yılında yapılan çalışmada işçilerin günlük çalışma saatleri verilmektedir. 2014 yılında işçilerden % 43.6’sı günde 8 saat, % 21.1’i 9 saat, % 21.1’i 10 saat ve % 12.6’sı ise günde 12 saat çalıştığını belirtmektedir.

Tablo 14. İşçilerin haftalık çalıştıkları gün sayısı (2014 yılı ve 2019 yılı)

Haftada kaç gün çalışıyorsunuz(2019 yılı)	Kişi sayısı	Haftada kaç gün çalışıyorsunuz(2014 yılı)	Kişi sayısı
5	1	5	6
6	40	6	40
7	30	7	25

2019 yılında yapılan çalışmada işçilerin günlük çalışma saatlerinden sonra haftanın kaç günü çalıştıkları sorusu yöneltilmiştir. Alınan cevaplarda işçilerin % 56.3’ü yani 40 kişi haftanın 6 günü, % 42.2’si yani 30 işçi ise haftanın 7 günü çalıştığını belirtmektedir. Sadece 1 kişi haftanın 5 günü çalıştığını söylemiştir. 2014 yılında ise işçilerden % 8.4’ü yani 6 kişi haftanın 5 günü, %56.3’ü yani 40 kişi haftanın 6 günü ve % 35.2’si yani 25 kişi ise haftanın 7 günü çalıştıklarını belirtmiştir (Tablo 14).



Şekil 8. 2019 yılı araştırma yapılan şantiyelerde işçilerin haftalık çalışma gün sayıları

İnşaat işleri ağırlıklı olarak yaz aylarında yapılmaktadır. Yaz aylarında havanın açık olması inşaat işleri bakımından elverişli zaman dilimini oluşturmaktadır. Fakat yaz ayları genelde 3 ya da 4 ay gibi kısa bir zaman dilimini kapsadığından çalışma gün ve saatleri yoğun olabilmektedir. Bu durum işçilerin neredeyse dinlenmeden her gün inşaat işleri ile ilgilenmelerini beraberinde getirmektedir. Şekil 8’de 2019 yılı yapılan çalışmada işçilerin büyük çoğunluğunun haftanın ya 6 günü ya da 7 günü çalıştığı görülmektedir.

Tablo 15. İşçilerin alanlarında çalıştıkları süreler (2019 yılı)

Alanınızda ne zamandır çalışıyorsunuz	Kişi sayısı
1 yıl ile 5 yıl arası	19
6 yıl ile 12 yıl arası	27
13 yıl ile 20 yıl arası	14
22 yıl ile 40 yıl arası	11

2019 yılında yapılan çalışmada işçilere alanınızda ne kadar süredir çalışıyorsunuz sorusu yöneltilmiştir. Alınan cevaplarda çok farklı zaman dilimleri cevap olarak alınmıştır. İşçilerden en az 1 yıldan en çok 40 yıla kadar iş tecrübelerinin olduğu anlaşılmıştır. Çalışmada işçilerin ağırlıkları olarak tecrübelerinin 5 yıl ile 10 yıl zaman aralığında olduğudur (Tablo 15).

Tablo 16. İşçilerin alanlarında çalıştıkları süreler (2014 yılı)

Alanınızda ne zamandır çalışıyorsunuz	Kişi sayısı
Belirsiz	1
6 ay ile 2 yıl arası	8
3 yıl ile 7 yıl arası	12
10 yıl ile 15 yıl arası	18
19 yıl ile 25 yıl arası	19
27 yıl ile 33 yıl arası	10
35 yıl ile 41 yıl arası	3

2014 yılında yapılan çalışmada işçilerin 6 aydan 41 yıla kadar farklı zaman dilimlerinde iş tecrübeleri olduğu belirlenmiştir. İnşaat işine küçük yaşta girenlerin iş tecrübeleri daha fazla olmaktadır (Tablo 16).

I.BARINMA OLANAKLARI

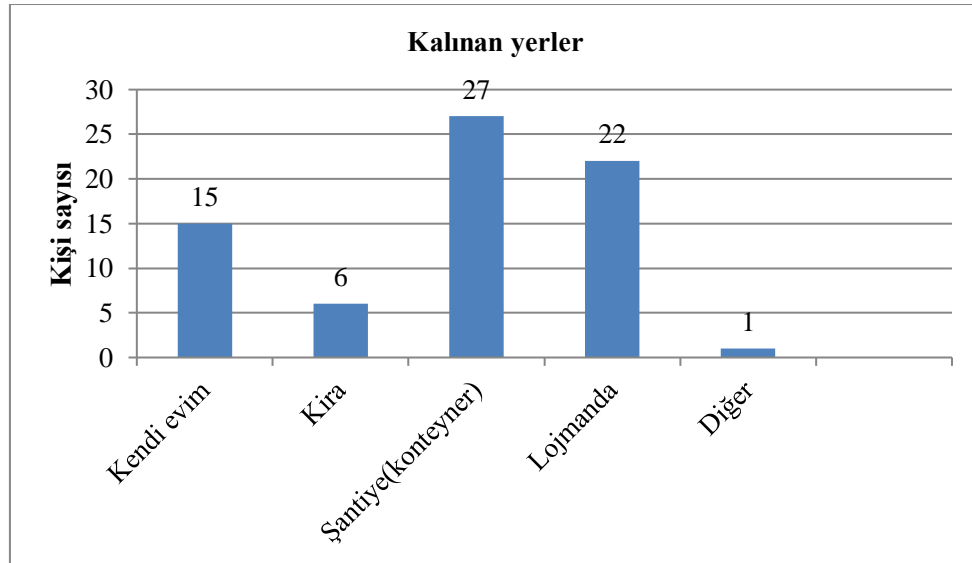
Şantiyede çalışan işçilerin çalışma ortamlarının huzurlu ve rahat olması onların işlerine olan adaptasyonlarını artırabilecektir. Özellikle işçilerin ağır inşaat işlerinden sonra dinlenebilecekleri rahat

ve huzurlu ortamlar sağlanmalıdır. Ankette işçilere nerede kaldıkları ile ilgili soru yöneltilmiştir. 2014 ve 2019 yılında yapılan çalışmada işçilere nerede kaldıkları ile ilgili 5 kategoride sorular yöneltilmiştir. Bunlar kendi evim, kira, şantiye (konteyner), lojman ve diğer olmak üzere 5 farklı cevap alınmıştır (Tablo 17). 2019 yılında yapılan çalışmada 15 kişi kendi evinde, 6 kişi kirada, 27 kişi şantiyede kurulan konteynerde, 22 kişi lojmanda ve 1 kişi ise bunların dışında bir yerde kaldığını belirtmektedir. Genelde Düzceli işçiler kendi evlerinde kalırken dışarıdan gelenler çoğunlukla şantiyede ya da firmaya ait lojman olarak kullanılan bir binada kaldıklarını belirtmişlerdir. 2014 yılında yapılan çalışmada 38 işçi kendi evinde, 27 işçi kirada, 5 işçi şantiyede (konteyner), 1 kişi bu seçeneklerin dışında kaldıklarını söylemişlerdir. Düzceli işçilerin çoğunlukta olması nedeniyle kendi evinde kalanların sayısının daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 17. İşçilerin nerede kaldıkları (2014 yılı ve 2019 yılı)

Nerede kalıyorsunuz (2019 yılı)	Kişi sayısı	Nerede kalıyorsunuz (2014 yılı)	Kişi sayısı
Kendi evim	15	Kendi evim	38
Kira	6	Kira	27
Şantiye(konteyner)	27	Şantiye(konteyner)	5
Lojmanda	22	Lojmanda	0
Diğer (misafirhane, yurt vb)	1	Diğer (misafirhane, yurt vb)	1

Şekil 9’da 2019 yılında yapılan çalışmaya göre işçilerin kaldıkları yerler grafik olarak verilmektedir. İşçilerin ağırlıklı olarak Düzce ili dışından oldukları için en fazla şantiyede kurulan konteynerde ve çalıştıkları firma tarafından sağlanan lojmanda kaldıkları belirlenmiştir.



Şekil 9. 2019 yılı araştırma yapılan şantiyelerde işçilerin kaldıkları yerler

İ. ALAN EĞİTİMLERİ

Ülkemizde de diğer gelişmiş ülkelerde olduğu gibi sektör sınıflandırmaları sistemleri ile bunun önüne geçilebilir [5]. Çalışanların alan bilgilerinin belirlenmesi ve belirli kurumlar tarafından kayıt altına alınması sayesinde alan bilgisi belli olmayan karışık düzenden uzaklaşmış olacaktır.

İşçilerin alanları ile ilgili belirli bir kurum ya da kuruluştan alacakları eğitimler onların işe uyumlarını kolaylaştıracaktır. Aynı zamanda yaptıkları işte tecrübe kazanmalarını sağlayacaktır. Ankette işçilere daha önce alanınızla ilgili herhangi bir kuruluştan eğitim alıp almadıkları sorusu yöneltilmiştir. 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerin % 21.1’i daha önce alanıyla ilgili eğitim aldığını söylerken, % 78.9’u herhangi bir eğitim almadan usta çırak ilişkisiyle yetiştiğini belirtmiştir. İşçiler daha önce farklı

illerde Halk Eğitimlerde, Meslek Lisesinde, firmalarda vb yerlerde alanları ile ilgili eğitim aldıklarını belirtmektedirler (Tablo 18).

Tablo 18. İşçilerin alanları ile ilgili eğitimleri (2019 yılı)

Alanınızla ilgili eğitim aldınız mı?	Kişi sayısı
Evet	15
Hayır	56

2014 yılında yapılan çalışmada işçilerden % 32.3'ü alanı ile ilgili eğitim aldığını, % 67.6'sı ise alanıyla ilgili eğitim almadığını belirtmiştir. Eğitim alanların genelde Halk Eğitim merkezlerinde eğitim aldıkları görülmektedir (Tablo 19). Her ilde bulunan Halk Eğitim merkezlerinin işçilerin alanları ile ilgili eğitim almalarında önemli görevler üstlendiği anlaşılmaktadır. Fakat kısa süreli eğitimler işçilerin tecrübe kazanması için yeterli germeyecektir.

Tablo 19. İşçilerin alanları ile ilgili eğitimleri (2014 yılı)

Alanınızla ilgili eğitim aldınız mı?	Kişi sayısı
Evet	23
Hayır	48

İşçilere alanınızla ilgili eğitim almak istemisiniz sorusu yöneltildiğinde 2014 yılında yapılan çalışmada ve 2019 yılında yapılan çalışmada da işçilerin büyük çoğunluğu alanı ile ilgili eğitim almak istemediklerini belirtmektedir (Tablo 20). Çalışma saatlerinin yoğunluğu ve iş kaybetme kaygısı genelde işçilerin hayır cevabına yönelmelerine neden olabilmektedir. 2019 yılında yapılan çalışmada eğitim almak istemeyenlerin sayısı 2014 yılına göre artmıştır.

Tablo 20. İşçilerin alanları ile ilgili eğitim alma istekleri (2014 yılı ve 2019 yılı)

Alanınızda eğitim ister misiniz?(2019 yılı)	Kişi sayısı	Alanınızda eğitim ister misiniz?(2014 yılı)	Kişi sayısı
Evet	2	Evet	16
Hayır	69	Hayır	55

Tablo 21'de işçilerin buldukları firmada ne kadar süredir çalıştıkları zaman dilimleri yer almaktadır. 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerin 15 günden 6 yıla varan farklı sürelerde çalıştıkları anlaşılmıştır. İnşaat sezonun genelde yaz aylarına denk gelmesi işçilerin sezonluk iş bulmalarına neden olabilmektedir. Bu nedenle çalışanların genelde 1 yılı doldurmayan işçilerden oluştuğu belirlenmiştir.

Tablo 21. İşçilerin çalıştıkları iş yerinde ne kadar süredir çalıştıkları (2019 yılı)

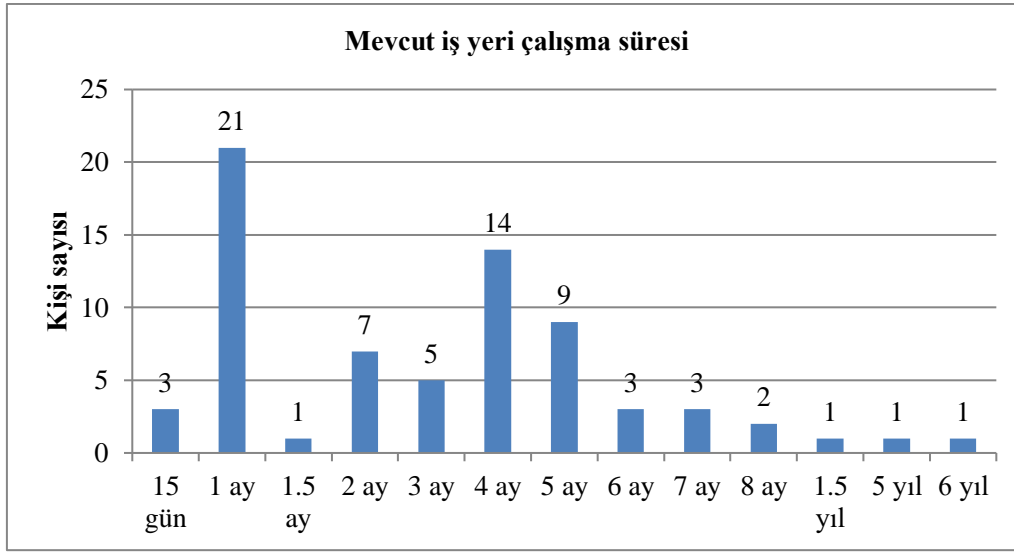
Bu iş yerinde ne zamandır çalışıyorsunuz?	Kişi sayısı
15 gün	3
1 ay ile 8 ay arası	65
1.5 yıl ile 6 yıl arası	3

Tablo 22'de ise 2014 yılında yapılan çalışma sonuçları yer almaktadır. Çalışmada 3 günden 20 yıla kadar zaman dilimlerinde bulunduğu firmada çalışanların olduğu görülmektedir. 2014 yılında yapılan çalışmada işe henüz yeni başlayan 1 ayı bile doldurmayan işçiler varken, aynı 20 yıl gibi uzun yıllar aynı firmada çalışan işçilerin yer aldığı belirlenmiştir.

Tablo 22. İşçilerin çalıştıkları iş yerinde ne kadar süredir çalıştıkları (2014 yılı)

Bu iş yerinde ne zamandır çalışıyorsunuz?	Kişi sayısı
3 gün ile 40 gün arası	19
2 ay ile 10 ay arası	15
1 yıl ile 5 yıl arası	30
7 yıl ile 10 yıl arası	2
13 yıl ile 20 yıl arası	4

Şekil 10'da 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerin mevcut işyerinde çalışma saatlerinin grafiksel gösterimi bulunmaktadır. Grafikte işçilerin genelde 1 ay ile 5 ay aralığında çalışma sürelerinin olduğu görülmektedir.



Şekil 10. 2019 yılı araştırma yapılan şantiyelerde işçilerin mevcut firmada çalışma süreleri

J. SAĞLIK RAPORU

Firmaların bir işçiyi işe almadan önce sağlık raporu istemeleri işçilerin ve işin güvenliği bakımından önemlidir. Sağlık raporu istemeden bir işçinin işe alınması ve sağlık durumu bilinmeden işçiye ağır gelebilecek farklı işlerin verilmesi tehlikeyi artırabilmektedir. Bundan dolayı işçilerden işe girmeden önce sağlık raporunun istenmesi ve sağlık durumuna göre işçiye iş verilmesi doğru olacaktır.

Tablo 23. İşçilerin işe başlar iken sağlık raporu alma durumları (2014 yılı ve 2019 yılı)

Sağlık raporu aldınız mı?(2019 yılı)	Kişi sayısı	Sağlık raporu aldınız mı?(2014 yılı)	Kişi sayısı
Evet	68	Evet	47
Hayır	3	Hayır	24

2019 yılında ve 2014 yılında yapılan çalışmalarda işçilere işe girerken sağlık raporu alıp almadıkları sorusu yöneltilmiştir. 2019 yılında işçilerin % 95.7'si işe girer iken sağlık raporunu aldığını, % 4.3'ü ise sağlık raporu almadığını belirtmiştir. İşçilerin tamamının sağlık raporu almaları istenen bir durumdur fakat 71 kişiden 68 kişinin sağlık raporu alması yine de olumlu bir göstergedir. 2014 yılında yapılan çalışmada işe başlarken sağlık raporu aldınız mı sorusuna işçilerin % 66.2'si evet derken, % 33.8'i ise hayır cevabını vermiştir. İşçilerin neredeyse üçte biri hayır cevabını yanıtlamıştır. Bu durum sağlık raporu almadan çalışan işçiler bakımından hem de diğer işçiler bakımından tehlike doğurabilecek bir duruma neden olabilecektir. Neyse ki 2019 yılında yapılan çalışmada sağlık raporu alma oranı büyük oranda artmıştır (Tablo 23).

K. İŞ GÜVENLİĞİ EĞİTİMİ

İşçilerin genç yaşta inşaat sektöründe çalışmaya başlamaları ve sektörün ağır çalışma şartlarına sahip olması nedeniyle genelde çalışanlar genç nüfustan oluşmaktadır. Fakat inşaat sektöründe iş güvenliği konusunda istenen seviyeye gelindiği söylenemez. İşveren ve çalışanların iş güvenliği konusuna yeterince önem vermemeleri can ve ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Özellikle inşaat sektörü alanında çalışanların işçi sağlığı ve iş güvenliği eğitimlerine ağırlık verilmelidir [6].

Tüm iş alanları için iş güvenliği konusu en az sağlık raporu kadar önemli bir konuyu oluşturmaktadır. İş güvenliğinin bilinmesi ve iş yapılırken iş güvenliğinin ön planda tutulması hayati öneme sahiptir. 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği kanunu mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için işveren ve çalışanların görev, yetki, sorumluluk, hak ve yükümlülüklerini düzenlemektedir. 2019 yılında ve 2014 yılında şantiyelerde işçilere iş güvenliği alanında eğitim alıp almadıkları sorusu yöneltilmiştir. Ne yazık ki hem 2014 yılında hem de 2019 yılında iş güvenliği eğitimi alma konusunda yeterli sayının olmadığı görülmektedir. 2019 yılında işçilerden % 54.9'u iş güvenliği konusunda eğitim almışken, % 45.1'i neredeyse yarıya yakını iş güvenliği eğitimi almamıştır (Tablo 24).

Tablo 24. İş güvenliği eğitimi alma durumu (2019 yılı)

İş güvenliği ile ilgili eğitim aldınız mı?	Kişi sayısı
Evet	39
Hayır	32

İki çalışmada da anket sonuçlarına göre işçilerin azımsanmayacak sayılarda iş güvenliği eğitimi almaması ve çıkan oranların Düzce ili geneline oranlanması durumunda bu sayının büyük rakamlara yükseleceği kaçınılmaz olacaktır. İş güvenliği konusunda firma yetkilileri başta olmak üzere ilgili kurum ve kuruluşların bu konuya daha fazla ağırlık vermeleri gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 25. İş güvenliği eğitimi alma durumu (2014 yılı)

İş güvenliği ile ilgili eğitim aldınız mı?	Kişi sayısı
Evet	33
Hayır	38

2014 yılında yapılan çalışmada durum daha da olumsuz bir tablo sunmaktadır. İşçilerden % 46.5'i iş güvenliği eğitimi almışken yarından fazlası yani % 53.5'i iş güvenliği eğitimi almamıştır (Tablo 25). 2019 yılında iş güvenliği eğitimi alanların sayısı artmışsa da yeteri kadar artış göstermemiştir. Bu sayının daha da artması yani çalışan tüm işçilerin iş güvenliği eğitimi almaları doğru bir göstere olacaktır.

L. İŞÇİLERİN DEPREM FARKINDALIĞI

Düzce, büyük depremler üreten Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAFH) üzerinde yer almaktadır. 12 Kasım 1999 Düzce Depreminde Düzce ilinde toplam 12513 konut ağır hasar, 9065 konut orta hasar ve 10222 konut az hasar almıştır. Depremden dolayı oluşan ağır hasarın % 47'si, orta hasarın % 24'ü ve az hasarın % 25'i Düzce ilinde meydana gelmiştir [7]. Deprem bakımından kritik bir bölgede yer alan Düzce'de ve benzer bölgelerde inşaatların projelendirilmesinden uygulanmasına her aşamada deprem tehlikesi akıllardan çıkarılmamalıdır.

Deprem konusu üzerinde durulması ve her adımda düşünülmesi gereken önemli bir konudur. 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenerek 1 Ocak 2019 tarihinde yeni harita yürürlüğe girmiştir. Artık yeni haritada deprem bölgeleri yerine en büyük yer ivmesi değerleri verilmektedir. Ankette işçilere ivme ile ilgili soru yöneltilmeyeceği için bir önceki deprem bölgeleri haritası baz alınarak sorular yöneltilmiştir.

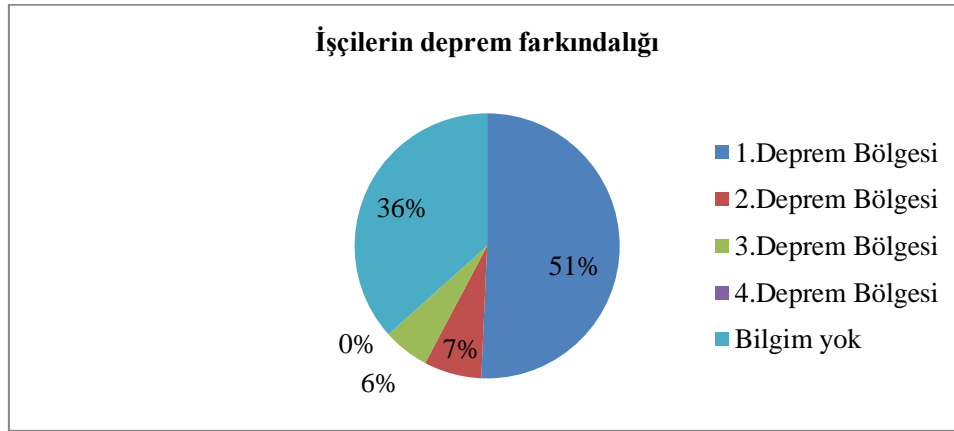
Soruda işçilere çalıştığımız bölge kaçınıcı derece deprem bölgesi sorusu yöneltilmiştir. 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerden 36'sı çalıştığı bölgenin 1. Derece deprem bölgesi olduğunu bilmektedir. 26'sı ise bilgim yok demiştir (Tablo 26). İşçilerden yarıdan biraz fazlasının çalıştığı bölgenin 1.derece deprem bölgesi olduğunu bilmesi çalışırken bu bilinçle çalışarak işe daha fazla önem vermesini sağlayacaktır.

2014 yılında yapılan çalışmada ise işçilerin 38'i çalıştıkları bölgenin 1.derece deprem bölgesi olduğunu bilmiştir. 30'u ise bilgim yok demiştir (Tablo 29). 2019 yılı ile 2014 yılında yapılan çalışma sonuçları depremsellik bakımından karşılaştırıldığında verilen cevaplarda çokta deprem farkındalığının oluşmadığı yönündedir.

Tablo 26. Çalışılan bölgenin depremselliği (2014 yılı ve 2019 yılı)

Çalıştığımız bölge kaçınıcı derece deprem bölgesindedir? (2019 yılı)	Kişi sayısı	Çalıştığımız bölge kaçınıcı derece deprem bölgesindedir? (2014 yılı)	Kişi sayısı
1. Derece Deprem Bölgesi	36	1. Derece Deprem Bölgesi	38
2. Derece Deprem Bölgesi	5	2. Derece Deprem Bölgesi	3
3. Derece Deprem Bölgesi	4	3. Derece Deprem Bölgesi	0
4. Derece Deprem Bölgesi	0	4. Derece Deprem Bölgesi	0
Bilgim yok	26	Bilgim yok	30

Şekil 11'de işçilere çalıştığımız bölgenin depremselliği ile ilgili yöneltilen sorulara verdiklerin cevapların 2019 yılı çalışma sonuçları oransal dağılımları görülmektedir. İşçilerin %51'inin çalıştıkları bölgenin 1.derece deprem bölgesi olduğunu bildikleri anlaşılmaktadır. % 7'si 2.derece, % 6'sı 3.derece ve % 36'sı bilgisinin olmadığını söylemektedir. Ne yazık ki işçilerin çalıştıkları bölgenin depremselliği konusunda yeterince farkındalıklarının olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 11. 2019 yılı araştırma yapılan şantiyelerde işçilerin çalıştıkları bölgenin depremselliği konusunda farkındalıkları

2019 yılında yapılan çalışmada işçilere daha önce deprem ile ilgili herhangi bir eğitim, seminer vb katıldınız mı sorusu yöneltilmiştir. İşçilerden % 23.9'u daha önce depremle ilgili eğitim aldığını belirtmektedir. Eğitim alınan yerler arasında Halk Eğitim, şirket seminerleri gibi yerler belirtilmiştir. İşçilerden % 76.1'i hayır cevabını vermiştir. Yani 2019 yılında yapılan çalışmada işçilerden büyük bir çoğunluğunun daha önce depremle ilgili herhangi bir bilgilendirmeye, eğitime sahip olmadığı anlaşılmaktadır (Tablo 27).

Tablo 27. Daha önce deprem konusunda eğitim alma durumu (2019 yılı)

Daha önce deprem ile ilgili eğitim, seminer vb katıldınız mı?	Kişi sayısı
Evet	17
Hayır	54

2014 yılında yapılan çalışmada da aynı soru işçilere yöneltilmiştir. 2014 yılında bu oran 2019 yılına göre daha düşüktür. İşçilerden sadece %14'ü depremle ilgili eğitim almışken, %86'sı depremle ilgili herhangi bir eğitim almamıştır (Tablo 28). Eğitim alanların çoğu okulda bu eğitimi aldığını belirtmektedir.

Tablo 28. Daha önce deprem konusunda eğitim alma durumu (2014 yılı)

Daha önce deprem ile ilgili eğitim, seminer vb katıldınız mı?	Kişi sayısı
Evet	10
Hayır	61

M. İŞÇİLERİN GÖRÜŞ VE ÖNERİLERİ

Son olarak ankette işçilere çalışma şartları, alanla ilgili eğitim gibi genel olarak fikirleri alınmak istenmiştir. Ne yazık ki işçilerin büyük bir çoğunluğu hem 2014 yılında yapılan çalışmada hem de 2019 yılında yapılan çalışmada çok fazla görüş bildirmemektedir. 2019 yılında yapılan çalışmada 71 işçiden sadece 7 kişi görüş belirtmiştir. 64 kişi ise herhangi bir görüş belirtmemektedir (Tablo 29).

Tablo 29. Çalışma şartları, eğitim alma gibi genel görüşler (2019 yılı)

Görüş ve önerileriniz var mı?	Kişi sayısı
Evet	7
Hayır	64

2019 yılı yapılan çalışmada işçiler tarafından belirtilen görüşler:

- “Çalışma şartları çok zor. Eğitim için zaman harcamak yerine çalışarak para kazanmak daha iyi. Verilen eğitimlerle kazancımız olmadığı için gerek duymuyorum”.
- “Çalışma şartları normal ama daha iyi olabilir. Bir eğitim almayı düşünmüyorum”.
- “Çalışma saatleri değişken ve tam bir iş planı uygulanmıyor. Çünkü müteahhidin aldığı işlerin tamamının götürü olması ve yapılacak işi çabuk bitirmek istemesi çalışma saatlerimizi değiştiriyor, bazen çok fazla çalışmamıza sebep olmaktadır”.
- “Müteahhit işleri götürü almasından dolayı iş bitiminde ödenek almaktadır. Bundan dolayı zaruri veya çok gerekli harcamalarımıza gerektiği zaman çözüm bulamamaktayız. Durumun müteahhit ile bir ilgisinin olmadığını biliyoruz. Olması gerekenin işi götürü verirken ödeneğin bir kısmı en azından verilirse müteahhidinde bizimde sorunumuz çözülür”.
- “Çalıştığımız şantiyelerde yapılan işte kullanılan ekipmanların eski olması, yetersiz olması bazen hiç olmamaktadır. Ekipman desteğinin sınırlı olması yapılan işin hızını ve kalitesini belirler”.
- “Çalışma şartları zor, bazı işyerlerinde haftanın 7 günü çalışılıyor. Ancak dinlenmeye zaman ayırabiliyoruz. Eğitimin cazip olmasının tek olanağının verilen kurs/eğitim sürecinde eğitim görenlere maddi destek olunması. Eğitimi gerçekten anlamış pratikte uygulayabilir olanlara teşvik olarak maddi destek olmalı”.
- “Düzce şehrinde yaşam ekonomik olarak ucuz ve az harcama ile ihtiyaçlarımızı giderebiliyoruz”.

2019 yılında işçiler çalışma süreleri, zamanında ücret alamama, eğitim için zaman ve maddi destek ayrılması, inşatlarda kullanılan ekipmanların yenilenmesi gerekliliği gibi görüşler belirtmektedirler.

2014 yılında yapılan araştırmada çalışma şartları, alan eğitimi gibi genel görüşlerin belirtilmesi istendiğinde işçilerden 18'inin görüş belirttiği, 53'ünün ise görüş belirtmediği görülmektedir (Tablo 30). 2014 yılında görüş belirtenlerin sayısı 2019 yılına göre daha fazla olmuştur.

Tablo 30. Çalışma şartları, eğitim alma gibi genel görüşler (2014 yılı)

Görüş ve önerileriniz var mı?	Kişi sayısı
Evet	18
Hayır	53

2014 yılı yapılan çalışmada işçiler tarafından belirtilen görüşler:

- “Çalışma şartları zor günde 10 saatin 8 saate düşürülmesini isteriz. Mutlaka da eğitim verilmesini istiyorum”.
- “Eğitimi ve denetimi yeterli bulmuyorum”.
- “Sanatkârlara biraz daha değer verilmesini isterim”.
- “Türkiye şartlarında iş güvenliği yok”.
- “Çalışma saatleri fazla, ücreti az, yıllık izin yok”.
- “İşin tehlikesine göre fiyat düşük”.
- “Çalışma saatinin çok olması ve haftalık çalışma gününün çok olması”.
- “Çalıştığımız işe göre ücreti az”.
- “İş güvenliği ile ilgili mutlaka eğitim verilmesi şart”.
- “Eğitim verilmesi şart. Daha iyi olur”.
- “Eğitim görmeleri şart”.
- “İş güvenliği yok”.
- “Eğitim şart”.
- “Eğitim verilmesi gerekir”.
- “Mutlaka eğitim verilmesi gerekir”.
- “İnşaat sektöründe maaşın sigortaya göre yatması ve primlerin artması”.
- “Eğitimim yeterli gerek yok, şartlar uygun”.
- “Çalışma şartlarımdan memnunum”.

2014 yılında işçilerin görüşleri genelde çalışma saatlerinin uzun olduğu, eğitimin ve denetimin yetersizliği, iş güvenliğinin olmadığı, fiyatların düşük olduğu, eğitimin şart olduğu gibi olumsuzlukların ortaya konduğu önemli görüşler belirtilmiştir. İki kişi ise olumlu görüş belirterek çalışma şartlarının uygun olduğu ve eğitimin yeterli olduğundan bahsetmektedir.

IV. SONUÇ

Çalışma deprem bakımından riskli bir bölgede bulunan Düzce İli özelinde rastgele seçilen şantiyelerde çalışan işçilerle yüz yüze görüşülerek yapılmıştır. Çalışmada şantiyelerde çalışan işçilerin demografik durumları, çalışma ve barınma şartları, ekonomik göstergeleri, alan eğitimleri, iş güvenliği, deprem farkındalığı gibi bilgiler analiz edilmiştir. 2014 yılında Düzce’de yapılan benzer çalışma ile [8] sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilerek 5 yıllık süreçte genel anlamda belirgin farklılıkların olmadığı anlaşılmıştır. Bunun başlıca nedenleri arasında işçilerin belli bir eğitim almadan usta çırak ilişkisi ya da tanıdık vasıtasıyla işe girmeleri olarak gösterilebilir.

Yaş dağılımları genelde genç nüfustan oluşan işçilerin çalışma şartları ve ekonomik memnuniyetlerinin yeterli olmadığı yönündedir. Yoğun çalışma saatleri ve ağır çalışma şartları altında çalışan işçilere daha refah yaşam alanları, uygun çalışma saatleri ve ekonomik memnuniyetin sağlanması yerinde olacaktır.

Çalışmada işçilerin ağırlıklı olarak ilkokul ya da ortaokul seviyesinde eğitimleri olduğu anlaşılmıştır. Erken yaşlarda çalışma hayatına girmeleri ve ekonomik olarak durumlarının iyi olmaması eğitim hayatlarının yarıda kalmasına neden olabilmektedir. En azından işçilere çalışma alanları ile ilgili eğitimlerin verilmesi, iş güvenliği, deprem gibi konularda bilgilendirmelerin yapılması ortaya çıkarılacak işlerin başarı oranını artıracaktır. İnşaat alanında çalışanlar için belirlenen bir kuruluşun çalışanlara alanları ile ilgili eğitimleri vererek belgeleme sistemine geçilmesi sayesinde çalışanların iş bakımından daha nitelikli bir hale getirilmesi ve kayıt altına alınması sağlanabilecektir. Belgeleme ile birlikte tecrübe kazanan işçiler yaptıkları işlerde daha başarılı olacak ve yapıların güvenilirliği artacaktır.

Ülkemiz depremlere her zaman hazırlıklı olması gereken bir bölgededir. İstanbul, Manisa ve Elazığ'da olan son depremler hazırlıklı olmanın önemini daha da artırmıştır. Depreme hazırlığın önemli bir aşamasını oluşturan bina yapımında işçilerin alanlarında tecrübeli olması ve yaptıkları işlerde deprem faktörünü göz önüne alarak işlerini yapmalarının sağlanması yerinde olacaktır. Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de gerekli eğitimlerin verilerek işçiler alanları ile ilgili kayıt altına alınıp şantiyelerde çalıştırılmalıdır.

26-28 Haziran 2019 tarihinde Eskişehir Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilen Uluslar arası Afet ve Dirençlilik Kongresi (idRc2019)'nde Japonya Uluslar arası İşbirliği Ajansı (JICA) Türkiye ofisinde görevli Japon İnşaat Mühendisine "Japonya'da inşaat alanında depremi nasıl ele alıyorsunuz? Sorusuna "Biz depremi inşaatın her aşamasında ele alıyoruz. Örneğin şu gördüğümüz konferans salonu içerisinde yapılmış duvar kaplamalarında dahi depremin etkisi düşünülerek sağlam malzeme ve ürün seçimi yapılır" diye bahsetmiştir. Bizimde yapısal sistemden yapısal olmayan sisteme malzeme seçimlerinde deprem etkisi düşünülmelidir. Henüz proje aşamasında kullanılacak malzemeler belirlenmelidir. Bir okulda sıra ve sandalye seçilirken deprem anında öğrencilere sıraların altına girin dendiğinde o sıra ve sandalyelerin gelen yükleri mümkün mertebe taşıyacak profil ve kaplamalardan seçilerek yapılması gerekmektedir. Proje aşamasında yapısal ve yapısal olmayan elemanların seçiminden işçilerin uygulama yaptıkları yapıım sürecine kadar her aşamada deprem faktörü düşünülerek işlerin yapılması ve denetimlerin gerçekleştirilmesi ile can ve ekonomik kayıpların büyük oranda önüne geçilebilecektir.

TEŞEKKÜR: Çalışmanın saha uygulamasında yardımcı olan öğrencilerime, şantiye sorumluları ve işçilere teşekkür ederim.

V. KAYNAKLAR

[1] S. Baradan, "Türkiye İnşaat sektöründe iş güvenliğinin yeri ve gelişmiş ülkelerle kıyaslanması," *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 87-100, 2006.

[2] E. Duman ve E. Nilay, "İnşaat sektörü ve işçi sağlığı," *Türk Tabipler Birliği, Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, c. 13, s. 48, ss. 30-38, 2013.

[3] A. Ercan, "Türkiye'de Yapı sektöründe işçi sağlığı ve güvenliğinin değerlendirilmesi," *Politeknik Dergisi*, c. 13, s. 1, ss. 49-53, 2010.

[4] D. Çetinoğlu, M. Zeynep ve M. A. Öncü, "Kadın yöneticilerde iş ve aile yaşam dengesi: Düzce ili örneği," *Çalışma İlişkileri Dergisi*, c. 10, s. 2, ss. 27-44, 2019.

- [5] I. Kellevezir ve Ç. Özlem, “İşgücü Piyasası bilgi sistemi: Türkiye için bir model önerisi,” *Çalışma İlişkileri Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 1-23, 2018.
- [6] A. Kale, Y. Özge ve Y. Sümeýra, “İnşaat sektörü çalışanlarının işçi sağlığı ve iş güvenliği eğitimleri konusundaki bilinç düzeylerini ölçmeye yönelik bir sektörel araştırma,” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 639-651, 2018.
- [7] B. Özmen, “12 Kasım 1999 Düzce depreminin konut ve işyeri hasarları (rakamsal verilerle)” Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Türkiye, Rap. 1, 2000.
- [8] H. Bayraktar, “İnşaat sektörü iş gücü profilinin düzce örneğinde incelenmesi,” *Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 466-474, 2014.
- [9] T.C. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) (2020, 20 Ocak) *Çalışanların hakları* [Online]. Erişim: [http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/calisan/calisan/calisanlarin_haklari/calisanlarin_haklari]
- [10] T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı (2020, 18 Ocak) *İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu* [Online]. Erişim: [https://www.ailevecalisma.gov.tr/medias/12615/6331_ismg_22022019.pdf]



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Maden Çayı Metal İçeriğinin Tespiti ve CBS Destekli Değerlendirilmesi

 Talip TURNA^{a,*},  Cansu ÖZTEKİN KARA^b

^a Teknik Bilimler MYO, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, TÜRKİYE

^b Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.867029

Öz

Dicle Nehri; sınıraşan sular kategorisinde yer alan ve uluslararası anlamda da büyük bir öneme sahip sucul ekosistemlerimizden biridir. Bu çalışmada, akuatik sistemin bir parçası olan Maden Çayı'ndaki su kalitesi ağır metal kirliliği yönünden değerlendirilmiştir. Ayrıca tespit edilen parametrelerin görsel olarak etkili bir şekilde sunulabilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi dağılım haritaları kullanılmıştır. Maden Çayı besleme havzası içerisinde faaliyet gösteren bakır madeni yıllardır işletilmektedir. Bu nedenle Maden Çayı metal içeriği bakımından kirlilik riski taşımaktadır. Bu kirliliği belirlemek amacı ile Maden Çayı membaı; bakır çıkartma faaliyeti yürütülen alan, madencilik faaliyetine 1 km uzaklıkta bulunan alan ve Maden Çayı mansabı olmak üzere dört farklı noktadan mart, nisan ve mayıs aylarında su numuneleri alınarak; As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mn, Pb, Se ve Zn tayinleri yapılmıştır. Sonuçlar Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde; Maden Çayı As, Cd, Mn, Se ve Zn elementleri için I. Sınıf sular, Cr metali için II. Sınıf sular, Pb metali için çoğunlukla II. Sınıf sular, Hg ve Cu metali için ise IV. Sınıf sular kategorisine girmektedir.

Anahtar Kelimeler: CBS, Dicle Nehri, Maden Çayı, ICP-MS, Metal analizleri, Su Kalitesi.

Determination and GIS Supported Assessment of Metal Content of Maden Stream

ABSTRACT

The Tigris River is one of our aquatic ecosystems, which is in the category of transboundary waters and is of great international importance. In this paper, the water quality in Maden Stream, which is a part of the aquatic system, has been evaluated in terms of heavy metal contamination. Geographical Information System distribution maps were used to present the determined parameters visually effectively. A copper mine has been operating in the feed basin of Maden Stream for years. For this reason, Maden Stream carries a pollution risk in terms of metal content. In order to determine this pollution, water samples were taken in March, April and May from four different points: the upstream of the Maden Stream, the area where copper extraction activity is carried out, the area located 1 km away from the mining activity and the downstream of Maden Stream, and in the water samples, As, Cd, Cu, Cr Hg, Mn, Pb, Se and Zn were analyzed. When the results are evaluated according to the Regulation on Surface Water Quality Management, Maden Stream can be considered in the first category in terms of As, Cd, Mn, Se, Zn and in the second category in terms of Cr metal. Considering the Pb metal, Maden Stream can be categorised mostly in the second category and in the forth category in terms of Hg and Cu metal.

Keywords: GIS, Tigris River, Maden Stream, ICP-MS, Metall analysis, Water Quality.

I. GİRİŞ

Sanayi Devrimi sonrası oluşan hızlı büyüme, gelişen teknoloji, çeşitlenen ihtiyaçlar ve modernleşmenin getirdiği endüstriyel üretim, çevresel değerler ile ekonomik değerler arasındaki ilişkinin ekonomik değerler yönüne doğru kaymasına sebep olmuştur. Zaman ilerledikçe ortaya çıkan etkiler ile birlikte çevre sorunlarının küresel bir boyut kazanması, zorunlu olarak sürdürülebilir kalkınma anlayışının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu anlayış; yaşamsal faaliyetlerimizin devamı için vazgeçilmez olan su kaynaklarının bilinçsiz kullanımı ve üretim faaliyetlerinin kirlilik riski oluşturması sebebi ile daha fazla önem kazanmıştır [1].

Ülkemizde ve dünyada; endüstriyel faaliyetler ve insani tüketimde kullanılmak üzere su temini için optimum bir planlama yapılmalıdır. Bu planlama içerisinde su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için projelendirme, inşaa ve işletme gibi ana faktörlerin yanında kaynaktan su temini, atık sular için alıcı ortam olma durumu, hidroelektrik enerjisi için kullanım, tarım, balıkçılık ve çeşitli amaçlar için kullanılabilirliğinin hep birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir [2]. Bu olgu çerçevesinde değerlendirme yapmak gerekirse Dicle Nehri; akış boyunca etkileşim içerisinde olduğu pek çok il ve ilçede tarımsal sulama, balıkçılık faaliyetleri ve içme suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır [3].

Dicle Nehri, kaynağından çıktıktan sonra Maden ilçesinden geçer ve bu bölgede Maden Çayı ismini alır. Daha sonra güneydoğu istikametinde dar ve derin vadilerden geçerek Diyarbakır ilinin konumlandığı lav bölgesinin doğu kesimine doğru paralel olarak akar [4], [5]. Bulduğu havza gereği madencilik faaliyetlerinden etkilenme riskine sahip Yukarı Dicle Havzası içerisinde bulunan Maden Çayı 387.3 km² yağış alanına sahip olup, ortalama debisi yaklaşık 6.53 m³/s'dir. Maden Çayı; 38.4108-39.5162 coğrafi koordinatlarından doğup Kralkızı Barajı'na dökülmektedir. Elektrik üretimi ve tarımsal sulama amacı ile faaliyet gösteren bu baraj yakın bir gelecekte bitirilmesi planlanan sulama sistemleri ile Diyarbakır merkez ve Ergani ilçelerindeki yaklaşık 25.000 hektar arazinin sulanmasını sağlayacaktır [6].

Maden ilçesi zengin bakır, kurşun, çinko, demir, gümüş ve altın madeni yataklarına sahiptir [7]. Maden ilçesi sınırlarından geçen bu çay, bölgedeki madencilik faaliyetlerinin oluşturduğu çevresel kirlenmeye maruz kalma yönünden oldukça riskli bir havzadadır. Maden Çayı besleme havzası içerisinde faaliyet gösteren bakır madeni dünyanın bilinen en eski yataklarından biridir. 1939 yılında Etibank tarafından ilk üretime başlanmış, uzun yıllar üretim yapıldıktan sonra 1994 yılında özel sektöre devredilmiştir. Bölgedeki en önemli cevher mineralleri; pirit, kalkopirit, manyetit ve pirotindir. Bu işletmede; 528.557 ton blister bakırın yanı sıra 133.565 ton sülfirik asit, blister bakırdan 1.316 kg altın ve 7.557 kg gümüş elde edilmiştir. İşletmenin üretim sonucu ortaya çıkan sızıntı suları, flotasyon atıkları ve katı atıkları Maden Çayı'na boşalmaktadır. Ayrıca akarsuyun besleme havzası içerisinde krom yatakları da bulunmaktadır [8].

Maden arama, cevher zenginleştirme ve işleme gibi faaliyetlerin yanında; mevsimsel yağışlar neticesinde ortaya çıkan atık sular ve sızıntı suları Maden Çayı'nın su kalitesini etkilemektedir. Maden Çayı geçmiş olduğu alanlarda; sulama, içme suyu temini, balıkçılık gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Maden Çayı özeli ve Dicle Nehri geneli dikkate alındığında; havza bazında su kalitesi inceleme çalışmaları havzanın faydalı kullanım maksadını kontrol etme bakımından oldukça önemlidir. Özellikle yerleşim yerlerinin su kenarlarında kurulduğu ve her türlü sıvı deşarjlarının alıcı ortam olarak bu çay veya nehirlere verildiğini düşünüldüğünde; bu suların özümleme kapasitelerinin aşılmasına ve kirlilik derecesinin belirli bir seviyenin üzerine çıkmamasına özen gösterilmelidir [9].

Bu bağlamda su kalitesinin izlenmesi için günümüzde çeşitli yaklaşımlar kullanılmakla birlikte; verilerin detaylı analizi ve yapılan modellemeler sonucunda oluşturulan görsel grafikler neticesinde, araştırmacıya sunduğu geniş perspektifler sayesinde analiz, modelleme, daha hızlı sonuca ulaşma ve farklı koşulları değerlendirebilmesi bakımından CBS kullanımını oldukça yaygın hale gelmiştir [10]–[13]. CBS ile ekolojik analizler ve ekolojik modelleme sayesinde betimsel değerlendirme haritaları,

bütüncül ekolojik değerlendirme yaklaşımları yapılabilen ve böylece tüm konumsal ölçekler ve çok farklı ekosistem tiplerine kadar geniş bir alanda kullanım imkânı bulunmaktadır. CBS yöntemleri, geleneksel olarak kullanılan yöntemlerden farklı olarak problemleri daha geniş bir çerçevede ele alabilmektedir. Bu sistemler ile çevresel olarak hassas alanların değerlendirilmesi, koruma alanlarının tespiti ve alternatif planların üretilmesi oldukça başarılı bir şekilde yapılabilmektedir [14]. CBS yardımıyla yapılan bir çalışmada Gala Gölü ve besleme havzasında limnolojik parametreler CBS dağılım haritaları yardımıyla incelenmiş olup elde edilen sonuçlara göre; göl ve çevresindeki çeşitli noktalarda azot ve fosfor kirliliğinin olduğu tespit edilmiştir [15].

Yüzeysel su kalitesinin değerlendirilmesinde en önemli hususlardan birisi, havzada yağışlar ile yıkanarak çözünen çeşitli metal bileşiklerinin yüzeysel sulara ve yeraltı suyuna ulaşması hususudur. Bölge genelinde madencilik faaliyeti olması durumunda çeşitli işlemler sırasında (kayaçların kırılması, öğütülmesi ve işlenmesi vb.) meydana gelen atıklar yağışlar nedeniyle toprağa ve buradan da yıkarak yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarına karışabilmektedir. Bunun yanında tarımsal üretimde kullanılan gübre ve ilaçların bünyesinde de ağır metaller bulunmaktadır. Meriç Nehri'nin su kalitesinin irdelendiği bir çalışmada nehrin organik kirlilik ve ağır metal kirliliği yönünden tehdit altında olduğu, bunun sebebinin ise hem tarımsal üretim hem de sanayi kaynaklı deşarjlardan kaynaklandığı belirtilmiştir [16].

Sürdürülebilir çevre anlayışının önem kazandığı alanlardan biri olan madencilik faaliyetleri sırasında; kayaçların kırılması, öğütülmesi ve işlenmesi sürecinde oluşan pasa ve çamur atıklarının içerisinde kalan cevher mineralleri (kurşun, kadmiyum, bakır, arsenik, nikel, krom, çinko ve cıva) yağmur ve yüzey suları ile yıkanarak toprağa ve suya karışabilir. Bu metaller bitki büyümesi sırasında da floranın bünyesine geçerek toksik etki yapmaktadır [17]. Besin zincirinin devamı da dikkate alındığında bu flora ile beslenen diğer canlı türlerine ve insanlara ulaşan ağır metaller vücutta çeşitli etkilere neden olmaktadır. Bu etki ağır metalin çeşitli fizikokimyasal özelliklerine (iyon yapısı, çözünürlüğü, kompleks oluşturabilme yetisi vb.) bağlı olmakla birlikte, direkt olarak ağır metalin çevrede bulunma sıklığına ve dolayısıyla derişimine dayanmaktadır. Sürekli birbiri ile etkileşim halinde bulunan ekolojik bileşenler arasındaki biyoakümülyasyon ve biyomagnifikasyon gibi süreçler neticesinde; bu metaller canlı vücudunda birikerek, besin zinciri yolu ile bütün canlıları etkileyebilir. Örneğin Porsuk Çayı'nda yapılan bir çalışmada su, sediment ve çeşitli balık türlerinin dokularında ağır metal analizleri yapılmış; bu dokularda ağır metal birikimlerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır [18]. Canlı vücudunda biriken bu ağır metaller toksik etkilerinin yanı sıra DNA hasarı, protein yıkımı, gibi otoimmün hastalıklar (crohn hastalığı, ülseratif kolit, romatizma vb.), böbrek, egzama, alerji ve astım gibi organik hastalıklar ve bunun yanında depresyon, migren, Alzheimer ve Parkinson gibi nörolojik bozukluklara da sebep olmaktadır [19]–[21].

Sularda bulunan metallerin ölçümünde değişik spektrofotometrik ölçüm cihazları kullanılmaktadır. UV-Vis Spektrofotometre, Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (AAS), Grafit Fırın Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (GF-AAS), İndüktif Eşleşmiş Atomik Emisyon Spektrofotometre (ICP-AES) ve İndüktif Eşleşmiş Kütle Spektroskopisi (ICP-MS) yöntemleri; içme ve kullanma sularında metal analizleri için kullanılan yaygın tekniklerdir. ICP-MS tekniği ile metal analizlerinde düşük belirtme sınırlarına inilebilmesi, uçucu ve düşük derişimlerdeki türler için herhangi bir ön işleme gerek duyulmaması, geniş çalışma aralığı ve doğruluğu açısından çoklu metal analizlerinde diğer tekniklere göre avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada tarımsal sulama amacı ile kurulan Kralkızı Barajı'nı besleyen ve besleme havzası içerisinde bakır üretim sahaları bulunan Maden Çayı'nda, ICP-MS tekniği kullanılarak; Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Bakır (Cu), Krom (Cr), Cıva (Hg), Mangan (Mn), Kurşun (Pb), Selenyum (Se) ve Çinko (Zn) tayini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar CBS ile analiz edilerek, çayın su kalitesi irdelenmiş ve sonuçlar YSKYY'ye göre değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Su Numunelerinin Toplanması

Su numuneleri 2016 yılının mart, nisan ve mayıs aylarında, memba ve mansap hattı üzerinde CBS yardımıyla belirlenen dört farklı noktadan PTFE numune kaplarına anlık olarak alınmıştır. Bu noktalar Şekil 1’de gösterilmiştir. Alınan numuneler HNO₃ ile pH≤2 olacak şekilde asitlendirilerek korumaya alınmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve su numunelerinin alındığı noktalar

2.2. Örneklerin Analize Hazırlanması

Su numunelerinden 2.5 ml alınarak, PTFE çözünürleştirme tüplerine konulmuş, üzerine 4 ml HNO₃ ve 2 ml H₂O₂ ilave edilerek 200 °C’de 15 dakika süreyle mikrodalga fırında çözünürleştirilmiştir. Çözünmüş örnekler, 25 ml’ lik balon jöjelere alınarak deiyonize su ile tamamlanmıştır. Şahit (kör) deneyleri birbirinden bağımsız 3 deney olarak aynı yöntem ile yapılmıştır.

2.3. Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

Numune alınan noktaların koordinatları; GARMIN e Trex 10 GPS cihazı ile belirlenmiştir. As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mn, Pb, Se ve Zn tayini için Agilent 7700X model ICP-MS kullanılmıştır. Örneklerin analiz öncesi çözünürleştirme işlemi, PTFE tüplere sahip Milestone Start D marka mikrodalga fırında yapılmıştır. Kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup nitrik asit (Merck) ve hidrojen peroksit (Merck) kullanılmıştır. Bütün deneylerde 18.2 MΩ deiyonize saf su kullanılmıştır. ICP-MS ölçümlerinde mix internal standart olarak 200 µg L⁻¹ derişiminde 45Sc, 72Ge, 115In, and 209Bi kullanılmıştır. Kalibrasyon grafikleri 10 mg L⁻¹ mix standarttan 0-100 µg L⁻¹ derişim aralığında seyreltilerek As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mn, Pb, Se ve Zn metalleri için hazırlanmıştır.

2.4. Metodun Geçerliliği

Dokuz element için çalışılan optimize koşullar altında, her bir metal için 0-100 µg L⁻¹ derişimlerinde çizilen kalibrasyon grafiğine ait R değerinin 0.99’dan büyük olması lineerliği kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Birbirinden bağımsız 3 körün analizi ile dokuz metal için gözlenebilme sınırı

(LOD) ve tayin sınırı (LOQ) hesaplanmıştır (LOD = $3.σ$ and LOQ= $10.σ$). Bakır için bu LOD ve LOQ değerleri sırasıyla 1 ve $3.3 μg L^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Yöntemin doğruluğu ve kesinliği Standart Referans Madde (SRM) RTC-QC1014 Water kullanılarak değerlendirilmiştir [22].

2.5. CBS Çalışması

Yukarı Dicle Havzası içerisinde bulunan $43.14 km^2$ 'lik çalışma alanı, Topoğrafik haritadan (STH) sayısallaştırılma yöntemi ile elde edilmiştir. Örnekleme noktaları ise GARMIN e Trex 10 el GPS'i yardımıyla belirlenerek, Wgs84 datum ve UTM Zone 37 coğrafi koordinatları ile ArcGis 10.6 yazılımına aktarılmıştır. 1:25000 ölçekli Standart. ArcGis yazılımının Mekânsal Analiz (Spatial Analyst) modülünde yer alan Density (Kernel Density) modülü kullanılarak yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Örnekleme noktalarının koordinatları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Numune alınan noktaların koordinatları

Noktalar	X	Y
1	557098.35	4251542.72
2	558682.20	4249503.43
3	559270.52	4249427.84
4	559497.10	4249021.15

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Sonuçların YSKYY'ye Göre Değerlendirilmesi

Maden Çayı'nın besleme havzası sınırları içerisinde madencilik faaliyetleri sürdürüldüğünden dolayı; maden arama, cevher zenginleştirme, sızıntı suları ve mevsimsel yağışlar neticesinde Maden Çayı çevresel risk taşıyan bir bölgededir. Bu riskin neticesinde; su kalitesindeki değişimin tespiti ve sınıflandırılması için YSKYY kapsamında bir değerlendirme yapmak gerekmektedir. Tablo 2'de yönetmelik kapsamında verilen iz elementlerin su kalitesi sınıfı belirlemedeki sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 2. İz elementler (metaller) kirlilik parametreleri [23]

Su Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
Arsenik ($μg As/L$)	$≤ 20$	50	100	> 100
Bakır ($μg Cu/L$)	$≤ 20$	50	200	> 200
Cıva ($μg Hg/L$)	$≤ 0.1$	0.5	2	> 2
Çinko ($μg Zn/L$)	$≤ 200$	500	2000	> 2000
Kadmiyum ($μg Cd/L$)	$≤ 2$	5	7	> 7
Krom (toplam) ($μg Cr/L$)	$≤ 20$	50	200	> 200
Kurşun ($μg Pb/L$)	$≤ 10$	20	50	> 50
Mangan ($μg Mn/L$)	$≤ 100$	500	3000	> 3000
Selenyum ($μg Se/L$)	$≤ 10$	$≤ 10$	20	> 20

Arsenik, kadmiyum, mangan, selenyum ve çinko metalleri için sonuçlar (Tablo 3) değerlendirildiğinde; Şekil 1'de gösterilen noktalardan alınan su örneklerinin YSKYY'ye göre I. Sınıf (Yüksek kaliteli sular) sular sınıfına girmektedir. Örneklemenin yapıldığı noktalarındaki su numunelerinde; arsenik, kadmiyum, selenyum ve çinko sonuçları açısından anlamlı bir artış veya azalış görülmemektedir. Mangan miktarı açısından bir değerlendirme yapıldığında ise mambadan mansaba doğru bir artış görülmektedir.

Krom metali açısından sonuçlar değerlendirildiğinde; Şekil 1’de gösterilen noktalardan alınan su örneklerinin YSKYY’ye göre II. Sınıf (Az kirlenmiş su) sular sınıfına girmektedir. Mema ve mansab noktalarındaki su numunelerinde mart, nisan ve mayıs aylarında krom açısından bir artış görülmemiştir.

Tablo 3. Maden çayı metal analiz sonuçları

Metaller ($\mu\text{g/L}$)	Mart				Nisan				Mayıs			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
As	2.0	1.5	1.7	1.8	1.8	1.9	2.1	1.5	15.7	1.9	2.1	2.1
Cd	0.6	0.5	0.5	0.1	0.1	0.9	1.1	0.1	0.8	0.9	0.8	0.9
Cu	<1	145.7	136.0	92.7	<1	62.3	51.8	53.5	47.7	270.8	202.1	54.7
Cr	36.9	27.8	31.9	28.6	25.4	25.7	31.2	17.3	24.1	22.1	23.6	24.4
Hg	1.1	1.30	3.8	4.6	0.4	1.8	1.9	2.6	1.6	2.6	2.8	25.2
Mn	57.6	97.7	95.7	89.7	19.0	58.2	70.7	24.1	28.6	108.9	103.7	71.8
Pb	12.8	8.6	9.9	3.1	1.2	11.6	21.4	2.5	11.2	13.0	10.4	13.9
Se	2.3	2.5	2.6	2.3	2.2	2.5	3.0	2.0	2.0	2.4	3.1	2.6
Zn	65.0	61.2	122.0	73.7	59.9	66.0	101.6	43.5	159.3	148.2	120.3	118.2

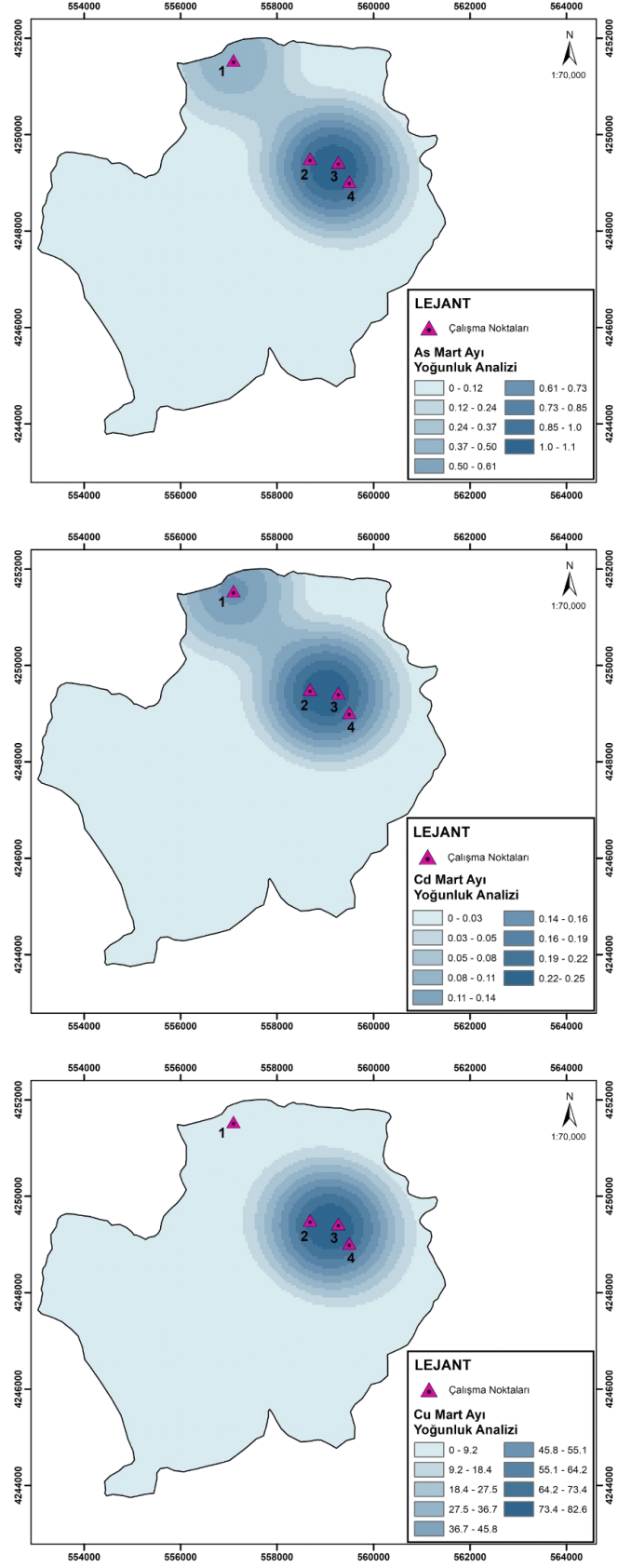
Kurşun metali için yapılan değerlendirmede üç örnekteki su örnekleri I. Sınıf (Yüksek kaliteli sular) sular sınıfına girerken, geri kalan su örnekleri II. Sınıf (Az kirlenmiş su) sular sınıfına girmektedir. Nisan ayındaki örneklemlerde maden sahasına yakın olan 2. ve 3. noktalardaki (Şekil 1) su numunelerinde kurşun değerinde artış görülmüştür.

Cıva, en zararlı kirleticilerden biri olarak kabul edilmektedir. Cıvanın insan sağlığı ve çevreye olumsuz etkisi oldukça yüksektir. Sudaki yüksek çözünürlüğünden dolayı yüzey sularında kararlı inorganik formları yaygın olarak bulunabilir. İnsanların sinir ve endokrin sistemlerinde ciddi tahribata yol açar [24]. Cıva metali için yapılan değerlendirmede her üç ay içinde 2. noktadan itibaren su örnekleri III. Sınıf (Kirlenmiş su) sular sınıfına girerken, mansab noktalarındaki su örneklerinde ise bu değer artarak IV. Sınıf (Çok kirlenmiş su) sular sınıfına girmektedir.

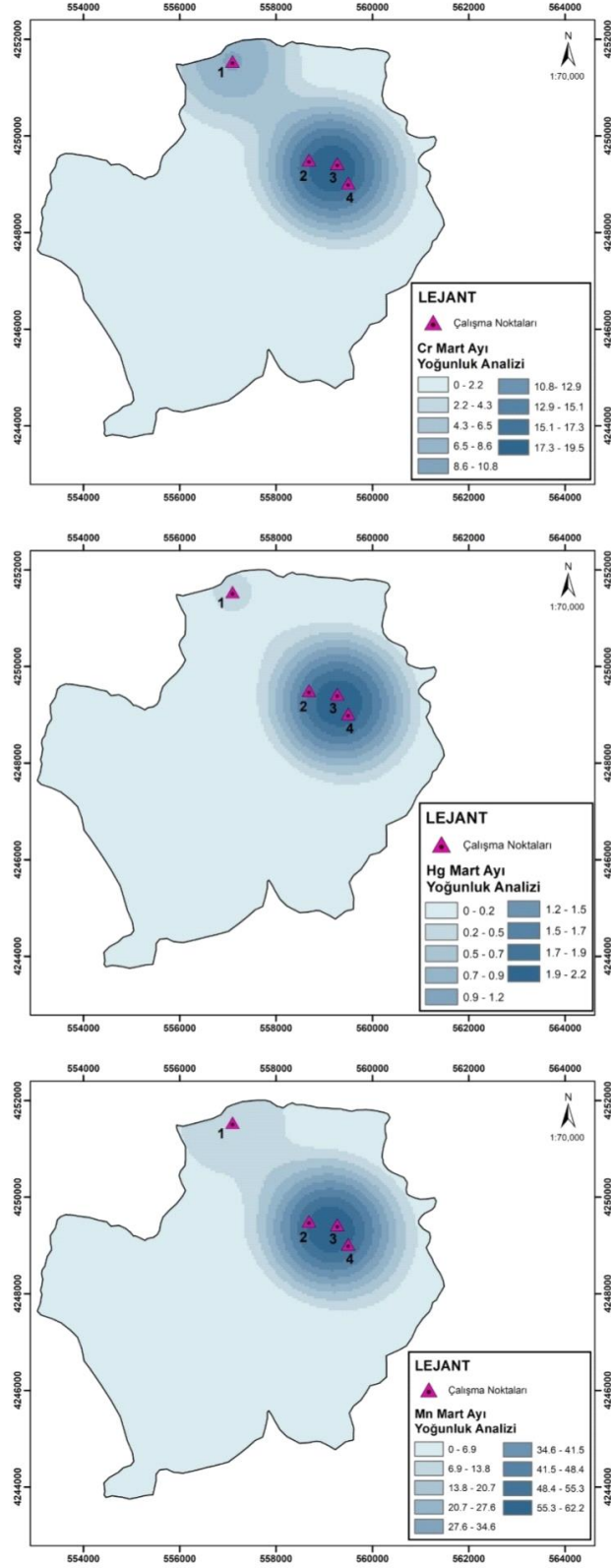
Bakır; insan, bitki ve hayvan bünyesi için gerekli bir metaldir. Fakat diğer gerekli elementler gibi bakırın da yüksek miktarlarda alınması zararlı ve toksik etki yaratabilmektedir. Bakırın aşırı alınımında beyin, karaciğer ve pankreas içindeki birikimi Wilson hastalığına neden olabilir [25]. Bakır metali açısından sonuçlar değerlendirildiğinde; mambada I. Sınıf (Yüksek kaliteli sular) olan su kalitesi diğer noktalarda IV. Sınıf (Çok kirlenmiş su) sular sınıfına kadar yükselmektedir.

3.2. Sonuçların CBS ile Değerlendirilmesi

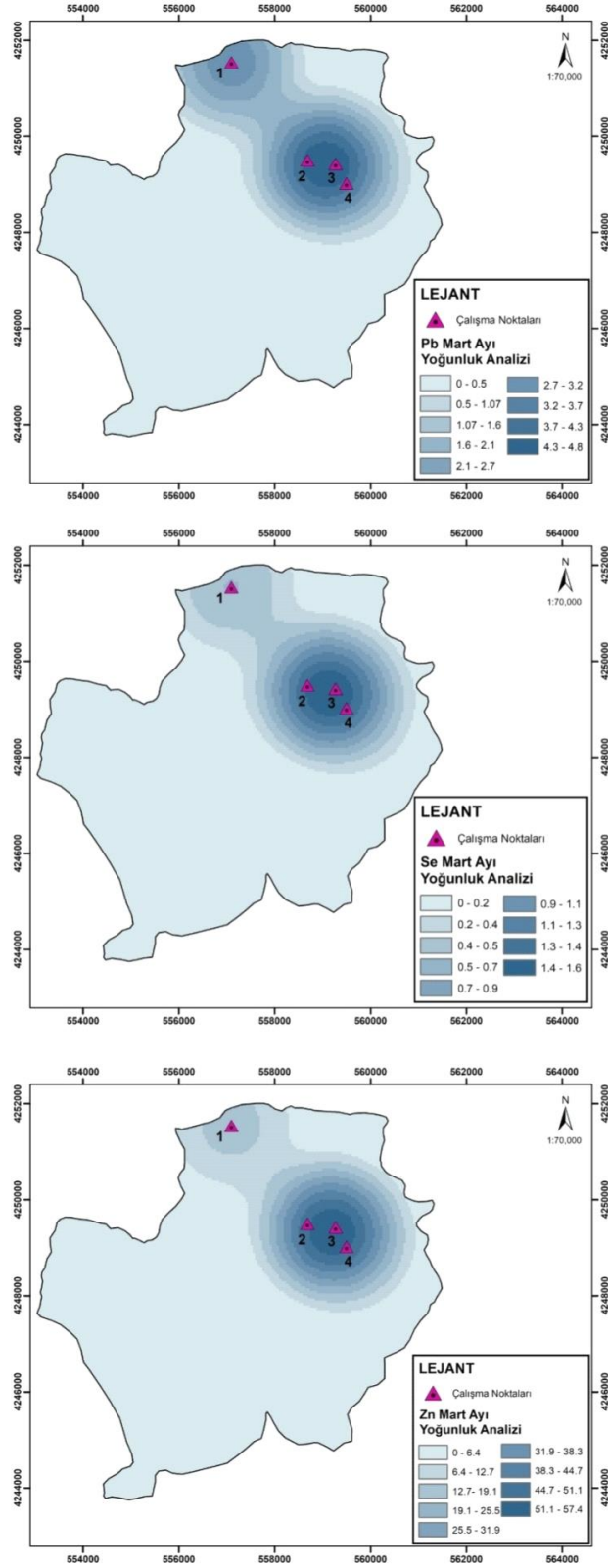
Havza sınırları içerisinde bulunan maden işletmeleri sebebiyle, Maden Çayı metal içeriği bakımdan risk taşıyan bir bölgededir. Söz konusu riski belirlemek üzere gerçekleştirilen incelemenin ArcGis programı ile analizi sonucunda elde edilen haritalar aşağıda gösterilmiştir. Mart, nisan ve mayıs aylarındaki analiz sonuçlarına göre Şekil 2...10 arasındaki yoğunluk haritaları elde edilmiştir.



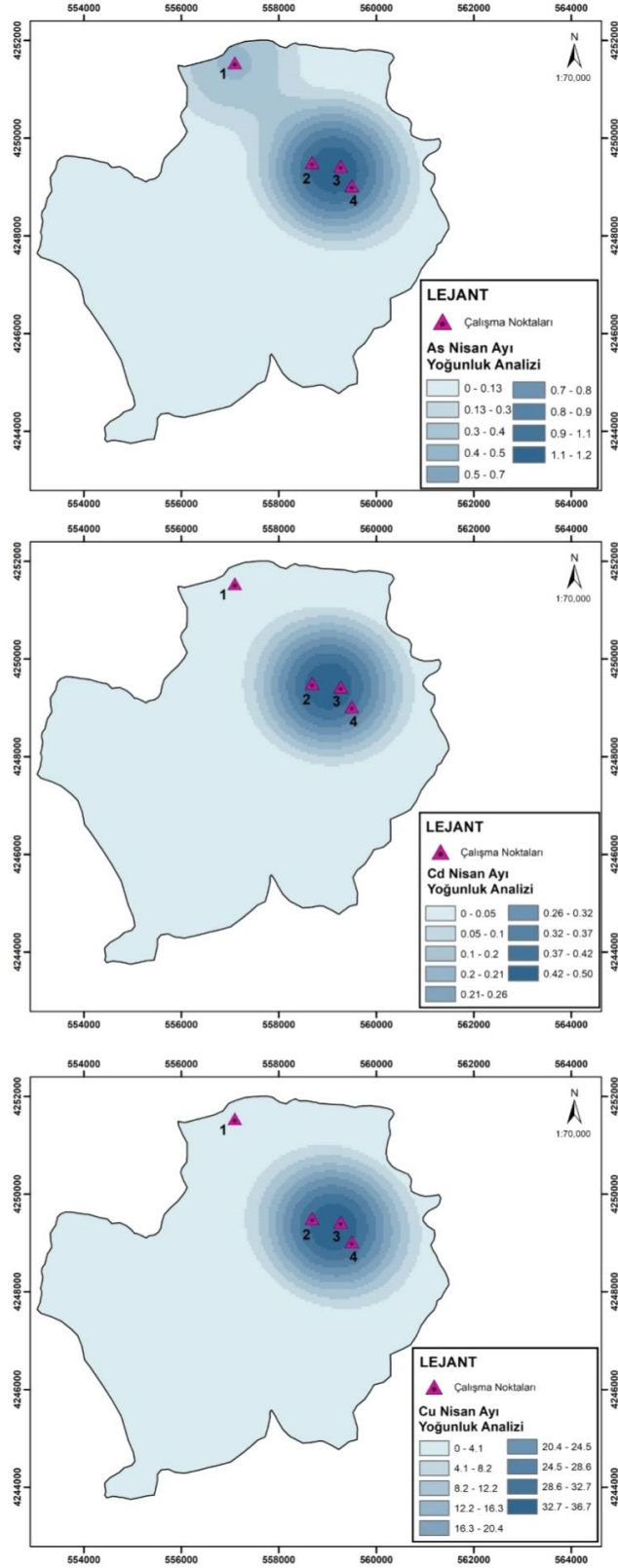
Şekil 2. Mart Ayı Yoğunluk Analiz Haritaları (As, Cd, Cu)



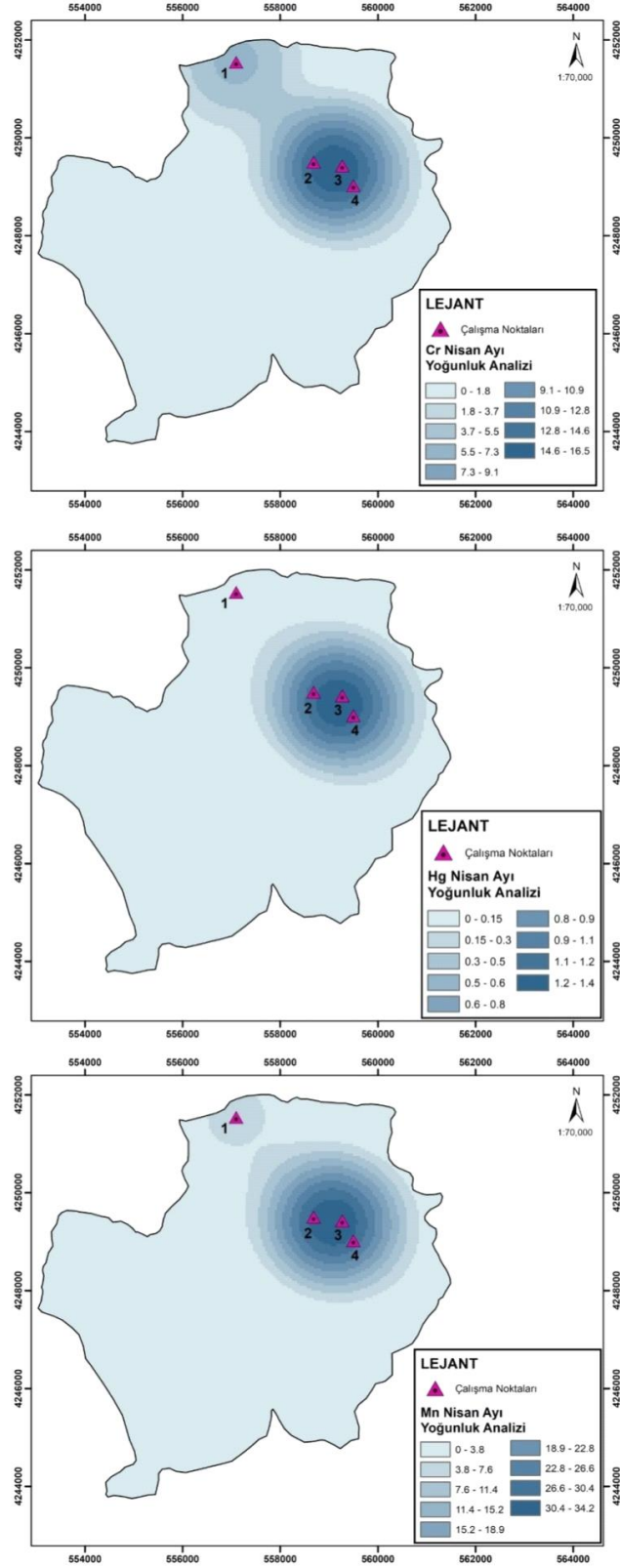
Şekil 3. Mart Ayı Yoğunluk Analiz Haritaları (Cr, Hg, Mn)



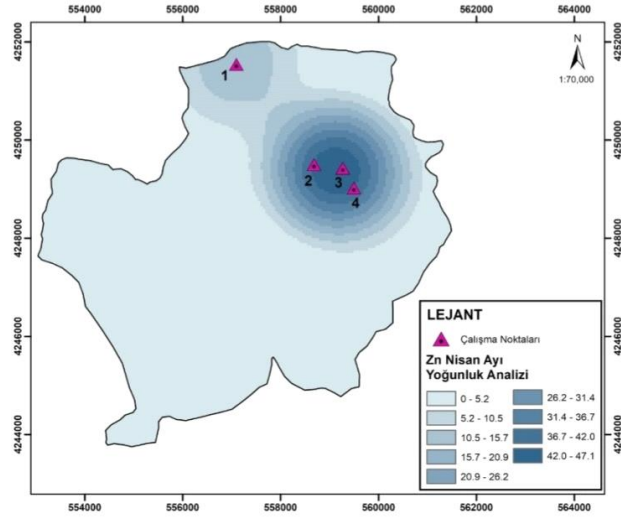
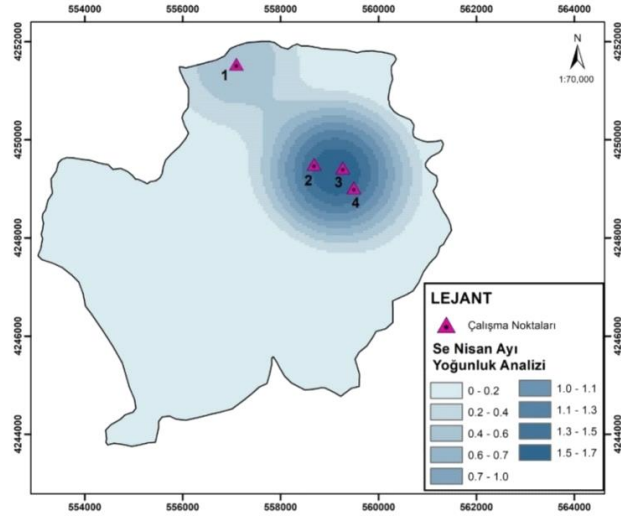
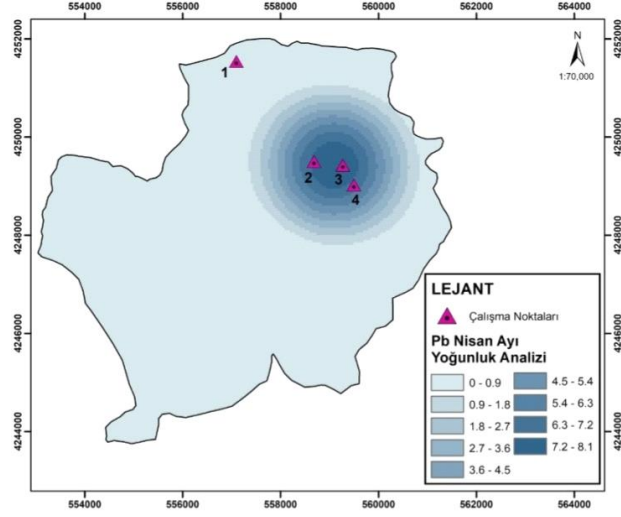
Şekil 4. Mart Ayı Yoğunluk Analiz Haritaları (Pb, Se, Zn)



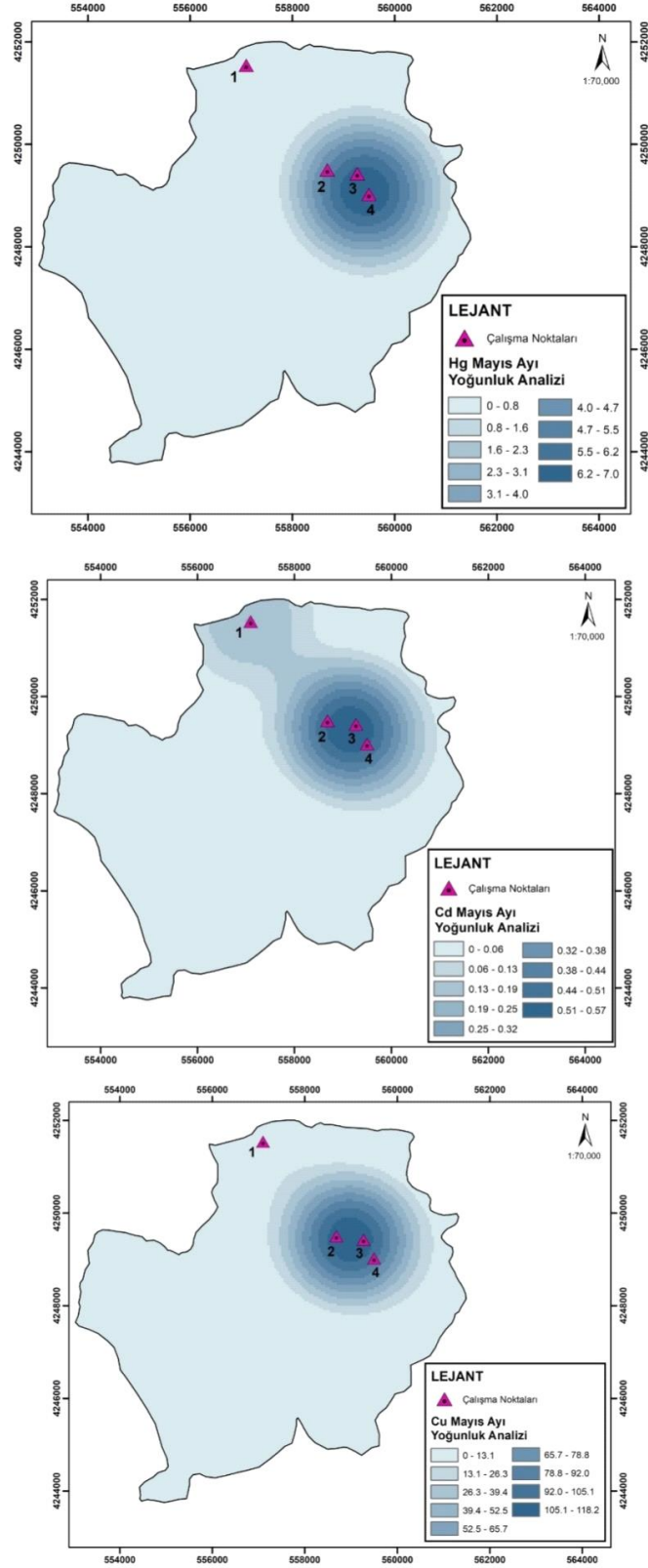
Şekil 5. Nisan ayı yoğunluk analiz haritaları (As, Cd, Cu)



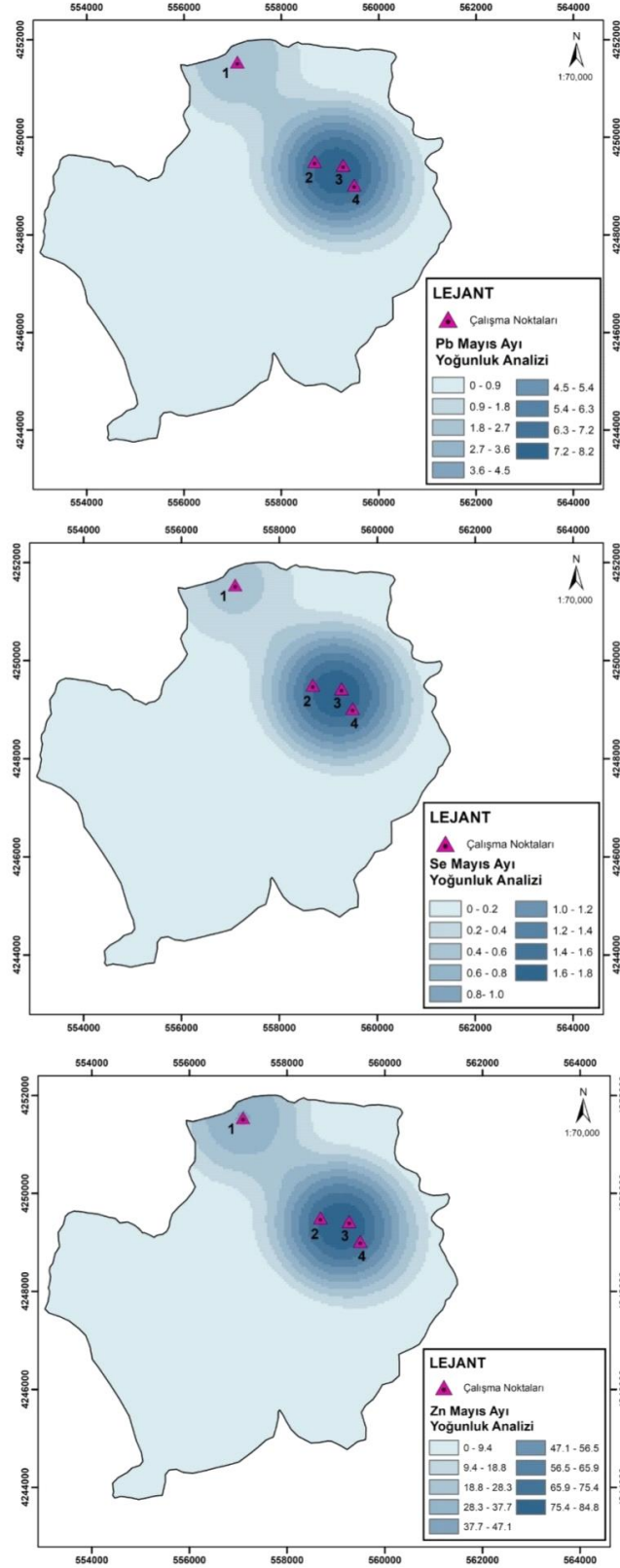
Şekil 6. Nisan ayı yoğunluk analiz haritaları (Cr, Hg, Mn)



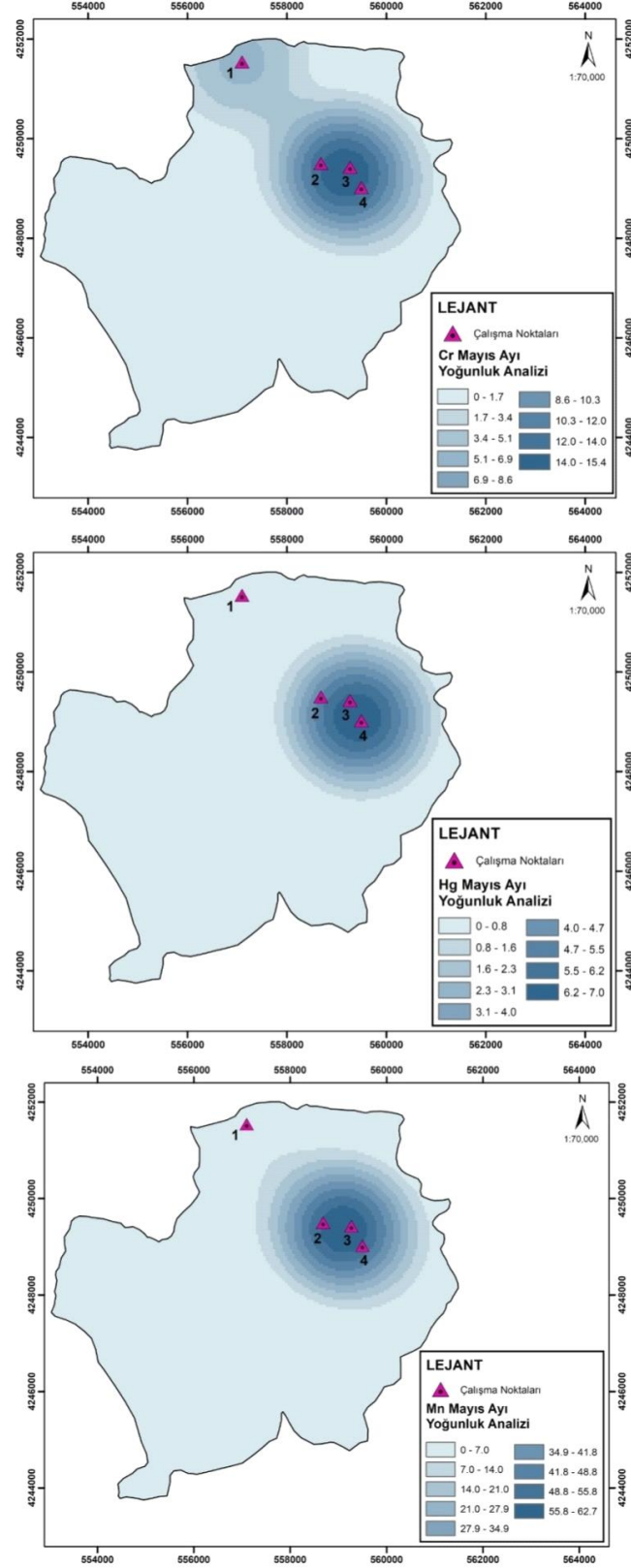
Şekil 7. Nisan ayı yoğunluk analiz haritaları (Pb, Se, Zn)



Şekil 8. Mayıs ayı yoğunluk analiz haritaları (As, Cd, Cu)



Şekil 9. Mart ayı yoğunluk analiz haritaları (Pb, Se, Zn)



Şekil 10. Mayıs ayı yoğunluk analiz haritaları (Cr, Hg, Mn)

Elde edilen yoğunluk haritalarında da mambadan mansaba doğru yükselen cıva ve bakır yoğunluğu net bir şekilde göze çarpmaktadır. Aynı bölgede yapılan bir başka çalışmada ise 2009 yılında yapılan analizlerdeki cıva konsantrasyonları 0.1-1.64 $\mu\text{g}/\text{l}$ arasında değişmektedir. En yüksek değer ilk

istasyonda (Maden ilçe merkezi) 1.64 µg/l ölçülmüştür. Dicle Nehri'nde 2008-2012 yılları arasında yürütülen bir çalışma esnasında yapılan ölçümlerde ise bakır konsantrasyonu 1.5-2129 µg/l arasında değişmektedir [5]. Bölgedeki yeraltı sularının kalitesinin irdelendiği bir çalışmada, yeraltı sularında kirletici konsantrasyonunun doğal süreçlerle kabul edilebilir bir düzeye indirildiği ifade edilmiştir. Ancak bu doğal tamponlamanın, akiferdeki doğal zayıflama süreçleri, üstteki jeolojik birimlerin kireç taşı ve kirleticileri daha kolay absorbe eden killi katmanlara sahip çamurtaşı içermesi gibi faktörler sebebiyle kırılarak bir süre sonra kirliliğin yeraltı suyuna ulaşabileceği ifade edilmektedir[26].

Farklı bir çalışmada, yine bölgeden alınan su numunelerinde bakır miktarının yüksekliği göze çarpmaktadır [27]. Madencilik faaliyetleri sürdürülebilir çevre yönetimi anlayışı ile yapılmadığında yani sadece ekonomik kaygılar gözetildiğinde akuatik sistemler olumsuz yönde etkilenmektedirler. Farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda da aynı durum söz konusudur. Örneğin; Seydisuyu Deresi'nde on beş farklı noktada çeşitli su kalitesi gösterge parametrelerinin incelendiği çalışmada elde edilen bulgular; ülkemiz içme ve kullanma suyu parametreleri, Avrupa Birliği ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen değerler ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; arsenik ve boron derişimleri bakımdan içme suyu standartlarından daha yüksek olduğu vurgulanmıştır[28].Yine madencilik faaliyetlerinden önemli ölçüde etkilenen Emet Çayı su kalitesi üzerine yapılan bir araştırmada, Cr ve Ni metallerinin yarattığı kirlilik göze çarpmaktadır. Ayrıca yüksek toksisiteye sahip olan Emet Çayı Havzasındaki Cr ve Ni konsantrasyonlarının, gelecekteki balık popülasyonu yoğunluğunda sınırlayıcı bir faktör olabileceği ifade edilmektedir. Bizim çalışmamızda ise sudaki Cu ve Hg metal konsantrasyonları sucul ekosistemi en çok tehdit eden metaller olarak belirlenmiştir[29]. Felent Çayı'nda yapılan bir çalışmada ise Cd metali konsantrasyonu yüksekliğinin; tarımsal üretimde kullanılan fosfatlı gübreler olduğu ifade edilmiştir. Felent Çayı ile Maden Çayı'nın Cd değerleri kıyaslandığında, Maden Çayı'nın Cd değerleri oldukça düşüktür. Bunun sebebinin çalışmanın yapıldığı alanın, sarp arazilere sahip olmasından ve tarımsal üretime elverişli olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir[30]. Kısaca ifade etmek gerekirse Maden Çayı bölgede bulunan bakır madeninin baskısı altındadır. Bu olumsuz etkiler havzanın su yaşamı ve bölgenin halk sağlığı için önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır.

IV. SONUÇ

Maden Çayı'nda yapılan ağır metal analizlerinde, ağır metal konsantrasyonlarının bazı bölgelerde ciddi miktarlara ulaştığı görülmektedir. Yapılan analizler göstermektedir ki suda gözlemlenen yüksek bakır miktarının, Maden ilçe çıkışında bulunan ve bakır üretim faaliyeti gösteren tesislerden kaynaklandığı aşıkardır. Suda gözlemlenen krom miktarının ise Elâzığ bölgesinde faaliyet gösteren krom yataklarından kaynaklanabileceği değerlendirilse de kirletici kaynağın tam olarak yeri konusunda net bir öngöründe bulunulamamıştır. Ayrıca yine önemli sağlık sorunlarının sebebi olarak gösterilen ve toksik etkisi olan cıvanın kaynağı da tam olarak saptanamamıştır. Akarsularda oluşan kirletici birikimleri de göz önünde bulundurularak, metallerin sudaki konsantrasyonlarının yanında partikül sediman, toprak analizleri gibi daha detaylı ve uzun süreli çalışmaların yapılması daha anlamlı sonuçların ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak; tarımsal sulama, balıkçılık faaliyetleri ve içme suyu kaynağı olarak kullanılan Maden Çayı'nda ekolojik dengelerin korunması ve sürdürülebilir çevre yönetimi anlayışının oluşturulması amacıyla akarsuyun başta Hg ve Cu olmak üzere metal kirliliği yönünden izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, bölgedeki metal kirliliğinin yeraltı suyunu etkilememesi için gerekli havza koruma planları hazırlanmalıdır.

V. KAYNAKLAR

[1] T. Turna, "Bitkisel yağ sanayii atıksularının elektrokimyasal yöntemlerle arıtılması," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2020.

- [2] C. Koc, "Entegre Havza Yönetiminde Su Kaynaklarını Modern Yöntemler ile Ölçme, İzleme ve Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması," *Eur. J. Sci. Technol.*, s. 14, ss. 222–227, 2018, doi: 10.31590/ejosat.358213.
- [3] M. E. Erkan and A. Vural, "Dicle Nehrinin Hijyenik Kalitesi Üzerine Bir Araştırma A Study About of Hygienic Quality of Dicle (Tigris) River," *Dicle Tıp Derg.*, c. 33, s. 4, ss. 205–209, 2006.
- [4] F. Çetinkaya, "Dicle nehri'nin (Türkiye) böcek (insecta) larvaları üzerine bir araştırma," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2013.
- [5] H. B. Yıldız, "Yukarı Dicle havzasında su kalitesinin zenginleşme faktörü kullanılarak zamana ve mekana bağlı değişiminin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [6] EİEİ, "Akım Gözlem Yıllığı," Ankara, 2021-01-14, 2005.
- [7] M. Topal and E. I. A. Topal, "Maden Sahasından Kaynaklanan Sızıntı Sularının Maden Çayına Etkisi: I. Ağır Metaller," *Karaelmas Sci. Eng. J.*, c. 1, s. 2, ss. 55–59, 2011.
- [8] ÇŞB, "Elazığ İl Çevre Durum Raporu," Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Elazığ Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Ankara, 2011.
- [9] S. Aras and G. G. İpek, "Kızılırmak Nehri (Nevşehir) Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi," *Kahramanmaraş Sutcu Imam Univ. J. Eng. Sci.*, c. 22, s. 2, ss. 48–57, 2019.
- [10] M. Gümrükçüoğlu and O. Baştürk, "Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Sakarya Nehri Kirlilik Yükünün Belirlenmesi," in *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 2007.
- [11] Ö. Zeydan, N. Özdoğan, Ş. P. Taştepe, and D. Demirtas, "Kozlu Deresinde (Zonguldak) Su Kalitesinin İncelenmesi," *Doğal Afetler ve Çevre Derg.*, c. 5, s. 2, ss. 1–11, 2019.
- [12] F. Başçıftçi, S. S. Durduran, and C. Inal, "Konya Kapalı Havzasında Yeraltı Su Seviyelerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) İle Haritalanması," *Harit. Teknol. Elektron. Derg.*, c. 5, s. 2, ss. 1–15, 2013.
- [13] B. Verap, S. Serdar, A. E. Özçelik, and T. Yüksek, "Doğu Karadeniz Havzası Akarsuları Fiziko-Kimyasal Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Dağılımının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Belirlenmesi," *J. Anatol. Environ. Anim. Sci.*, c. 5, s. 4, ss. 725–742, 2020, doi: 10.35229/jaes.836736.
- [14] H. Cüce and G. Bakan, "Sığ Bir Gölde Sediman Kalitesinin Trofik Duruma Etkisinin Değerlendirilmesi; Balık Gölü Örneği (Kızılırmak Deltası)," *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 7, s. 1, ss. 83–97, 2017.
- [15] C. Tokatli, A. Uğurluoğlu, A. Çiçek, and A. Emiroğlu, "Use of Geographic Information System (GIS) to Evaluate the Water Quality of Gala Lake (Edirne)," *Sigma J. Eng. Nat. Sci.*, c. 32, pp. 490, 2014.
- [16] C. Tokatli, "Water and sediment quality assessment of the lifeblood of Thrace Region (Turkey): Meriç River Basin," *Fresenius Environ. Bull.*, c. 28, s. 5, ss. 4131–4140, 2019.

- [17] E. Atabey, "Elementler ve sağlığa etkileri," *Hacettepe Üniversitesi Mezotelyoma ve Med. Jeol. Araş. ve Uygul. Merk. Yayınları*, c. 1, ss. 619, 2015.
- [18] E. Köse, A. Çiçek, K. Uysal, C. Tokatlı, Ö. Emiroğlu, and N. Arslan, "Heavy Metal Accumulations in Water, Sediment, and Some Cyprinid Species in Porsuk Stream (Turkey)," *Water Environ. Res.*, c. 87, s. 3, ss. 195–204, Mar. 2015, doi: 10.2175/106143015X14212658612993.
- [19] G. Özbolat and A. Tuli, "Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri," *Arşiv Kaynak Tarama Derg.*, c. 24, s. 4, ss. 502–521, 2016, doi: 10.17827/aktd.253562.
- [20] S. Alemdar, S. Ağaolgu, M. Alisarlı, and S. Dede, "Van Bölgesi Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri," *Vet. Bilim. Derg.*, c. 23, s. 1, ss. 19–29, 2007.
- [21] S. C. Chapra, *Yüzeysel Su Kalitesi Modelleme - Surface Water-Quality Modeling*. Nobel Akademik Yayıncılık: Ankara, 2015.
- [22] A. Türkmen and S. Akbulut, "Giresun Sahilindeki Bazı Derelerin Denize Deşarj Olduğu Noktalardaki Su ve Sedimentte Ağır Metal Kirliliği," *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 3, s. 9, ss. 707–714, 2015.
- [23] YSKYY, *Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Resmî Gazete:29327 Tarihi, 15, 2015., 2015.
- [24] P. Rameshkumar, N. M. Huang, and L. S. Wei, "Visual and spectrophotometric determination of mercury(II) using silver nanoparticles modified with graphene oxide," *Microchim. Acta*, c. 183, s. 2, ss. 597–603, 2016, doi: 10.1007/s00604-015-1680-8.
- [25] R. Saxena, P. L. Meena, and S. Tiwari, "Determination of copper in industrial water by innovative flow injection flame atomic absorption spectrometry," *Instrum. Sci. Technol.*, c. 44, s. 2, ss. 210–222, Mar. 2016, doi: 10.1080/10739149.2015.1089275.
- [26] M. I. Yesilnacar and Z. Kadiragagil, "Effects of acid mine drainage on groundwater quality: A case study from an open-pit copper mine in eastern Turkey," *Bull. Eng. Geol. Environ.*, c. 72, s. 3–4, ss. 485–493, 2013, doi: 10.1007/s10064-013-0512-5.
- [27] H. Karadede, "Dicle Nehri'nde su, sediment ve bentik bazı canlı organizmalardaki ağır metal birikiminin araştırılması," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2002.
- [28] C. Tokatlı, E. Köse, and A. Çiçek, "Assessment of the Effects of Large Borate Deposits on Surface Water Quality by Multi Statistical Approaches: A Case Study of Seydisuyu Stream (Turkey)," *Polish J. Environ. Stud.*, c. 23, s. 5, 2014.
- [29] C. Tokatlı, A. Çiçek, Ö. Emiroğlu, N. Arslan, E. Köse, and H. Dayioğlu, "Statistical approaches to evaluate the aquatic ecosystem qualities of a significant mining area: Emet stream basin (Turkey)," *Environ. Earth Sci.*, c. 71, s. 5, ss. 2185–2197, 2014, doi: 10.1007/s12665-013-2624-4.
- [30] C. Tokatlı, E. Köse, A. Çiçek, N. Arslan, and Ö. Emiroğlu, "Evaluations of water quality and the determination of trace elements on biotic and abiotic components of Felent Stream (Kütahya, Sakarya River Basin/Turkey)," *Biol. Divers. Conserv.*, c. 5, s. 2, ss. 73–80, 2012.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Anatomy and Trichome Micromorphology of Endemic *Ballota pseudodictamnus* subsp. *lycia* (Lamiaceae)

 Bahar GÜRDAL^{a,*}

^a Department of Pharmaceutical Botany, Faculty of Pharmacy, İstanbul University, İstanbul, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: bahar.gurdal@istanbul.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.883832

ABSTRACT

In this study, the anatomical features of *Ballota pseudodictamnus* (L.) Benth. subsp. *lycia* Hub.-Mor. (Lamiaceae), endemic taxa from Turkey are examined and evaluated by light (LM) and scanning electron microscopy (SEM). Different trichome types (glandular -including Lamiaceae type, capitate and peltate- and non-glandular trichomes) are observed. The densest trichome type is dendroid trichomes on the aerial part of the plant. The leaf is bifacial and amphistomatic. In the petiole, there are two collateral vascular bundles in the centre and one small vascular bundle in each corner. The prismatic crystals are present in the pith area of the stem. Results are compared with other studies in the literature. The anatomical characteristics of the stem, petiole, lamina and measurements are presented additionally trichome micromorphology is given for the first time.

Keywords: *Ballota pseudodictamnus* subsp. *lycia*, Anatomy, Trichome micromorphology, Lamiaceae, Turkey

Endemik *Ballota pseudodictamnus* subsp. *lycia* (Lamiaceae) Türünün Anatomisi ve Trikom Mikromorfolojisi

Öz

Bu çalışmada Türkiye için endemik olan *Ballota pseudodictamnus* (L.) Benth. subsp. *lycia* Hub.-Mor. (Lamiaceae) taksonunun anatomik özellikleri ışık ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenip değerlendirilmiştir. Farklı trikom tipleri (glandular -kapitat, peltat ve Lamiaceae tipi dahil- ve glandular olmayan trikomlar) gözlenmiştir. En yoğun trikom tipi, bitkinin toprak üstü kısımlarında bulunan dendroid trikomlardır. Yaprak mezofili bifasyal ve stomalar amfistomatiktir. Yaprak sapında, merkezde iki kollateral iletim demeti ve her köşede birer küçük iletim demeti vardır. Gövde öz bölgesinde prizmatik kristaller bulunmaktadır. Sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Gövde, petiyol ve lamina anatomik özellikleri, ölçüleri bunlara ilaveten trikom mikromorfolojisi ilk kez verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Ballota pseudodictamnus* subsp. *lycia*, Anatomi, Trikom mikromorfolojisi, Lamiaceae, Turkey

I. INTRODUCTION

The genus *Ballota* L. is represented by 35 species belonging to Lamiaceae (subfamily Lamioideae) in the world [1, 2]. It is represented by 17 taxa in the Turkish flora and 9 of them are endemic - endemism 53% [3, 4]. *Ballota pseudodictamnus* (L.) Benth. subsp. *lycia* Hub.-Mor., the subject of this study, is one of the endemic species in the South-west of Turkey. *Ballota* is a genus of low-growing perennial herbs and subshrubs, mainly distributed around the Mediterranean and Eurasia [5].

Ballota taxa are used in traditional folk medicine. These are noteworthy as herbal drugs. For instance, species are used for cold, flu, flatulence, hemorrhoids in Turkey [6-8] for hysteria in Bosnia and Herzegovina [9], as an antispasmodic, sedative and for jaundice, hemorrhoids in Italy [10, 11], to stimulate milk production in pregnant women in South Africa [12], for stomach and intestinal pain in Jordan [13].

Ballota taxa have different phytochemical classes such as terpenoids, flavonoids, phenolic acids, essential oils, iridoids, saponins, tannins and organic acids [5]. Saltan-Citoglu *et al.* [14] studied the chemotaxonomy of *Ballota* species in Turkey. For this aim they determined “the diterpenoid and flavonoid profiles of *Ballota* species”. They found that there were some meaningful links but in general view no concord findings between phylogenetic orders and the sections.

Metcalf and Chalk [15] demonstrated that the structure of trichomes has taxonomic significance in the Lamiaceae. The structure of the vascular bundles in petioles is also a useful characteristic in the Lamiaceae. In the literature there are a few anatomical, morphological and palynological studies on *Ballota* taxa [16-18]. This study is aimed to investigate detailed anatomy and trichome features of *B. pseudodictamnus* subsp. *lycia* and determine the distinctive feature.

II. MATERIALS and METHODS

Ballota pseudodictamnus subsp. *lycia* were sold in Fethiye (South-west part of Turkey) public market by local people and collected from Taşyaka village, Fethiye, Turkey. The collected plant specimens were identified using “Flora of Turkey and the East Aegean Islands” [3] and compared the plant with the specimens deposited in the ISTE (the Herbarium of the Faculty of Pharmacy of Istanbul University). We kept the studied plant materials as a herbarium specimen in ISTE Herbarium (ISTE no: 117092). The materials were fixed in 70% alcohol - used for anatomical studies. Cross-sections of the plant petiole, stem, and surface sections of leaves taken by free-hand in the middle part using a razor blade. The sections were stained with Sartur solution (a compound reagent of lactic acid, Sudan III, aniline, iodine, potassium iodide, alcohol, and water) [20]. The measurements were made on 20 sections taken from five different leaves and stems. The well-staining sections were photographed with Canon A 640 digital camera and Olympus BH-2 light microscopy (LM).

For scanning electron microscopy (SEM) analysis, the samples (petiole, lamina, calyx, and stem) were mounted on stubs and then coated with gold. The FEI Quanta 450 FEG-EDS SEM was used for trichome micromorphology. The general classification and the terminology follow Metcalfe & Chalk [15], as well as Osman [18].

The stomatal index was calculated according to the method of Meidner and Mansfield [21]. Anatomical measurements were made by using the image analysis systems KAMERAM (ARGENIT Microsystems). The trichomes were investigated by LM and SEM.

III. RESULTS

Ballota pseudodictamnus subsp. *lycia* is an endemic taxon in Turkey. The aerial part of the taxon is used as a sedative and sold in Fethiye (Southwest of Turkey) public market by local people. In this study detailed the anatomy of *B. pseudodictamnus* subsp. *lycia* is investigated. Anatomical measurements are summarized in Table 1 and photos are shown in Figure 1.

Table 1. Anatomical measurements of *B. pseudodictamnus* subsp. *lycia*. Avr: average, Sd: standard deviation.

Lamina	Measurements
Upper epidermis - Stomata index	20.02
Lower epidermis - Stomata index	23.21
Stomata index ratio	0.86
Stomata length (μm) (Avr. \pm Sd)	21.58 \pm 1.04
Stomata width (μm) (Avr. \pm Sd)	17.04 \pm 0.59
Stem	
Epidermis cell length (μm) (Avr. \pm Sd)	8.11 \pm 0.73
Epidermis cell width (μm) (Avr. \pm Sd)	11.45 \pm 1.67
Diameter of pith ray cell (μm) (Avr. \pm Sd)	47.90 \pm 6.51
Diameter of trachea (μm) (Avr. \pm Sd)	26.96 \pm 3.71

A. 1. Stem Anatomy

In the transverse section the stem is quadrangular. The epidermis is covered by thick cuticles (c. 0.7 μm) with non-glandular and glandular trichomes. The surface densely bears dendroid trichomes. The epidermis is composed of a single layer of oval-rectangular cells. The collenchyma tissue is located under the epidermis which is 7–10 layer at the corners and 3–4 layered is found between the corners. The cortex, consisting of 1–3 layered parenchymatous cells, is located under the collenchyma. The endodermis is distinct and composed of 1–2 layers of rectangular cells. The phloem is partly surrounded by 1–3 layers of sclerenchyma cell. The pith is present at the middle of the stem and is filled up with large parenchymatous cells. Prismatic crystals are observed in the pith area (Figure 1A).

A. 2. Petiole Anatomy

In transverse section, the petiole shows that the adaxial surface is convex and has small protrusions at the abaxial side. There are glandular and densely dendroid trichomes on both surfaces. The epidermis is composed of rectangular to oval cells and covered by a cuticle. The 3–5 layered collenchyma is located under the epidermis. There are two collateral vascular bundles in the centre and one small vascular bundle in each corner. The vascular bundle type is collateral (Figure 1B).

A. 3. Lamina Anatomy

In the transverse section of the lamina, the upper and the lower epidermis are covered with a cuticle layer (c. 0.5 μm). There are glandular and non-glandular trichomes on both sides. Both epidermis layers consist of a single layer, rectangular or squarish cells. The stomata cells are present on both sides of epidermis; amphistomatic (Figure 1C). The leaf is of the bifacial. The palisade cells are elongated rectangularly, (1–) 2 layered and the spongy parenchyma cells are 2–3 layered with large intercellular spaces. The vascular bundle is the collateral type and surrounded by sclerenchyma cells (Figure 1D).

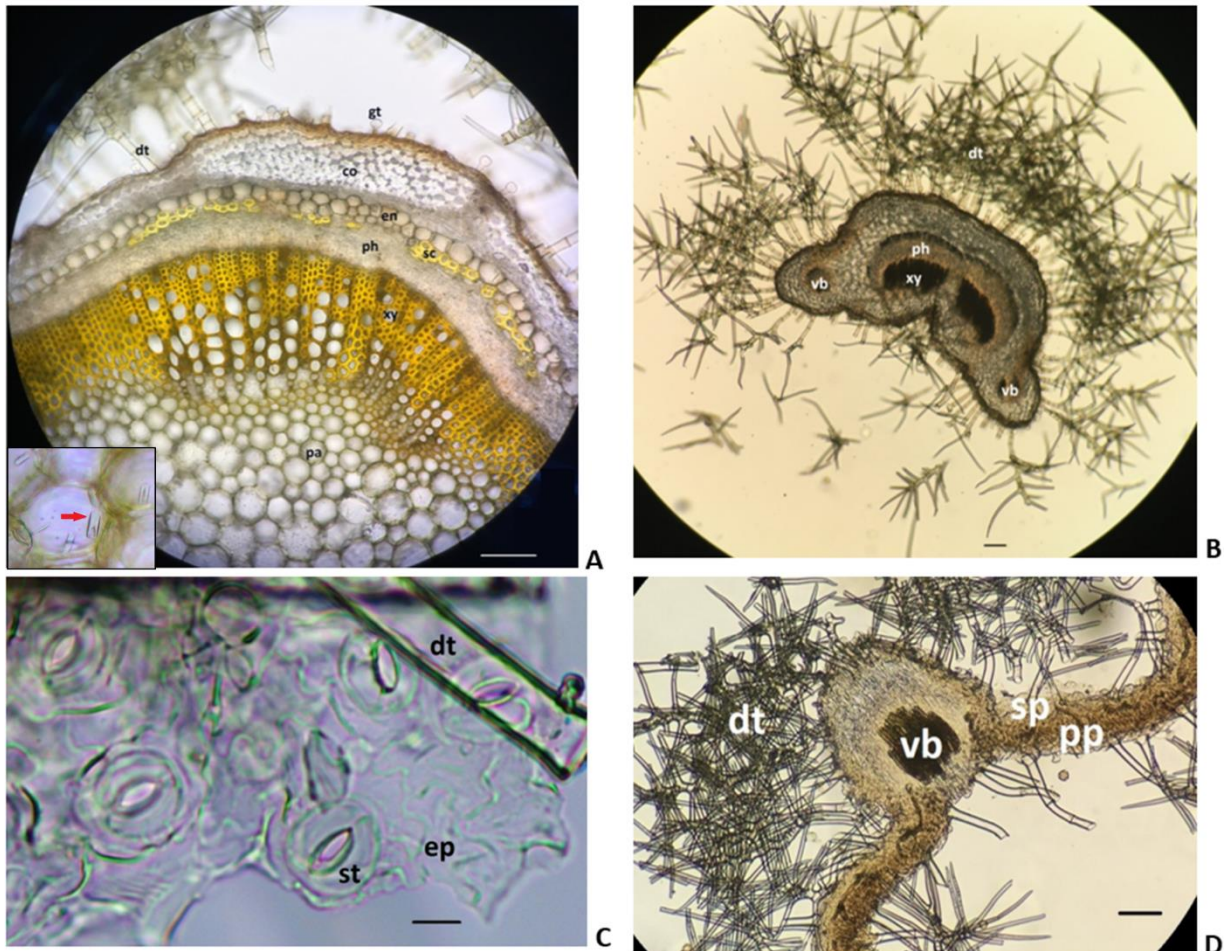


Figure 1. **A-** Cross-sections of the stem (Scale: 100 μm), **B-** Cross-section of the petiole (Scale: 100 μm) **C-** Lower epidermis (Scale: 10 μm), **D-** Cross-section of the leaf blade (Scale: 100 μm) dt: dendroid trichomes; gt: glandular trichomes; co: collenchyma; sc: sclerenchyma; xy: xylem; ph: phloem; en: endodermis; pa: parenchymatic cells; vb: vascular bundle; st: stomata; ep: epidermis; sp: spongy parenchyma; pp: palisade parenchyma

A. 4. Trichome Micromorphology

Different trichome types are observed. LM and SEM micrographs of trichomes of *B. pseudodictamnus* subsp. *lycia* are given in Figures 2 and 3. The densest trichome type is dendroid trichomes on the whole part of the plant. It is branched longitudinally at the nodes of the uniseriate long stalk cells. Multicellular non-glandular trichomes are found on the petiole. Different glandular trichomes are identified on the whole parts: unicellular stalked with unicellular head trichome, unicellular stalked with bicellular head trichome, unicellular stalked with 8 cells head trichome (Lamiaceae type glandular trichome).

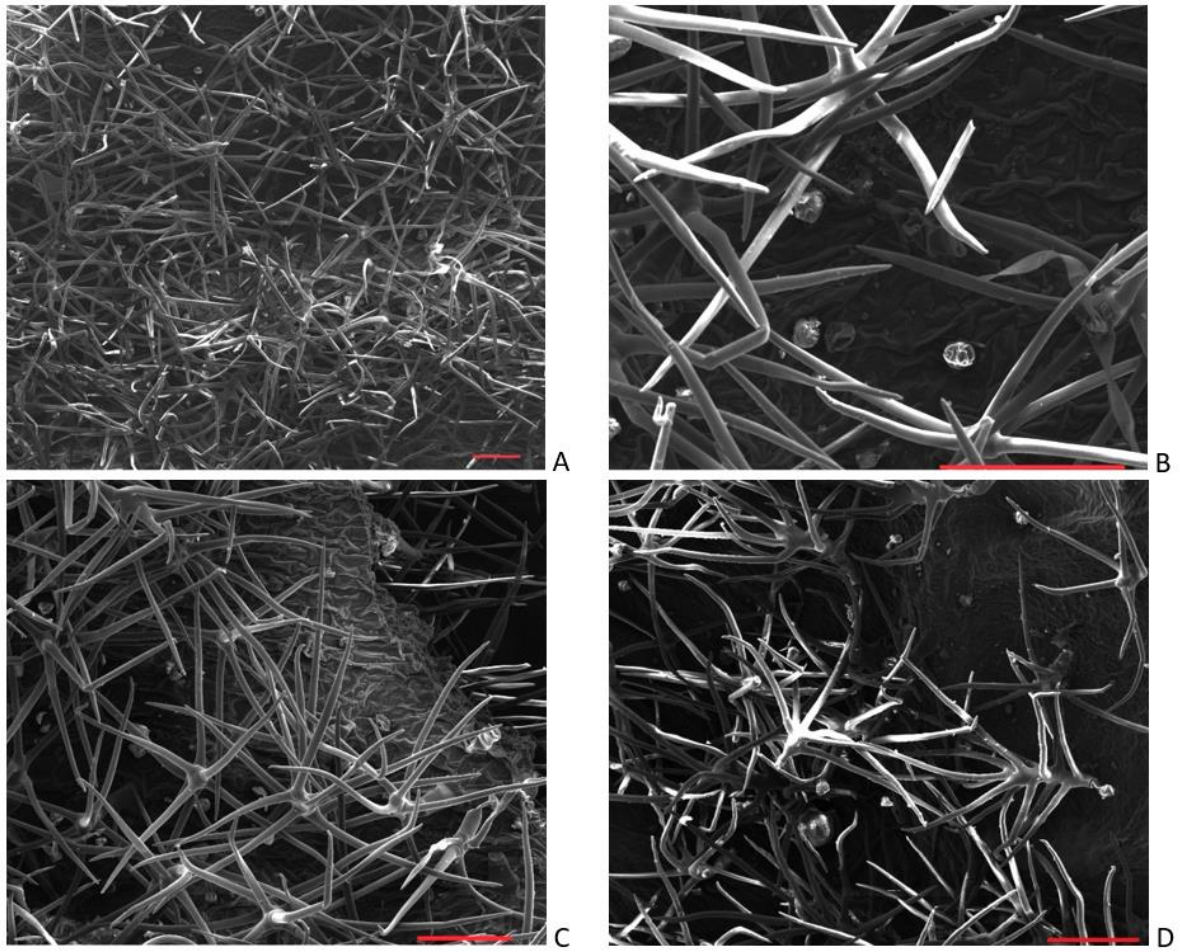


Figure 2. SEM micrographs of trichomes of *Ballota pseudodictamnus* subsp. *lycia*. Stem (A), petiole (B), lamina (C), calyx (D). Scale bars: 100 μ m

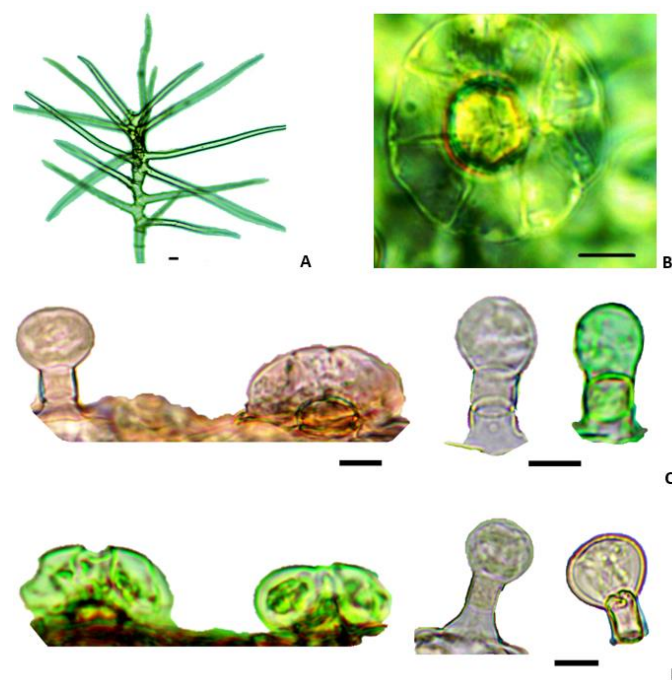


Figure 3. Light micrographs of trichomes of *Ballota pseudodictamnus* subsp. *lycia*. **A-** Dendroid trichome **B-** unicellular stalked with 8 cells head trichome on leaves **C-** glandular trichomes (capitate and peltate) on petiole **D-** glandular trichomes (peltate and capitate) on stem. Scale bars: 10 μ m

IV. DISCUSSION

According to Metcalfe & Chalk [15], the arrangement of the collenchyma in the stem is diagnostic value and also the vascular structure of the petiole is taxonomic interest for the family Lamiaceae. A few anatomical studies have been conducted about some taxa of the genus *Ballota*. Some anatomical properties show differences between the taxa.

Trichomes micromorphology of Egyptian *Ballota* was examined by Osman [18]. He showed the significant variability of the indumentum among taxa and so that, provided valuable characters in the identification of species. He also presented an identification key for trichomes. According to his results *B. pseudodictamnus* (L.) Benth. subsp. *pseudodictamnus* has prickles, unicellular and dendritic trichomes as non-glandular. Besides that, it has unicellular to a multicellular head and unicellular stalked trichomes as glandular trichomes. In our study *B. pseudodictamnus* subsp. *lycia* has dendroid and multicellular non-glandular trichomes in addition to this same glandular trichomes types of *B. pseudodictamnus* subsp. *pseudodictamnus*. Trichomes differences between these two subspecies are prickles, unicellular and multicellular non-glandular trichomes. Trichomes are also a useful key characters in Flora of Turkey [3]. A group of taxa, including *B. pseudodictamnus* subsp. *lycia*, are distinguished from others by trichomes. So that, the presence of dendritic and stellate trichomes has a great systematic value for taxa division. Şahin *et al.* [16] studied the morphology and anatomy of *B. nigra* L. subsp. *nigra*. They identified different trichome types in the stem and leaves, and observed idioblasts in the pith region. Osman [17] studied anatomy and palynology of the genus *Ballota* from Egypt. One of them was *B. pseudodictamnus* subsp. *pseudodictamnus*. The anatomy of stem and petiole was examined. The raphide crystals were identified in the pith of four studied taxa (*B. damascene* Boiss., *B. pseudodictamnus* (L.) Benth. subsp. *pseudodictamnus*, *B. kaiseri* Täckh. and *B. undulata* (Sieber ex Fresen.) Benth., except *B. saxatilis* Sieber ex C.Presl). Two types of collenchyma (annular and lamellar) were observed in the stem of *B. pseudodictamnus* subsp. *pseudodictamnus*, annular collenchyma at the

corners (6 – 12 layers), and lamellar collenchyma in between the corners (3 – 4 layers). In our study, prismatic crystals were present in the pith area of the stem. Angular collenchyma at the corners and lamellar collenchyma between the corners were observed in the stem. Differences in crystal types and collenchyma types can be useful in distinguishing subspecies of *B. pseudodictamnus*.

V. CONCLUSIONS

In conclusion, the stem, petiole, lamina anatomy, and trichome micromorphology of *B. pseudodictamnus* subsp. *lycia* are studied in detail. The presence of dendritic and stellate trichomes is a useful key character for this taxon in Flora of Turkey. Trichomes differences between the two subspecies of *B. pseudodictamnus* are prickles, unicellular, and multicellular non-glandular trichomes. According to our data and the literature, anatomy studies (presence of glandular and non-glandular trichomes, stomata character, vascular structure, etc.) and trichome micromorphology can be useful tools in the taxonomy of the genus *Ballota*. Anatomy of medicinal plants is also providing distinctive character to identify them and used in pharmacopeias and monographs.

ACKNOWLEDGEMENT: I would like to thank Yeliz Tunç for providing the plant materials.

VI. REFERENCES

- [1] F. Celep and T. Dirmenci, “Systematic and biogeographic overview of Lamiaceae in Turkey,” *Nat. Volatiles & Essent. Oils*, vol. 4, no. 4, pp. 14-27, 2017.
- [2] The Plant List, 2013, Version 1.1. <http://www.theplantlist.org/>
- [3] P.H. Davis, *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, vol. 7, Edinburgh: Edinburgh University Press, 1982.
- [4] A. Güner, S. Aslan, T. Ekim, M. Vural and M.T. Babaç, *Turkish Vascular Plant List*, İstanbul, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, 2012.
- [5] K. Morteza-Semnania and Z. Ghanbarimasir, “A review on traditional uses, phytochemistry and pharmacological activities of the genus *Ballota*,” *J. Ethnopharmacol.*, vol. 233, pp. 197-217, 2019.
- [6] G. Bulut, “Medicinal and wild food plants of Marmara Island (Balıkesir – Turkey),” *Acta Soc. Bot. Pol.*, vol. 85, no. 2, 2016, Art no. 3501.
- [7] Ş. Kültür, “Medicinal plants used in Kırklareli Province (Turkey),” *J. Ethnopharmacol.*, vol. 111, pp. 341-364, 2007.
- [8] E. Yesilada *et al.*, “Traditional medicine in Turkey V, Folk medicine in the inner Taurus Mountains,” *J. Ethnopharmacol.*, vol. 46, pp. 133-152, 1995.
- [9] S.S. Redzic, “The ecological aspect of ethnobotany and ethnopharmacology of population in Bosnia and Herzegovina,” *Coll. Antropol.*, vol. 1, no. 3, pp. 869-890, 2007.
- [10] C. Guarino, L. De Simone and S. Santoro, “Ethnobotanical study of the Sannio Area, Campania, Southern Italy,” *Ethnobot. Res. Appl.*, vol. 6, pp. 255-317, 2008.

- [11] M.L. Leporattii and P.M. Guarrera, "Ethnobotanical remarks in Capitanata and Salento Areas (Puglia, Southern Italy)," *Etnobiología*, vol. 5, pp. 51-64, 2007.
- [12] J.J.J De Beer and B.E. Van Wyk, "An ethnobotanical survey of the Agter-Hantam, Northern Cape Province, South Africa," *S. Afr. J. Bot.*, vol. 77, pp. 741-754, 2011.
- [13] S.A.S. Oran and D.M.H. Al-Eisawi, "Ethnobotanical survey of the medicinal plants in the central mountains (North-South) in Jordan," *JBES*, vol. 6, no. 3, pp. 381-400, 2015.
- [14] G. Saltan-Citoglu, S. Yilmaz, B. Tarikahya and R. Tipirdamaz, "Chemotaxonomy of *Ballota* species," *Chem. Nat. Compd.*, vol. 41, no. 3, pp. 299-302, 2005.
- [15] C.R. Metcalfe and L. Chalk, *Anatomy of the Dicotyledons*, vol. 2, London, Oxford Press, 1950.
- [16] F.P. Şahin, M.C. Toker and N. Ezer, "Botanical properties of a mild sedative: *Ballota nigra* L. subsp. *nigra*," *Fabad J. Pharm. Sci.*, vol. 30, pp. 94-99, 2005.
- [17] A.K. Osman, "Comparative anatomical and palynological studies on genus *Ballota* (Lamiaceae) from Egypt," *J. Med. Plant Res.*, vol. 6, no. 47, pp. 5797-5812, 2012.
- [18] A.K. Osman, "Trichome micromorphology of Egyptian *Ballota* (Lamiaceae) with emphasis on its systematic implication," *Pak. J. Bot.*, vol. 44, no. 1, pp. 33-46, 2012.
- [19] A.N. Yazgan, G. Yılmaz and B. Sever Yılmaz, "Anatomical studies on *Ballota acetabulosa* (L.) Benth." *J. Fac. Pharm.*, vol. 39, no. 4, pp. 265-274, 2010.
- [20] S. Çelebioğlu and T. Baytop, "A new reagent for the examination of herbal powders," *Farmakolog*, vol. 19, pp. 301, 1949.
- [21] H. Meidner and T.A. Mansfield, *Physiology of Stomata*, McGraw-Hill, New York, U.S.A., 1968.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Düşük Dolu Oranında İkili Karışımlarla Yüklü Üniform Olmayan Atımlı Isı Borusunun Deneysel İncelenmesi

 Burak MARKAL ^{a,*},  Ramazan VAROL ^b

^a Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

^b Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: burak.markal@erdogan.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.879662

ÖZ

Bu çalışmada, düşük bir dolma oranında ikili karışımlarla yüklü, üniform olmayan kanal profiline sahip düz plakalı kapalı döngülü atımlı bir ısı borusunun ısı performans ve akış davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler kapsamında iş akışkanı olarak, etanol (E) ve metanolün (M) farklı hacim oranları (E:M = 1:1, 1:2 ve 2:1) için elde edilen ikili karışımları kullanılmıştır. Dolu oranı %20 olarak sabit tutulmuş olup; 0°, 45° ve 90° olmak üzere üç farklı eğim açısında çalışılmıştır. Akış davranışı yüksek hızlı kamera ile elde edilen eş zamanlı görüntüler üzerinden irdelenmiştir (saniyede 1000 görüntü). Yapılan çalışma sonucunda; karışım oranının çalışmaya başlama performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu; artan metanol oranı ile ısı performansın arttığı ve ısı borusunun, tüm karışım oranlarında, yer çekimi desteği olmadan da çalışabildiği belirlenmiştir. Isı transfer karakteristiklerinde artan eğim açısıyla iyileşme gözlemlenmiştir. Akış görüntüleri aracılığıyla, akış pasajları içerisindeki fiziksel olaylar tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İkili Karışım, Isıl performans, Atımlı ısı borusu

Experimental Investigation of a Non-Uniform Pulsating Heat Pipe Charged by Binary Mixtures at a Low Filling Ratio

ABSTRACT

In this study, thermal performance and flow behavior of flat-plate closed loop pulsating heat pipe having non-uniform channel profile and being charged by binary mixtures at a low filling ratio are experimentally investigated. In the experiments, binary mixtures of ethanol (E) and methanol (M) obtained at different volume mixing ratio (E:M = 1:1, 1:2 and 2:1) are used as working fluid. The filling ratio is kept constant as 20%; while it is studied three different inclination angles as 0°, 45° and 90°. Flow behavior is investigated via simultaneous images obtained by a high speed camera (1000 fps). It is concluded that the volume mixing ratio has a great importance on startup performance, the thermal performance increases with increasing methanol ratio, and the heat pipe can operate at all mixing ratios without the aid of gravity. It is observed that the heat transfer characteristics improve with increasing inclination angle. Through the flow images, physical phenomena in the flow passages are defined.

Keywords: Binary mixture, Thermal performance, Pulsating heat pipe

I. GİRİŞ

Gittikçe dijitalleşen dünyada, teknolojik ilerlemenin önündeki engellerden birisi de atık ısı problemi. Sistemlerden etkin bir şekilde uzaklaştırılmayan atık ısı, performansın düşmesine, güvenlik sorunlarına, ısıl gerilmelere ve dolayısıyla deformasyonlara yol açabilmektedir. Hassas mikro/nano ölçekli üretim tekniklerinin gelişmeye devam ettiği günümüzde, elektronik sistemlerin kapasiteleri artarken, hem kendi hem de yerleştirildikleri hacimlerin boyutları ise küçülmektedir. Dolayısıyla, küçük hacimlerden atık ısıyı etkin bir şekilde uzaklaştırabilecek, gelişmiş ısıl kontrol yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada, en popüler ve gelecek vadeden tekniklerden biri atımlı ısı borularıdır (PHP). Atımlı ısı boruları, Akachi [1] tarafından 1990 yılında literatüre tanıtıldıktan sonra, özellikle klasik ısı borularından farklı olarak, fitil kullanımı gerektirmemeleri ve sürüklenme ve kılcallık limiti gibi çalışmayı olumsuz etkileyen fiziksel mekanizmalara maruz kalmamaları sebebiyle ön plana çıkmıştır. Üretim kolaylığı, pasif karaktere sahip olmaları ve yüksek ısı aktarım kapasitesi gibi avantajlar, atımlı ısı borularına birçok alanda kullanım potansiyeli sunmaktadır. Uzay uygulamaları (uzay ve havacılık elektroniği) [2], [3]; LED çiplerin soğutulması [4]; elektrikli araç bataryalarının soğutulması [5]; faz değiştiren madde (PCM) destekli güneş enerjili damıtıcılarda PCM’de depolanan ısının, tuzlu suya aktarımı [6], ilgili potansiyel kullanım alanlarına örnek olarak verilebilir. Üretim, kullanım alanı potansiyeli ve üstün ısı transfer karakteristikleri gibi avantajlarından dolayı PHP’ler, güncel ve popüler araştırma konularından biridir.

Atımlı ısı boruları, iş akışkanı ve birbiriyle bağlantılı paralel akış kanalları formunda üretilen konteynir olmak üzere, sadece iki temel bileşenden oluşmaktadır. Temel geometrik yapıdaki bu basitliğe rağmen, atımlı ısı borularının akış yapısı; kaynamalı akış ve yoğunlaşma süreçleri, atım/salınım hareketleri yapan akış bileşenleri (sıvı yığınlar ve buhar kabarcıkları) ve zaman bağımlı değişiklikler gibi olayları içermesi sebebiyle oldukça karmaşıktır. Dolayısıyla, genel olarak, yapılan çalışmalar, geometri modifikasyonu, akışkan türü ve akışın fiziksel mekanizmasının irdelenmesi (farklı çalışma koşulları altında) ile ilgilidir.

Charoensawan vd. [7] döngü sayısı (5 – 23), açısal yerleşim ($0^\circ - 90^\circ$) ve iş akışkanı (R-123, su ve etanol) türünün kılcal boru formundaki atımlı ısı borularının ısıl performansına olan etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Yer çekimi kuvvetinin ısıl performans üzerinde baskın bir rol oynadığını ve ısı borusunun yatay konumda çalışabilmesi için belirli bir sayıdan fazla döngüye sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir. Kendi çalışma koşulları kapsamında gerekli olan minimum döngü sayısı 16 olarak ifade edilmiştir. Benzer problem Khandekar vd. [8] tarafından da rapor edilmiştir. Beş döngülü kılcal boru tipi atımlı ısı borusu için R-123, su ve etanol kullanarak yaptıkları deneylerde, ısı borusunun yatay konumda çalışmadığını ifade etmişlerdir. Jun ve Kim [9] iş akışkanı olarak etanol kullanmış ve 5, 10, 15 ve 20 olmak üzere farklı döngü sayılarına sahip kapalı ve açık döngülü PHP’ler ile çalışmışlardır. Kapalı döngülü PHP’lerin açısal yerleşimden ($0^\circ - 90^\circ$) bağımsız çalışabilmesi için 20 kadar döngüye ihtiyaç duyduklarını belirtmişlerdir. Az döngü sayıları için ortaya çıkan bu durumun sebebi, akış pasajlarındaki akış kararsızlıkları ve basınç pertürbasyon düzeyindeki yetersizliğe atfedilmektedir [7, 10]. İlgili problemi çözmek için Chien vd. [11] tarafından üniform olmayan atımlı ısı borusu geometrisi önerilmiştir. Bu geometride, her bir döngü, farklı kesite sahip paralel kanal çiftinden oluşmaktadır (2 mm x 1 mm ve 2 mm x 2mm). Saf su kullanarak yaptıkları çalışmalar sonucunda %50’den büyük dolun oranlarında (%60 ve %70), üniform olmayan ısı borusunun yatay konumda bile çalışabildiğini belirtmişlerdir. Chien vd. [11]’den sonra, farklı araştırmacılar da döngülerinde farklı kesite sahip kanallar bulunan üniform olmayan PHP’lerle ilgili çalışmalar yapmıştır. Kwon ve Kim [12], [13] hem tek hem de çok döngülü (beş döngü) üniform olmayan PHP’lerde farklı iş akışkanları (etanol ve/veya FC-72) kullanarak deneysel çalışmalar yürütmüşler ve farklı kesit alanlı paralel kanalların sirkülasyonlu akışı iyileştirdiği, böylece ısıl dirençte %45’e varan azalmanın meydana gelebildiğini belirtmişlerdir. Isıl dirençteki azalmayı, akışkan hareketinin iyileşmesi; akışkan hareketinin iyileşmesini ise kılcallık basınç farkının sürtünme basınç düşüşüne baskın gelmesi ile açıklamışlardır. Wan vd. [14] yaylı çek valf kullandıkları on döngülü atımlı ısı borusunda, yer çekimi, asimetrik ısıtma ve çek valf olmak üzere üç faktörün bütünlük etkisini incelemişlerdir. %70 dolun oranında çalışmışlar ve iş akışkanı olarak de-iyonize su kullanmışlardır.

Belirtilen üç faktörden herhangi ikisinin kullanımının, ısı borusu performansında artış sağladığı; ancak üçünün birlikte kullanımının ısıl direncin artması gibi olumsuz sonuçlara yol açtığı ifade edilmiştir. Çek valf tarafından yapılan yönlendirme, asimetrik ısıtma sonucu oluşan akış hareketine ters olduğu zaman konvansiyonel atımlı ısı borusundan daha yüksek ısıl direnç değerleri elde edildiği belirtilmiştir.

Geometrik özelliklerin; PHP performansı, akış yapısı ve çalışma limitleri üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmaların yanı sıra, bazı araştırmacılar tarafından PHP'yi oluşturan diğer bileşen olan akışkan türü üzerine odaklanılmıştır. Özellikle, son yıllarda, farklı karışımların PHP'lerin ısıl karakteristikleri üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda temel amaç, saf akışkanlar üzerine yapılan çalışmalarda ortaya çıkan etkili (sistem performansını artıran) termo-fiziksel özellikleri, akışkanları karıştırarak bir araya getirmektir. Çalışma koşullarına bağlılık, atımlı ısı borularının akış doğasının karmaşıklığı ve akışkanlar arası etkileşimler geniş bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

Zhu vd. [15] düşey olarak konumlandıkları (alttan ısıtma modu) kılcal boru tipi PHP'de, iş akışkanı olarak farklı hacimsel karışım oranlarında (13:1, 4:1, 1:1, 1:4, 1:13) su-aseton akışkan çifti kullanmıştır. Farklı ısıl yükler ve dolun oranlarında (%35-%70) deneysel olarak çalışmışlardır. Karışım içerisindeki suyun, kurumanın önlenmesi konusunda önemli bir rol oynadığını; düşük dolun oranlarında (%35 ve %45) su-aseton karışımlarının, genel anlamda, ilgili karışımı oluşturan saf akışkanlara kıyasla daha yüksek ısı transfer performansı sunduğunu, yüksek dolun oranlarında (%62 ve %70) ise karışım performansının saf akışkanlara kıyasla düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Han vd. [16] kılcal boru türündeki beş döngülü atımlı ısı borusunda, su bazlı ikili karışımlar (su – etanol, su – aseton ve su – metanol) üzerine odaklanmışlardır. Karışımlar için elde edilen sonuçları etkileyen ve faz değişimi sönümlenme etkisi (yüksek kaynama noktasına sahip bileşenin, diğer bileşenin yüksek buhar basıncı sonucu sıvı fazda kalması) olarak adlandırılan önemli bir fiziksel olay üzerinde durmuşlardır. İkili karışımların düşük (%35 ve %45) veya orta düzeyli (%55) dolun oranlarında daha etkin bir performansa yol açtığını ve faz değişimi sönümlenme etkisinin kurumanın önlenmesinde rol oynadığını belirtmişlerdir. Cui vd. [17] farklı karışım oranlarına (2:1, 4:1 ve 7:1) sahip metanol bazlı ikili karışımlarla (metanol-aseton, metanol-etanol ve metanol-de-iyonize su) yüklü beş döngülü PHP'nin ısıl direnç davranışını, %45 – %90 arasındaki dolun oranları ve 10W – 100W arasındaki ısıl yükler için deneysel olarak incelemiştir. Hem kuruma olayının ötelenmesi hem de daha düşük ısıl dirençlerin elde edilmesi sebebiyle, en etkili karışım %45 dolun oranındaki (ilgili çalışmadaki en düşük dolun oranı) metanol-su karışımı olarak belirlenmiştir. Temel fiziksel sebepler, faz değişimi engelleme etkisi ve düşük dolun oranı sebebiyle kütle transferiyle ilişkili direncin akış sürücü kuvvetine kıyasla zayıf olması olarak açıklanmıştır. Wang et al. [18], 2:1, 4:1 ve 7:1 hacimsel karışım oranları için aseton-su, aseton-etanol ve aseton-metanol ikili karışımları ile yüklü PHP'nin ısı transfer performansını %45, %55, %62 ve %70 olmak üzere dört farklı dolun oranı için incelemiştir. Diğer çalışmalarla [15]–[18] benzer olarak, nispeten düşük dolun oranında (%45), zeotropik özelliklerin (bileşenlerin farklı kaynama noktaları) ısıl performans üzerinde etkili olduğunu; nispeten yüksek dolun oranlarında (%62 ve %70) ise yoğunluk ve viskozitenin ısıl performans üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir (düşük akış direnci – yüksek ısıl performans ilişkisi). Xu vd. [19] de-iyonize su ve HFE-7100'ün karıştırılmasıyla elde ettikleri zeotropik bir ikili karışımı, iş akışkanı olarak kullanmışlar ve farklı karışım oranları (4:1, 2:1, 1:1, 1:2 ve 1:4), eğim açıları (30° – 90°) ve ısıl yüklerde, düz plaka tipi atımlı ısı borusunun ısı transfer performansını incelemiştir. %50 olarak tek bir dolun oranında çalışmışlardır. Her iki akışkanın eşit oranlı karışımında, akışkanların emülsiyon oluşturduğunu ve bu sayede daha fazla etkileşim halinde olduklarından, ısıl karakteristiklerin önemli düzeyde iyileştiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca, yer çekimi kuvvetinin de (özellikle düşük ısıl yüklerde) ısı borusunun çalışmasını etkileyen önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir.

Atımlı ısı borularının (PHP) birçok avantajı olmasına rağmen, az döngü sayısına sahip üniform kanallı PHP'lerin yatay konumda çalışmaması, gittikçe minyatürleşen sistemlerin ve uzay-havacılık elektroniği ve dizüstü bilgisayarlar gibi potansiyel kullanım alanlarının önündeki en büyük engellerden birisidir. Bu kapsamda, yukarıda belirtildiği gibi, farklı kesit alanlarına sahip paralel kanal dizisi tasarımı, önemli bir avantaj sunmaktadır. Ayrıca, PHP'lerin performansında, belirleyici rol

oynayan bir diğer bileşen ise iş akışkanıdır. Atımlı ısı borusunun düşük ısı yüklerde çalışmaya başlaması, geniş bir ısı güç aralığında kabul edilebilir sıcaklık düzeylerinde kalabilmesi ve çalışma esnasında buharlaştırıcı bölgesinden yoğunlaştırıcı bölgesine daha fazla ısı aktarılabilmesi, uygun iş akışkanı seçimiyle sağlanabilir. Dolayısıyla, iş akışkanı türü, PHP'nin performansı üzerinde son derece belirleyicidir. Bu doğrultuda, yukarıda özetlendiği gibi, son yıllarda, sadece sınırlı sayıdaki çalışmada, ikili karışımlar üzerine odaklanıldığı görülmektedir. Karışım kullanımındaki temel amaç (PHP'lerin çalışma mekanizması açısından) farklı akışkanların üstün özelliklerini bir araya getirmektir.

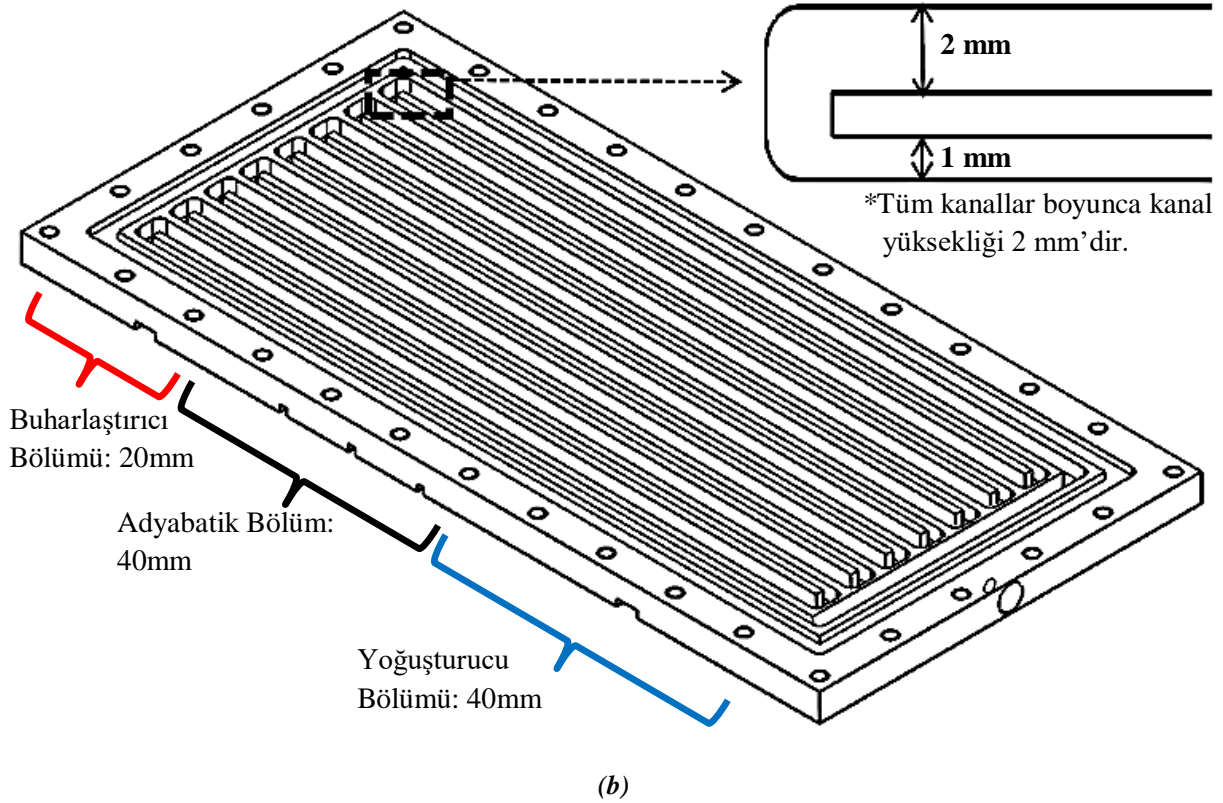
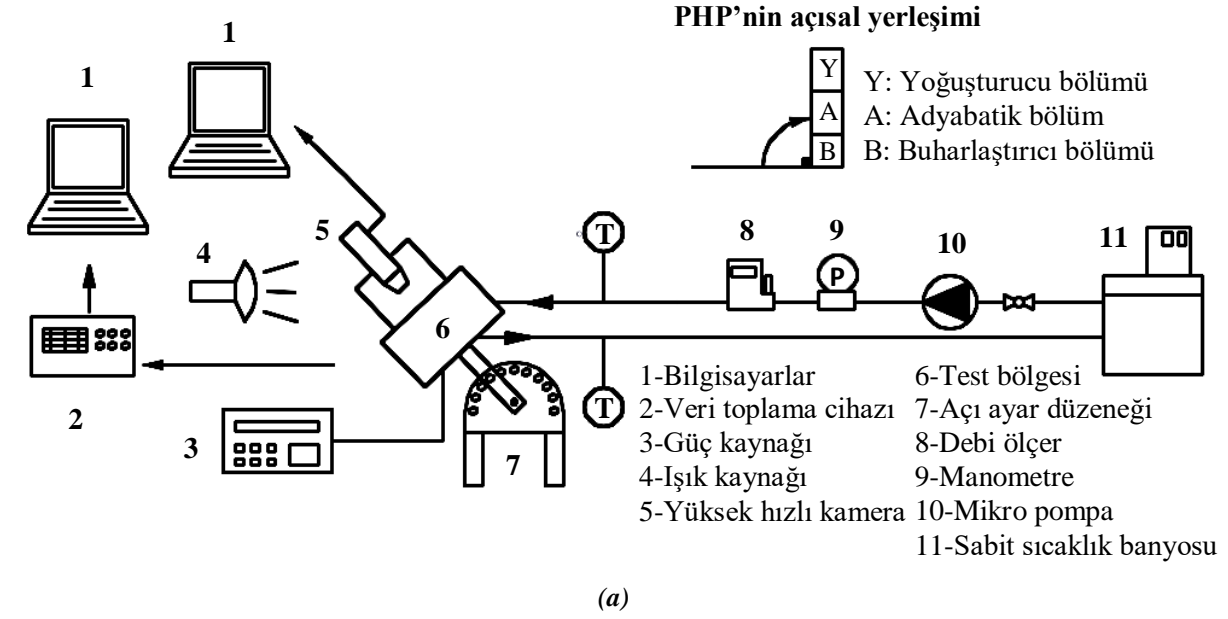
Farklı kesit alanına sahip paralel kanallardan oluşan düz plaka tipi atımlı ısı borularında (üniform olmayan PHP), iş akışkanı olarak karışım kullanılmasına yönelik ilk deneysel çalışmalar yazarlar tarafından (Markal ve Varol [20], [21]) yapılmıştır. Böylece, yukarıda özetlenen iki yaklaşım bir araya getirilmiştir. Buna karşın, atımlı ısı borularındaki güçlü ısı-hidrolik ve geometrik etkileşimler sebebiyle, akış yapısı veya çalışma mekanizması oldukça karmaşık/kompleks bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, özellikle üniform olmayan PHP'lerde farklı akışkan çiftleri kullanılarak yeni çalışmaların yapılmasına ve yeni veri tabanlarının literatüre kazandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, karışımlara yönelik çalışmalarda, %30'dan büyük doluluk oranlarına odaklanılmıştır. İş akışkanına olan bağımlılığın azaltılması için daha düşük doluluk oranlarındaki ısı ve hidrodinamik davranışın da analiz edilmesi gerekmektedir. Literatürdeki mevcut eksiklikleri giderecek şekilde, bu çalışmanın amacı, bir döngüsünde iki farklı kesite sahip paralel kanal içeren ve düşük doluluk oranında ikili karışımlarla yüklenen düz plaka tipi atımlı ısı borusunun ısı transfer performansını ve akış yapısını (akış görüntüleme desteğiyle) deneysel olarak incelemektir. Bu çalışma ile literatürde ilk kez, bir döngüsünde iki farklı kesite sahip kanal bulunan ve etanol (E) – metanol (M) ikili karışımı ile yüklü düz plaka tipi atımlı ısı borusunda, düşük bir doluluk oranında deneysel olarak çalışılmıştır. Doluluk oranı %20 olup, toplam sekiz döngüden oluşan ısı borusunda, her bir döngüdeki kanal kesitleri (genişlik x yükseklik) 2 mm x 2 mm ve 1 mm x 2 mm'dir. Ayrıca, farklı hacimsel karışım oranlarında (E:M = 1:1, 1:2 ve 2:1) çalışılmış ve yüksek hızlı kamera ile saniyede 1000 görüntü alınarak anlık akış görüntüleri sunulmuştur.

II. DENEY DÜZENEĞİ, TEST BÖLGESİ ve VERİ İŞLEME

A. DENEY DÜZENEĞİ ve TEST BÖLGESİ

Çalışmalar; test bölgesi, akış sirkülasyon hattı ve görüntüleme ve veri toplama sistemi içeren bir deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. İlgili düzeneğe ait şematik gösterim ve kullanılan ısı borusuna ait üç boyutlu çizim, sırasıyla, Şekil 1a ve b'de sunulmuştur. Deney düzeneği, yukarıda da ifade edildiği üzere, üç temel bölüm üzerinden incelenebilir: (1) Akış görüntüleme ve veri toplama bölümü; yüksek hızlı kamera (ve kendi yazılımı), ışık kaynağı, veri toplama sistemi (sıcaklık ölçümleriyle ilişkili) ve bilgisayarlardan oluşmaktadır. (2) Test bölgesi; atımlı ısı borusu, ısı borusunun yoğunlaştırıcı bölgesiyle irtibatlı ısı alıcı, buharlaştırıcı bölgesiyle ilişkili ısıtıcı plaka, ilgili parçaların montajını sağlayan teflon parça ve ısıtıcı plakaya yerleştirilen kartuş ısıtıcıların bağlı olduğu güç kaynağından oluşmaktadır. (3) akış sirkülasyon hattı ise yoğunlaştırıcı bölümünün hemen altına yerleştirilen ısı alıcıyla irtibatlı ve ısı alıcıdaki soğutma suyu akışını sağlayan borulama hattıdır. İstenilen debi ve sıcaklıkta akışkanın sürekli akışını sağlayacak şekilde; sabit sıcaklık banyosu, mikro pompa, akış ölçer ve sıcaklık ölçüm elemanlarından (T-tipi termoelemanlar) oluşmaktadır. Deney düzeneği ve sistemdeki cihazlara ait detaylı bilgiler için yazarların önceki çalışmalarına bakılabilir [20]–[22]. Deneylerin yapılışı ve test bölgesine ait detaylar aşağıda belirtilmiştir.

- Deneylere başlamadan önce, atımlı ısı borusunun vakumlama işleminin yapılması gerekmektedir. Bu kapsamda bir vakum pompası ile PHP'nin iç hacmi vakumlanır.



Şekil 1. (a) Deney düzeneğinin şematik resmi ve (b) kullanılan ısı borusuna ait üç boyutlu çizim

- Akış döngü hattı aktif hale getirilir: Şekil 1b'de görüldüğü gibi PHP; buharlaştırıcı, adyabatik ve yoğuşturucu olmak üzere üç farklı bölümden oluşur. Yoğuşturucu bölümü, akışkanın, buharlaştırıcı bölümünden aldığı ısıyı dışarıya aktardığı bölümdür. Burada dışarıdan kasıt bir ısı alıcıdır. Isı alıcı olarak iki parçalı bir yapı kullanılmıştır. 10 mm kalınlığındaki polikarbon bir plakaya akış kanalları açılmış ve 2 mm kalınlığındaki bakır bir plaka ile montajı yapılmıştır. Isı alıcının bakır yüzeyi, PHP'nin yoğuşturucu olarak adlandırılan bölümünün altına yerleştirilmiştir. Böylece, etkin bir ısı alıcı tasarlanabilmiştir. Isı alıcı, teflon gövdenin içine açılan yuvaya yerleştirilmiş olup, sistemin montajlı halinde, PHP sadece bakır yüzey ile

temas etmektedir. Isı alıcı borulama hattı içinde yer almaktadır. Borulama hattında, Şekil 1a'da görüldüğü gibi, sirkülasyon suyunun sıcaklık ve debisini kontrol edebilecek cihazlar bulunmaktadır. Isı borusunun yoğunlaştırıcı bölümünden aktarılan ısıyı belirlemek için ısı alıcı içinden geçen akışkanın debisinin ve giriş-çıkış sıcaklık değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle, ısı alıcı içerisinden sabit debide (20ml/dk) ve giriş sıcaklığında (20°C) sirkülasyon suyu geçirilmektedir. Isı alıcının giriş ve çıkışına birer adet T-tipi termoeleman yerleştirilmiştir. Bu termoelemanlar veri toplama sistemine bağlıdır.

- İstenilen dolum oranındaki iş akışkanını PHP içerisine doldurulur: İş akışkanını olarak, farklı hacimsel oranlarda karıştırılan metanol-etanol akışkan çiftleri kullanılmıştır.
- Isı borusu istenilen eğim açısına ayarlanır: Test bölgesi, 15 derecelik açılarla hareket ettirelebilen bir düzenek üzerine konumlandırılmıştır. Bu sayede, bu çalışma kapsamında incelenen 0° (yatay konum), 45° ve 90° (buharlaştırıcının altta yer aldığı düşey konum) eğim açıları kolay bir şekilde ayarlanabilmektedir.
- Güç kaynağı aktif edilerek, PHP'ye ısı gücü uygulanır: Yukarıda da belirtildiği üzere PHP'nin bölümlerinden birisi de buharlaştırıcı bölümdür. PHP'nin buharlaştırıcı bölümü, bakırdan imal edilmiş bir ısıtıcı plaka üzerine yerleştirilmiştir. İlgili plaka içerisine iki adet kartuş ısıtıcı yuvası açılmış ve buralara kartuş ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Kartuş ısıtıcılar, bir güç kaynağı ile bağlantılı olup, PHP hassas bir şekilde istenilen ısı gücü değerine maruz bırakılabilmektedir. Burada, uygulanan ısı gücü açısından, bir sıcaklık üst limiti (110°C) kabul edilmiştir. Isıl gücün ilk değeri 5W'tır. 5W değerinde sistem kararlı hale gelene kadar beklenir. Sonra sıcaklık ölçümleri ve eş zamanlı akış görüntüleri alınır. Isıl güç 5W artırılarak benzer işlemler tekrarlanır. Her bölümde 3 termoeleman vardır. Buharlaştırıcı bölümündeki ortalama sıcaklık değeri yaklaşık 110°C olduğu zaman ilgili deney sonlandırılır. Bu aşamada çıkan ısı gücü değeri, üst sıcaklık limiti kabulümüz doğrultusunda, ilgili çalışma koşulları altındaki maksimum ısı gücü değerine karşılık gelir.
- Diğer bir çalışma koşuluna geçilerek, yukarıda belirtilen prosedür tekrarlanır. Bu çalışmada, üç farklı eğim açısında, üç farklı hacimsel karışım oranında, tek bir dolum oranında ve farklı ısı yükleri altında çalışılmıştır.

Çalışmada kullanılan ısı borusu; 4 mm kalınlığında ve toplam uzunluğu 116 mm, genişliği ise 55.5 mm olan bakır bir plaka üzerine açılan 2 mm derinliğinde birbiriyle bağlantılı kanallar içermektedir. Kanalların olduğu bölgenin toplam uzunluğu ve genişliği ise, sırasıyla, 100 mm ve 39.5 mm'dir. Isı borusu hem sızdırmaz bir iç hacim içermeli, hem de akış görüntülemeye olanak sunmalıdır. Bu nedenle, belirtilen bakır plakanın üzeri şeffaf cam kapak ile kapatılmıştır. Hem sıcaklık ölçüm elemanlarının yerleştirilebilmesi hem de akış görüntüleme için gerekli olan yapının sağlanabilmesi için bakır plakanın toplam kalınlığı, genişliği ve uzunluğu akış kanal bölgesine kıyasla daha fazladır. Bu çalışmada kullanılan ısı borusu, asimetrik kanal formuna sahip düz plaka tipi kapalı döngülü atımlı ısı borusudur. Isı borusu toplam sekiz döngü veya bir başka ifade ile birbiriyle bağlantılı on altı paralel kanaldan oluşmaktadır. Bir döngüde yer alan kanal çiftlerinden biri 2 mm genişliğinde, diğeri ise 1 mm genişliğinde olup, paralel kanalların kesit alanları birbirinden farklıdır (Şekil 1b). Deney düzeneği ve test bölgesine ait detaylar, yazarların önceki çalışmalarında kapsamlı bir şekilde sunulmuştur [20]–[22].

B. HESAPLAMA YÖNTEMİ ve DENEYSEL BELİRSİZLİK DÜZEYLERİ

DeneySEL hesaplama adımları, atımlı ısı borusu literatüründe [11], [23], genel kabul gören ve yazarların önceki çalışmalarında da [20]–[22] belirtilen formda sunulmuştur. Bu kapsamda, bir PHP'nin en önemli ısı performans göstergelerinden biri toplam ısı direnç veya sadece ısı direnç olarak adlandırılan terimdir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$R_{th} = \frac{(T_e - T_c)}{Q} \quad (1)$$

Burada, T_e ve T_c , sırasıyla, buharlaştırıcı ve yoğuşturucudaki termoelemanlardan okunan sıcaklıkların ortalamasını, bir başka ifade ile ortalama buharlaştırıcı ve yoğusturucu sıcaklıklarını temsil etmektedir. Paydada yer alan Q terimi ise, güç kaynağı ile uygulanan ısı güç ile soğutma suyu (ısı alıcıdan geçen) tarafından uzaklaştırılan bir başka ifade ile yoğusturucu bölgesinden ısı alıcıya aktarılan ısı gücün ortalama değerini ifade etmekte olup, aşağıdaki gibi gösterilir:

$$Q = \frac{Q_i + Q_r}{2} \quad (2)$$

Burada, güç kaynağı ile uygulanan ısı güç Q_i ; yoğusturucu bölgesinden ısı alıcıya aktarılan ısı güç ise Q_r ile gösterilmiştir. Eşitlik 2'nin kullanılmasıyla, ısı direnç hesabında ısı kayıplar da dikkate alınmıştır [10]. Güç kaynağı ile uygulanan ısı güç değeri, ilgili cihazın dijital ekranından hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Isı alıcıya aktarılan ısı güç ise, ısı alıcı giriş ve çıkışındaki su sıcaklığı ve suyun debisi kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenir:

$$Q_r = \dot{m} c_p (T_{ho} - T_{hi}) \quad (3)$$

Burada; T_{ho} ve T_{hi} , sırasıyla, soğutma suyunun ısı alıcıdan çıkış ve ısı alıcıya giriş sıcaklıkları; \dot{m} ve c_p ise, sırasıyla, soğutma suyunun kütleli debi ve özgül ısısını ifade etmektedir.

Isıl direnç yönelik ifadeler, yukarıda verilmiştir; ancak açıkça belirtilmelidir ki PHP'ler için ısı performans göstergesi sadece ısı direnç değildir. Atımlı ısı borusunun çalışmaya başlama performansı, buharlaştırıcı sıcaklığı ve (tanımlı üst sıcaklık limiti dahilinde) maksimum ısı güç değeri de diğer performans göstergeleri olarak değerlendirilmelidir.

Çalışma kapsamında belirsizlik analizi de yapılmıştır. Belirsizlik analiziyle ilgili tüm detaylar ve formüller yazarların önceki çalışmasında [21] belirtilmiştir. Burada, bu çalışmaya özgü veri tabanı üzerinden, sadece belirsizlik değerleri sunulacaktır. Hesaplama prosedüründen de görüldüğü üzere, türetilen tek parametre ısı dirençtir ve Kline ve McClintock [24] tarafından tanımlanan belirsizlik analizine göre, ısı direnç için hesaplanan belirsizlik düzeyi aralığı $\pm\%4.1 - \%5.6$ 'dır.

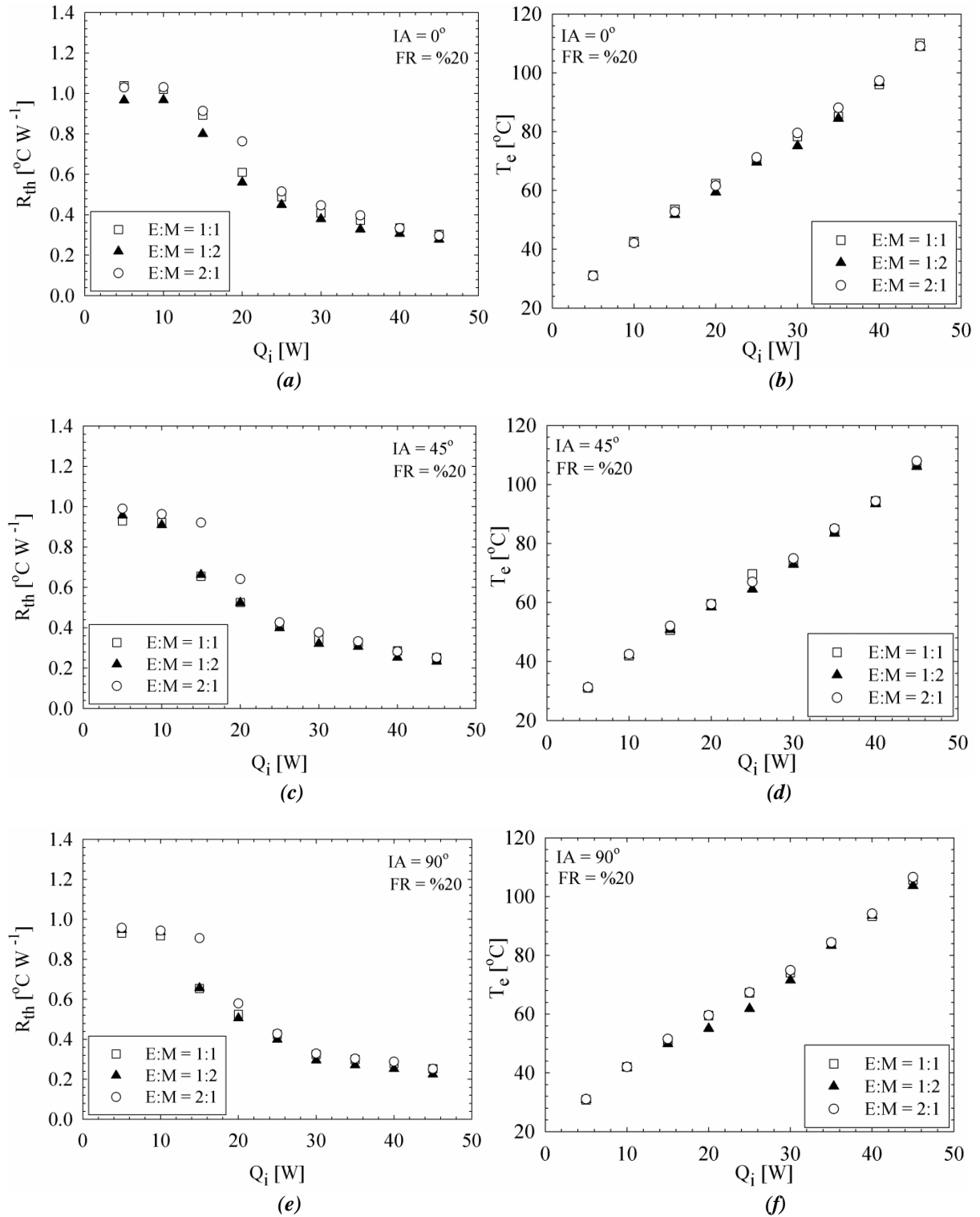
III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında; iş akışkanı olarak etanol ve metanol karışımının kullanıldığı, farklı kesit alanına sahip paralel kanallardan oluşan (bir döngüde farklı kesite sahip kanal çifti) düz plaka tipi atımlı ısı borusunda farklı hacimsel karışım oranları (E:M = 1:1, 1:2 ve 2:1), eğim açıları (0° , 45° ve 90°) ve ısı yükler altında deneyler yapılarak; karışım oranı, ısı yük ve eğim açısının PHP performansı üzerindeki tekil ve/veya bütünleşik etkileri incelenmiştir. Dolum oranı %20 olacak şekilde sabit tutulmuş olup, akış davranışı ve temel fiziksel mekanizma, yüksek hızlı akış görüntüleri (1000 görüntü/saniye) aracılığıyla analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular ve ilgili tartışma aşağıda alt başlıklar halinde sunulmuştur.

A. ISIL GÜÇ ve KARIŞIM ORANI ETKİSİ

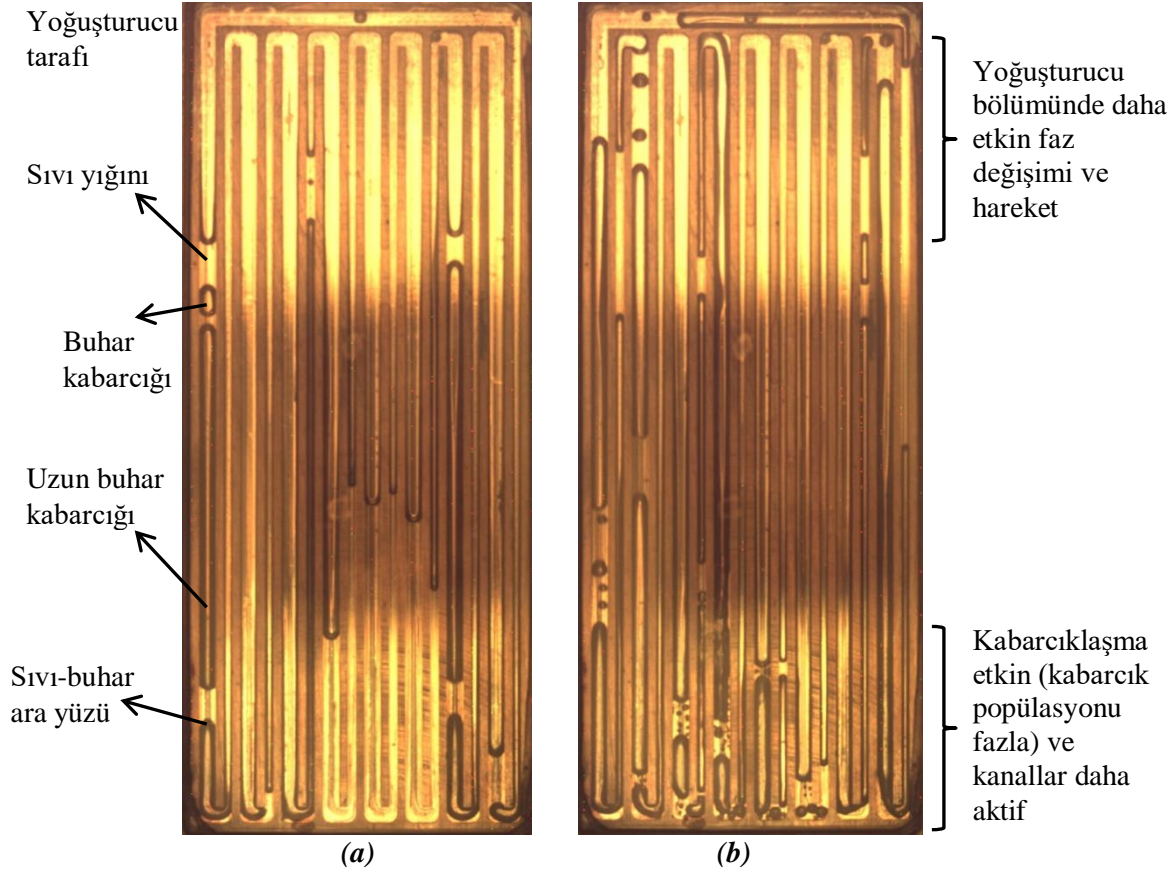
Şekil 2a-f'de, PHP'nin ısı direnç ve buharlaştırıcı sıcaklığının farklı hacimsel karışım oranları için ısı güç ile değişimi verilmiştir. İlgili grafikler, 0° (Şekil 2a, b) 45° (Şekil 2c, d) ve 90° (Şekil 2e, f) eğim açıları için sunulmuştur. Öncelikle ısı güç etkisi üzerinde durulacaktır. Bu kapsamda, genel bir davranış olarak, belli bir ısı güç değerine kadar yatay eğilim gösteren ısı dirençte, ani bir azalma meydana gelmekte ve devamında ısı direnç değerleri artan ısı güç ile azalmaktadır. Isıl dirençte görülen ani azalma, PHP'nin çalışmaya başladığının göstergesidir. Ani düşüşün görece daha erken gerçekleşmesi veya bir başka ifade ile daha düşük ısı güç değerinde meydana gelmesi, bir PHP için çalışmaya başlama performansının görece daha iyi olduğu anlamına gelir. Burada, altı çizilmesi

gereken noktalardan birisi, PHP'nin çalışmasıyla ilgili veya daha açık bir ifade ile nasıl çalıştığı ile ilgili kesin yargıya varabilmek için akış görüntüleme çalışmalarının yapılması gerektiğidir. Özellikle, literatürde başla-dur hareketi [11, 25] olarak tanımlanan fiziksel olaylar sebebiyle, akışı görüntülemekten salt veri değişiminden çıkarılacak sonuçlar hatalı yorumlara yol açabilir.



Şekil 2. PHP'nin ısı direnç ve buharlaştırıcı sıcaklığının farklı karışım oranları için ısı güç ile değişimi: (a) R_{th} , 0° , (b) T_e , 0° , (c) R_{th} , 45° , (d) T_e , 45° , (e) R_{th} , 90° ve (f) T_e , 90°

Yukarıda, genel karakter olarak, ısı direncin artan ısı güç ile azaldığı belirtilmişti. Basit bir şekilde ifade etmek gerekirse, atımlı ısı boruları, ısı olarak tetiklenen cihazlardır ve ısı etkiler sonucu açığa çıkan basınç farkları ve basınç çalkantıları sonucu çalışırlar (atım, salınım ve kısmi sirkülasyon hareketinin kaynağı). Dolayısıyla, literatürde de belirtildiği üzere [11], [14], [26], bu sonuç, artan ısı yük ile sürücü kuvvetin iyileşmesi ve buna bağlı olarak sirkülasyon hızının artması ile açıklanabilir. Buna karşın, atımlı ısı borularında salt tek fazlı bir akışın olmadığı vurgulanmalıdır. Bu sebeple, ısı güç artışıyla, akışkan ve geometrik özelliklerin bütünleşik etkisinin sonucu olarak ortaya çıkan kabarcık dinamiği ve akış desenleri de sonuçlar üzerinde etkin rol oynar. Bu kapsamda, Şekil 2e ve f'deki $IA=90^\circ$ ve $E:M=1:1$ koşulu için, 20W ve 45W için elde edilen görüntüler Şekil 3a ve b'de verilmiştir.



Şekil 3. $IA=90^\circ$ ve $E:M=1:1$ koşulları için akış görüntüleri: (a) 20W ve (b) 45W

Şekil 3'teki görüntülerde üst bölüm yoğuşturucu tarafını, alt bölüm ise buharlaştırıcı (ısı gücün uygulandığı bölüm) tarafını göstermektedir. Isıl yükün 20W'tan 45W'a artırılmasıyla akış yapısında belirgin fiziksel değişimler meydana gelmektedir. Buharlaştırıcı bölgesinde kabarcıklı kaynama olayı iyileşmekte ve çok daha fazla sayıda buhar kabarcığı oluşmaktadır. Ayrıca, daha yüksek sıcaklık altında oluşan buhar kabarcıkları sıvı içerisinde sönmülmeyen veya diğer buhar kabarcıklarına karışmadan varlığını sürdürebilmektedir. Şekil 3b'de, iki buhar kabarcığı arasında bulunan sıvı yığını içindeki mikro kabarcıklar, bu durumu net olarak göstermektedir. Kabarcık popülasyonunun artması ve ayrık (nispeten daha küçük) buhar kabarcıklarının kanallar içinde daha hızlı ve bağımsız hareket edebilmesi; (1) buharlaştırıcı bölümünden ısının daha etkin bir şekilde alınması, (2) akışın daha etkin bir şekilde karıştırılarak taşınımın iyileştirilmesi ve (3) buharlaştırıcı bölgesinden alınan ısının yoğuşturucu bölgesine daha etkin bir şekilde aktarılmasını sağlar. İnce sıvı filmiyle çevrili ayrık buhar kabarcıklarının yoğuşturucu bölgesinde daha fazla bulunması veya bir başka ifade ile daha aktif bir şekilde yoğuşturucu bölgesinde hareket etmesi, yoğuşturucu bölümdaki faz değişim proseslerini ve dolayısıyla ısı alıcıya olan ısı geçişini daha etkin hale getirmektedir. Dolayısıyla yukarıda da

belirtildiği üzere, artan ısı güç sonucu akışın hızlanmasına ek olarak; akış desenleri ve kabarcık dinamiği de ısı direncin azalmasında ve ısı performansının artmasında önemli rol oynamaktadır.

Şekil 2'den görüldüğü üzere, saf akışkanların karışım içindeki hacimsel oranı da sonuçlar üzerinde önemli etkiye sahiptir. Yatay konumda (Şekil2a-b) daha belirgin olmakla birlikte, karışım içindeki metanol oranının artması ile ısı performansının arttığı görülmektedir. Buradaki değerlendirme, ısı direnç, çalışmaya başlama performansı ve buharlaştırıcı sıcaklığı üzerinden yapılmıştır. Tüm açılarda yerleşimlerde, genel karakter olarak, en düşük ısı direnç ve buharlaştırıcı sıcaklığı değerleri E:M=1:2 için elde edilmiştir. Buna karşın en yüksek ısı direnç ve buharlaştırıcı sıcaklığı değerleri ise E:M=2:1 karışımı kullanıldığında elde edilmiştir. Ayrıca E:M=1:2 ve E:M=1:1 karışımları ile yüklenen ısı borusu 15W ısı yük altında çalışmaya başlarken; E:M=2:1 akışkanı ile yüklü ısı borusu 20W'ta çalışmaya başlamaktadır. İlgili ısı güç değerleri, belirtilen koşullar için kritik ısı güç değerleri olarak adlandırılabilir. Sonuçların altında yatan fiziksel mekanizmayı tam olarak açıklayabilmek için akışkan özellikleri ve akış görüntülerinin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu kapsamda, öncelikle, Tablo 1'de karışımı oluşturan her iki akışkana ait önemli termo-fiziksel özellikler sunulmuştur.

Tablo 1. Karışımı oluşturan akışkanlara ait önemli özellikler.

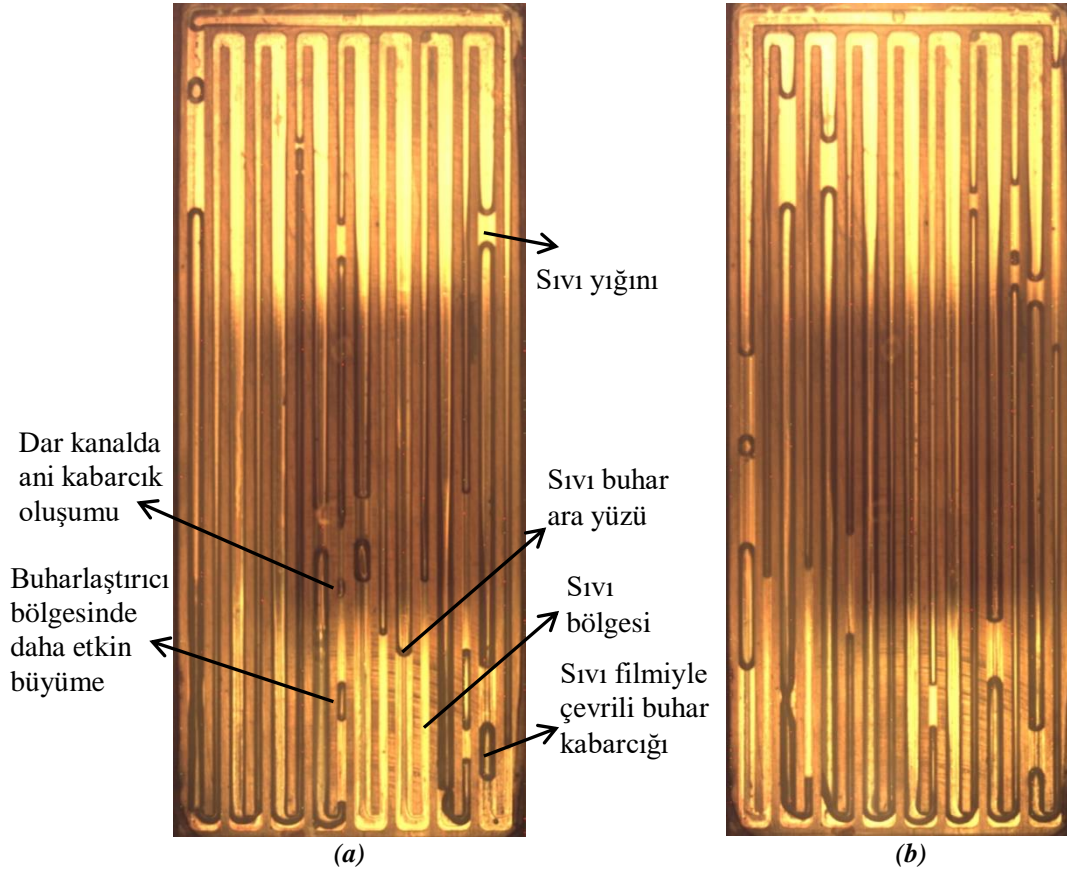
Özellikler (1 atm'de)								
Akışkan	Kaynama Noktası (°C)	Dinamik viskozite (x10 ³) (Pa s)	Buharlaştırma gizli ısısı (kJ kg ⁻¹)	Yüzey gerilmesi (x10 ³) (N m ⁻¹)	Isıl iletkenlik (W m ⁻¹ °C ⁻¹)	Yoğunluk (kg m ⁻³)	Özgül ısı (kJ kg ⁻¹ °C ⁻¹)	(dP/dT) _{sat} (x10 ³) (Pa °C ⁻¹)
Etanol	78.3	1.15	846	22.8	0.172	789	2.39	4.2
Metanol	64.7	0.6	1101	22.6	0.212	791	2.48	6.5

Açıklamalar:

(dP/dT)_{sat} 80°C için; diğer tüm özellikler ise 20°C için yazılmıştır [27].

Tablo 1'den görüldüğü üzere, metanolün buharlaştırma gizli ısısı, (dP/dT)_{sat} değeri ve ısı iletkenliği etanole kıyasla yüksekken; dinamik viskozitesi ve kaynama noktası düşüktür. Buna karşın, her iki akışkanın da yüzey gerilmesi, yoğunluk ve özgül ısı değerleri birbirine oldukça yakındır. Ayrıca, etanol ve metanol birbiriyle karışabilir ve çalışma koşulları altında zeotropik özellikte (kaynama noktası sabit olmayan) bir karışım oluştururlar. Dolayısıyla, Han vd. [16] tarafından da belirtildiği üzere, zeotropik karışımlar için ısı transfer mekanizması ve akış yapısı çok daha karışıktır. Bileşenler arasındaki moleküler etkileşimler ve tekil olmayan termo-fiziksel özellikler bu durumda önemli rol oynamaktadır. Ancak, saf akışkanların termo-fiziksel özellikleri, sonuçların niteliksel olarak değerlendirilmesinde güvenilir bir araçtır. Dinamik viskozitenin düşük olması, mekanik enerji kaybının azalması ve dolayısıyla performansın artması anlamına gelir. Atımlı ısı boruları, temelde basınç farkı prensibine göre çalışan cihazlardır. Bu sebeple, (dP/dT)_{sat} değerinin yüksek olması, görece düşük sıcaklıkta, yüksek basınç farkı anlamına geleceği için PHP performansını artırıcı yönde etki edecektir. Zhu vd. [15] tarafından da ifade edildiği üzere, buharlaştırma gizli ısısının yüksek olması, buharlaştırıcı bölgesinde ısının daha iyi absorbe edilmesi anlamına gelir. Dolayısıyla, yüksek gizli ısı, hem daha düşük buharlaştırıcı sıcaklığı, hem de daha fazla miktarda ısı enerjinin yoğunlaştırıcı bölgesine aktarımı anlamına gelir (akışkanın yoğunlaştırıcı bölgesine hareketi sonucunda). Isı iletim katsayısının artması, iletimle ısı transferinin iyileşmesi anlamına gelir. Termo-fiziksel özelliklerin yukarıda belirtilen katkılarından dolayı, karışım içerisindeki metanol oranının artışı ile ısı performansının iyileşmesinin temel sebepleri büyük ölçüde anlaşılmaktadır. Buna karşın, akış görüntüleri ile fiziksel mekanizmanın daha detaylı incelenmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda, Şekil 4a ve b'de, IA=90° ve 25W koşulları altında, sırasıyla, E:M=1:2 ve E:M=2:1 karışımlarına ait akış görüntüleri sunulmuştur. Akış desenlerinin genel görünümü, belirtilen koşullar için, birbirine yakındır. Buradaki temel faktörlerden biri, her iki akışkanın yüzey gerilmesi değerinin, dolayısıyla da, kabarcık yoğunluğunun birbirine yakın olması şeklinde ifade edilebilir. Genel olarak, uzun kabarcıklı akış deseninin ve/veya kısmi halkasal akış deseninin baskın olduğu görülmektedir. Şekil 4'te görülen koyu çizgilerle çevrili bölümler, buhar kabarcıklarını göstermektedir. Koyu çizgiler, ilgili buhar kabarcığını çevreleyen sıvı filmidir. Dolayısıyla, etkin olan ısı transfer mekanizmalarından birisi de

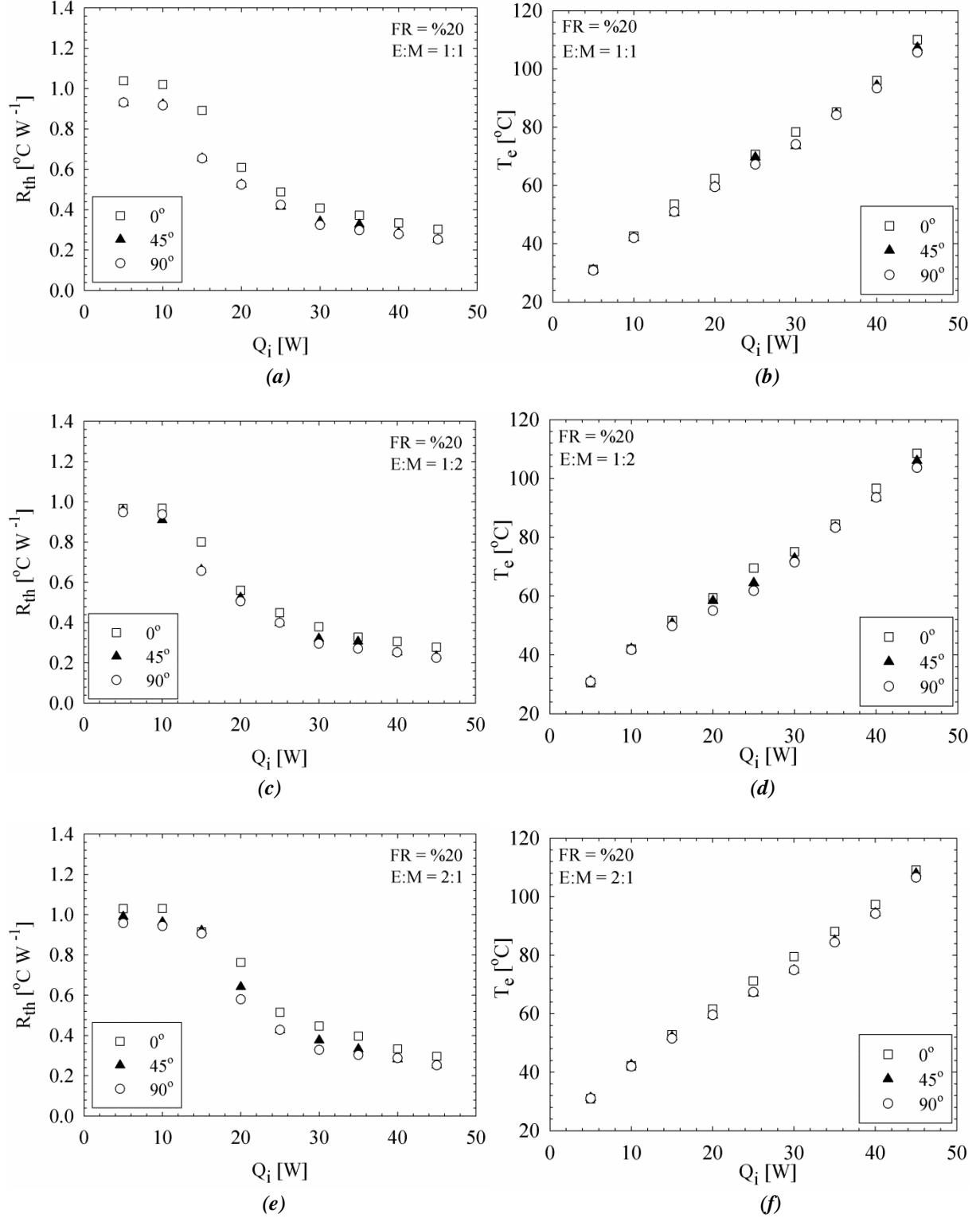
ince film buharlaşmasıdır. Şekil 4'teki koşullarda, ısı borusunun düşey olarak konumlandırılmış olması sebebiyle (yer çekimi kuvvetinin etkisiyle) sıvının bir miktarının buharlaştırıcı bölgesinde (alt bölüm) toplandığına ve üst bölgelerin çoğunlukla buharla kaplı olduğuna dikkat edilmelidir (dolum oranının %20 gibi oldukça düşük bir değerde olduğu önünde bulundurulmalıdır). Buna karşın, diğer önemli termo-fiziksel özelliklerin farklılıklarının sebep olduğu fiziksel olaylar, sonuçlar üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Metanolün fazla olduğu koşulda (Şekil 4a), dar kanallarda, daha baskın bir şekilde hızlı kabarcık büyüme kararsızlığı oluşmaktadır. Bu olay, temelde buharlaştırıcı bölümü olmak üzere, aksenel iletim ve akış bileşenlerinin ısı aktarımı sonucu adyabatik bölgede de gerçekleşmektedir. Oluşan kabarcık, aniden genişlemekte ve kanal kesiti küçük olduğu için sıkışarak her iki yönde de büyümeye çalışmaktadır. Böylece, hem buharlaştırıcı hem de yoğunlaştırıcı tarafına doğru farklı oranlarda basınç kuvveti uygulanır (yoğunlaştırıcı tarafına daha yüksek düzeyde). Metanolün kaynama noktasının etanole kıyasla düşük olması ve $(dP/dT)_{sat}$ değerinin ise belirgin bir şekilde yüksek olmasının, hızlı kabarcık büyüme kararsızlığı olayının daha etkin gerçekleşmesi üzerindeki rolü büyüktür. Atımlı ısı borularına özgü olarak, kanal içerisinde, yerel basınç değerlerinin zaman bağımlı olarak ani şekilde değiştiği de (artıp/azaldığı) göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, metanolün $(dP/dT)_{sat}$ değerinin yüksek olması, buharlaştırıcı bölümünde oluşan buhar kabarcıklarının, verilen bir sıcaklık değeri için (doymuş koşullarda) daha yüksek basınç kuvveti uyguladığı anlamına gelir. Buna ek olarak, metanolün dinamik viskozitesinin, etanolün dinamik viskozite değerinin yaklaşık %50'si kadar olması sebebiyle, buhar kabarcıkları arasında kalan sıvı yığınlar, kanallar içerisinde daha kolay hareket eder (mekanik enerji kaybı azalır). Metanolün hem kaynama noktasının düşük olması, hem de buharlaşma gizli ısısının yüksek olması sebebiyle, daha erken ve etkin oluşan buhar kabarcıkları, buharlaştırıcı bölgesinde daha fazla ısıyı absorbe eder. Ayrıca, dinamik viskozite ve $(dP/dT)_{sat}$ değerleriyle ilgili avantajlarının da etkisiyle, birim zamanda yoğunlaştırıcı bölgesine doğru daha fazla miktarda ısı aktarılabilir. Bu detaylı analizlerden dolayı, Şekil 4'te verilen koşullar için, E:M=1:2'nin ısı direnci ve buharlaştırıcı sıcaklığı, E:M=2:1'e kıyasla, sırasıyla, yaklaşık %7 ve 5.6°C daha düşüktür. Çalışma kapsamındaki tüm veri tabanı üzerinden değerlendirildiğinde ise E:M=1:2'nin ısı direnci E:M=2:1'e kıyasla yaklaşık %39'a kadar daha düşük değer alabilmektedir.



Şekil 4. $IA=90^\circ$ ve $IG=25W$ koşulları için akış görüntüleri: (a) E:M=1:2 ve (b) E:M=2:1

B. EĞİM AÇISI ETKİSİ

Eğim açısı etkisini gösterecek formda düzenlenen grafikler Şekil 5'te sunulmuştur. Çalışma kapsamında, 0° , 45° ve 90° olmak üzere üç farklı eğim açısında çalışılmıştır. Burada, en kritik açı değerleri, yatay (0°) ve dikey konumu (90° , alttan ısıtma) temsil eden PHP yerleşimleridir.



Şekil 5. PHP'nin ısı direnci ve buharlaştırıcı sıcaklığının farklı eğim açıları için ısı güç ile değişimi: (a) R_{th} , E:M=1:1, (b) T_e , E:M=1:1, (c) R_{th} , E:M=1:2, (d) T_e , E:M=1:2, (e) R_{th} , E:M=2:1 ve (f) T_e , E:M=2:1

Düşey konum, fiziksel olarak, yer çekimi kuvveti desteğinin maksimum düzeyde olduğu; yatay konum ise yer çekimi desteğinin olmadığı koşulu tanımlamaktadır. Yer çekimi kuvveti ise, üniform kanallı atımlı ısı borularında, iç basınç pertürbasyonların en önemli kaynaklarından biri olup; giriş bölümünde de özetlendiği üzere, bu kuvvetin eksikliği, az döngü sayısına sahip atımlı ısı borularının yatay konumda çalışmamasının birincil sebebidir. Buna karşın, Şekil 5'te verilen ısı direnç-ısı güç değişim grafikleri incelendiği zaman, tüm karışım oranları için, çalışma kapsamında kullanılan ısı borusunun, tüm eğim açısı değerlerinde başarılı bir şekilde çalışabildiği görülmektedir.

Isı borusunun, tüm karışım oranları için, neredeyse açıdan bağımsız şekilde çalışabilmesinin birincil sebebi, kullanılan ısı borusunun geometrisi ve bu geometriye bağlı olarak ortaya çıkan farklı sürücü kuvvetlerdir. Isı borusu, farklı kesite sahip paralel kanalların ardışık olarak sıralandığı değişken kesitli bir yapıdadır. Paralel kanalların farklı kesitlerde olması; kılcallık kuvveti, kayma kuvveti ve buharlaşma momentum kuvvetinin dengelenmemiş formlarının oluşumuna yol açar ve basınç çalkantılarını destekler. Böylece, az döngü sayısına sahip atımlı ısı borusu, yer çekimi desteği olmadan da çalışabilmektedir.

Yukarıda belirtildiği üzere, ikili karışımla yüklenen PHP, tüm karışım oranlarında çalışabilmektedir; ancak, Şekil 5'ten de görüldüğü üzere, açısal değişime bağımlılık karışım oranıyla da ilişkilidir. Açısal bağımsızlık açısından en iyi performans da, ısı performansında olduğu gibi, E:M=1:2 için elde edilmiştir. Sonuç olarak, hacimsel karışım oranı veya bir başka ifade ile ikili karışım içerisinde yer alan akışkanların oranı değiştikçe, açıdan bağımsız çalışabilme performansı iyileştirilebilir.

IV. SONUÇ

Bu deneysel çalışmada, düşük bir doluluk oranında ikili karışımlarla yüklü, üniform olmayan kanal profiline sahip düz plakalı kapalı döngülü atımlı bir ısı borusunun ısı performansını ve akış davranışını incelenmiştir. Bir önceki bölümde detaylı olarak yapılan değerlendirmeler doğrultusunda, önemli sonuçlar, aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Tüm çalışma koşullarında, genel bir davranış olarak, belli bir ısı güç değerine kadar yatay eğilim gösteren ısı dirençte, ani bir azalma meydana gelmekte ve devamında ısı direnç değerleri artan ısı güç ile azalmaktadır. Isı dirençte görülen ani azalma, PHP'nin çalışmaya başladığının göstergesidir.
- Akışın artan ısı güç sonucu hızlanmasına ek olarak, akış desenleri ve kabarcık dinamiği de ısı direncin azalmasında ve ısı performansının artmasında önemli rol oynamaktadır.
- Karışım içindeki metanol oranının artması ile ısı performansının arttığı görülmektedir. Tüm açısal yerleşimlerde, genel karakter olarak, en düşük ısı direnç ve buharlaştırıcı sıcaklığı değerleri E:M=1:2 için elde edilmiştir. Buna karşın, en yüksek ısı direnç ve buharlaştırıcı sıcaklığı değerleri ise E:M=2:1 karışımı kullanıldığında elde edilmiştir. Ayrıca E:M=1:2 ve E:M=1:1 karışımları ile yüklenen ısı borusu 15W ısı yük altında çalışmaya başlarken; E:M=2:1 akışkanı ile yüklü ısı borusu 20W'ta çalışmaya başlamaktadır. Çalışma kapsamındaki tüm veri tabanı üzerinden değerlendirildiğinde, E:M=1:2'nin ısı direnci, E:M=2:1'e kıyasla yaklaşık %39'a kadar daha düşük değer alabilmektedir.
- Isı direnç-ısı güç değişim grafikleri incelendiği zaman, tüm karışım oranları için, çalışma kapsamında kullanılan ısı borusunun, tüm eğim açısı değerlerinde başarılı bir şekilde çalışabildiği görülmektedir.
- Isı borusu, farklı kesite sahip paralel kanalların ardışık olarak sıralandığı değişken kesitli bir yapıdadır. Paralel kanalların farklı kesitlerde olması; kılcallık kuvveti, kayma kuvveti ve buharlaşma momentum kuvvetinin dengelenmemiş formlarının oluşumuna yol açar ve basınç çalkantılarını destekler. Böylece, az döngü sayısına sahip atımlı ısı borusu, yer çekimi desteği olmadan da çalışabilmektedir.
- İkili karışımla yüklenen PHP, tüm karışım oranlarında çalışabilmektedir; ancak, açısal değişime bağımlılık, karışım oranıyla da ilişkilidir. Açısal bağımsızlık bakımından, en iyi

performans E:M=1:2 için elde edilmiştir. Sonuç olarak, hacimsel karışım oranı değiştirilerek, açıdan bağımsız çalışabilme performansı iyileştirilebilmektedir.

- Çalışma kapsamında ortaya çıkan önemli sonuçlardan birisi de %20 gibi oldukça düşük bir doluluk oranında, atımlı ısı borusunun, açıdan bağımsız olarak ve yüksek performansla çalışabildiğinin gösterilmiş olmasıdır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir (Proje no: 217M341).

V. KAYNAKLAR

- [1] H. Akachi, "Structure of a heat pipe," U.S. Patent 4 921 041, May, 1, 1990.
- [2] M. Mameli, L. Araneo, S. Filippeschi, L. Marelli, R. Testa, and M. Marengo, "Thermal response of a closed loop pulsating heat pipe under a varying gravity force," *International Journal of Thermal Science*, vol. 80, pp. 11–22, 2014.
- [3] V. Ayel, L. Araneo, A. Scalambra, M. Mameli, C. Romestant, A. Piteau, M. Marengo, S. Filippeschi, and Y. Bertin, "Experimental study of a closed loop flat plate pulsating heat pipe under a varying gravity force," *International Journal of Thermal Science*, vol. 96, pp. 23–34, 2015.
- [4] L. Lv, J. Li, and G. Zhou, "A robust pulsating heat pipe cooler for integrated high power LED chips," *Heat Mass Transfer*, vol. 53, pp. 3305–3313, 2017.
- [5] M. Cheng, and J. Li, "Nanofluid-based pulsating heat pipe for thermal management of lithium-ion batteries for electric vehicles," *Journal of Energy Storage*, vol. 32, 2020, Art. no. 101715.
- [6] P. Khalilmoghdam, A. Rajabi-Ghahnavieh, and M. B. Shafii, "A novel energy storage system for latent heat recovery in solar still using phase change material and pulsating heat pipe," *Renewable Energy*, vol. 163, pp. 2115–2127, 2021.
- [7] P. Charoensawan, S. Khandekar, M. Groll, and P. Terdtoon, "Closed loop pulsating heat pipes Part A: parametric experimental investigations," *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 2009–2020, 2003.
- [8] S. Khandekar, N. Dollinger, and M. Groll, "Understanding operational regimes of closed loop pulsating heat pipes: An experimental study," *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 707–719, 2003.
- [9] S. Jun, and S. J. Kim, "Comparison of the thermal performance and flow characteristics between closed-loop and closed-end micro pulsating heat pipes," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 95, pp. 890–901, 2016.
- [10] G. Spinato, N. Borhani, and J. R. Thome, "Operational regimes in a closed loop pulsating heat pipe," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 102, pp. 78–88, 2016.
- [11] K. H. Chien, Y. T. Lin, Y. R. Chen, K. S. Yang, and C. C. Wang, "A novel design of pulsating heat pipe with fewer turns applicable to all orientations," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 55, pp. 5722–5728, 2012.
- [12] G. H. Kwon, and S. J. Kim, "Operational characteristic of pulsating heat pipes with a dual-diameter tube," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 75, pp. 184–195, 2014.

- [13] G. H. Kwon, and S. J. Kim, "Experimental investigation on the thermal performance of a micro pulsating heat pipe with a dual-diameter channel," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 89, pp. 817–828, 2015.
- [14] Z. Wan, X. Wang, and C. Feng, "Heat transfer performances of the capillary loop pulsating heat pipes with spring-loaded check valve," *Applied Thermal Engineering*, vol. 197, 2020, Art. no. 114803.
- [15] Y. Zhu, X. Cui, H. Han, and S. Sun, "The study on the difference of the start-up and heat-transfer performance of the pulsating heat pipe with water-acetone mixtures," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 77, pp. 834–842, 2014.
- [16] X. Han, X. Cui, Y. Zhu, T. Xu, Y. Sui, and S. Sun, "Experimental study on a closed-loop pulsating heat pipe (CLHP) charged with water-based binary zeotropes and the corresponding pure fluids," *Energy*, vol. 109, pp. 724–736, 2016.
- [17] X. Cui, Z. Qiu, J. Weng, and Z. Li, "Heat transfer performance of closed loop pulsating heat pipes with methanol-based binary mixtures," *Experimental Thermal Fluid Science*, vol. 76, pp. 253–263, 2016.
- [18] W. Wang, X. Cui, and Y. Zhu, "Heat transfer performance of a pulsating heat pipe charged with acetone-based mixtures," *Heat Mass Transfer*, vol. 53, pp. 1983–1994, 2017.
- [19] R. Xu, C. Zhang, H. Chen, Q. Wu, and R. Wang, "Heat transfer performance of pulsating heat pipe with zeotropic immiscible binary mixtures," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 137, pp. 31–41, 2019.
- [20] B. Markal, and R. Varol, "Thermal investigation and flow pattern analysis of a closed-loop pulsating heat pipe with binary mixtures," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Science and Engineering*, vol. 42, 2020, Art. no. 549.
- [21] B. Markal, and R. Varol, "Experimental investigation and force analysis of flat-plate type pulsating heat pipes having ternary mixtures," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 121, 2021, Art. no. 105084.
- [22] B. Markal, and K. Aksoy, "The combined effects of filling ratio and inclination angle on thermal performance of a closed loop pulsating heat pipe," *Heat and Mass Transfer*, 2020. Available: <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02988-6>
- [23] K. S. Yang, Y. C. Cheng, M. C. Liu, and J. C. Shyu, "Micro pulsating heat pipes with alternate microchannel widths," *Applied Thermal Engineering*, vol. 83, pp. 131–138, 2015.
- [24] S. J. Kline, and F. A. McClintock, "Describing uncertainties in single-sample experiments," *Mechanical Engineering*, vol. 75, no. 1, pp. 3–8, 1953.
- [25] H. Yang, S. Khandekar, and M. Groll, "Performance characteristics of pulsating heat pipes as integral thermal spreaders," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 48, pp. 815–824, 2009.
- [26] X. Liu, X. Han, Z. Wang, G. Hao, Z. Zhang, and Y. Chen, "Application of an anti-gravity oscillating heat pipe on enhancement of waste heat recovery," *Energy Conversion and Management*, vol. 205, 2020 Art. no. 112404.
- [27] S. Shi, X. Cui, H. Han, J. Weng, and Z. Li, "A study of the heat transfer performance of a pulsating heat pipe with ethanol-based mixtures," *Applied Thermal Engineering*, vol. 102, pp. 1219–1227, 2016.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Güç Sistemlerinde Thevenin Eşdeğer Devresi Kullanarak Gerilim Kararlılığı Sınırlarının Gerçek Zamanlı Değerlendirilmesi

 Talha Enes GÜMÜŞ^a,  Mehmet Ali YALÇIN^a

^a *Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE*

**Sorumlu yazarın e-posta adresi: tgumus@sakarya.edu.tr*

ÖZET

Bu çalışmada, N baralı bir güç sisteminin herhangi bir yük barasından görülen Thevenin empedansı ve baradaki yükün empedansı kullanılarak gerilim kararlılığı değerlendirilmesi yapılmıştır. Baradan görülen Thevenin eşdeğer empedansı optimizasyon esaslı bir yaklaşımla hesaplanmıştır. Önerilen yaklaşım için ilgili baraya ait sadece akım, gerilim ve güç faktörü ölçümleri kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım ile hesaplanan Thevenin eşdeğer empedansı ve yükün empedansı ile baraya ait empedans kararlılık indeksi hesaplanmıştır. Hesaplanan indeks, baradaki gerilim kararlılığı durumunu gerçek zamanlı olarak takip etme imkanı sunmuştur. Önerilen yaklaşımla elde edilen Thevenin empedansı kullanılarak hesaplanan empedans kararlılık indeksine karşılık gelen kritik güç değerleri ile güç akışından elde edilen kritik güç değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: *Gerilim kararlılığı, Optimizasyon, Thevenin eşdeğer devresi*

Real-Time Voltage Stability Limits Assessment Using Thevenin Equivalent in Power Systems

ABSTRACT

In this study, voltage stability evaluation of an N-bus power system is made by using the Thevenin impedance observed from an any load bus and the impedance of the load in the bus. The Thevenin equivalent impedance seen from the bus is computed using an optimization-based approach. Only the current, voltage and power factor measurements of the related bus are used for the proposed approach. The impedance stability index of the bus is computed using the Thevenin equivalent impedance obtained with the proposed approach and the impedance of the load. The computed index provides an opportunity to evaluate the voltage stability status of the bus in real time. It is observed that the critical power values corresponding to the impedance stability index computed using Thevenin impedance obtained with the proposed approach and critical power values derived from power flow are very close to each other.

Keywords: *Voltage stability, Optimization, Thevenin equivalent*

Elektrik enerjine olan talebin sürekli olarak artması nedeniyle modern güç sistemlerinde gerilim kararlılığı önemli bir husus haline gelmiştir. Güç sistemleri büyüdükçe daha karmaşık ve dinamik hale geldiğinden sistemin kararlı işletilebilmesi de zorlaşmaktadır. Güç sistemlerinde kararlılığın sürdürülebilir olması için, güç sisteminin gerçek zamanlı izlenmesi ve kararsızlık sınırlarına yaklaşıldığı durumlarda, gerekli önlemler alınarak sistemin kararlılığının sürdürülmesi gerekmektedir.

Gerilim kararlılığı analizi çalışmalarında güç akışı esaslı yaklaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Güç akışı esaslı yaklaşımlarda, sistemdeki bilinmeyen sayısının fazla olması nedeniyle oluşan hesap zorluğu ve olası topoloji değişimlerinde (hat açması, generatör devreye alınması veya devreden çıkması gibi) tekrar hesaplama gerektireceğinden uzun zaman almaktadır [1]–[3]. Bu durum uzun hesaplama zamanı dezavantajını ortaya çıkarmaktadır.

Son yıllarda PMU (Fazör Ölçüm Birimleri) ölçümlerini kullanarak gerilim kararlılığını gerçek zamanlı takip eden indeksler geliştirilmiştir [4]. Güç sisteminin farklı baralarından alınan PMU ölçümleri ile güç sistemine ait Thevenin eşdeğeri gerçek zamanlı hesaplanmakta ve kararlılık analizi yapılacak baranın (ilgili baranın) kararlılık durumu gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir [5]–[7]. PMU ölçüm birimleri ile çok baradan ölçüm yapıldığı için, veri sayısının çokluğu ve senkron veri işleme zorlukları ortaya çıkmaktadır.

Yerel bara parametreleri esaslı yaklaşımlarda, yerel baradan görülen Thevenin eşdeğeri hesaplanarak, baranın kararlılığı hakkında bilgi veren indeksler geliştirilmiştir [8]–[10]. Bu yaklaşımlarda Thevenin eşdeğer devre parametrelerinin doğru kestirilerek, maksimum güç transferi yasası gereği, ilgili baranın gerilim kararsızlık sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. [11][12].

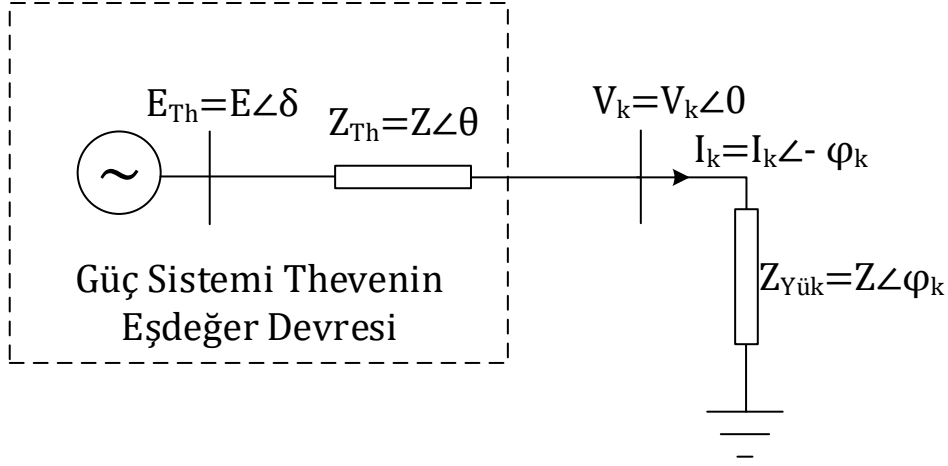
Bu çalışmada Thevenin empedansının kestirimi için yerel bara ölçümlerini kullanan optimizasyon esaslı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşım güç sisteminin ilgili barasından görülen Thevenin empedansı, baradan yapılan akım, gerilim ve güç faktörü ölçümleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan Thevenin ve yük empedans değerleri ile ilgili baraya ait empedans kararlılık indeksi hesaplanmış ve başka bir gerilim kararlılık indeksi olan ISI [13] ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemle elde edilen Thevenin empedansı ile hesaplan kararlılık indeksinin gerçek kritik değerlere yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca kararlılık indeksi ile baranın gerilim kararlılığı gerçek zamanlı olarak izlenebilmektedir.

II. GÜÇ SİSTEMİ THEVENİN EŞDEĞER DEVRESİ

Güç sistemlerinde analizi yapılacak baradan görülen Thevenin eşdeğeri ile gerilim kararlılığı değerlendirmesi yapmak mümkündür. Şekil 1’de bir güç sisteminde kararlılık analizi yapılacak k. baradan görülen Thevenin eşdeğer devresi verilmiştir. Şekil 1’de verilen Thevenin eşdeğer devresine ait Kirchoff çevre denklemi yazılırsa;

$$E_{Th} = V_k + I_k \cdot (R_{Th} + jX_{Th}) \quad (1)$$

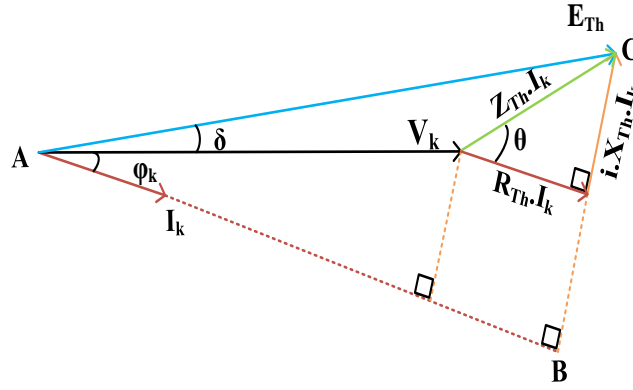
Denklem (1) elde edilir. Burada E_{Th} ve Z_{Th} bilinmeyen parametreler olup farklı yöntemler kullanılarak hesaplanabilir. Bu çalışmada yerel bara parametreleri kullanılarak optimizasyon esaslı yaklaşım ile ilgili baradan görülen Thevenin eşdeğer devresine ait Thevenin empedansı (Z_{Th}) hesaplanmıştır.



Şekil 1. Güç sistemi Thevenin eşdeğer devresi.

2.1. YEREL BARA PARAMETRELERİ İLE THEVENİN EMPEDANSININ HESAPLANMASI

Denklem (1)'de verilen Thevenin eşdeğer devre denkleminin fazör diyagramı çizilirse;



Şekil 2. Güç sistemi Thevenin eşdeğer devresi fazör diyagramı.

Şekil 2.'deki fazör diyagramı elde edilir. Thevenin eşdeğer devresi fazör diyagramı üzerinden, E_{th} 'ı hesaplamak için ABC dik üçgeninin AC kenarı için Pisagor bağıntısı yazılırsa;

$$E_{Th} = \sqrt{(V_k \cdot \cos\varphi_k + I_k \cdot R_{Th})^2 + (V_k \cdot \sin\varphi_k + I_k \cdot X_{Th})^2} \quad (2)$$

Denklem (2) elde edilir. Denklem (2)'de, R_{Th} , X_{Th} ve E_{Th} bilinmeyen parametrelerdir. Matematiksel olarak Denklem (2)'deki bilinmeyen parametrelerin hesaplanabilmesi için üç denklem gereklidir. Bilinmeyen parametrelerin hesaplanabilmesi için yerel baradan ardışık üç ölçüm yapılarak üç denklemden oluşan üç bilinmeyenli denklem sistemi elde edilir.

$$E_{Th1} = \sqrt{(V_{k1} \cdot \cos\varphi_{k1} + I_{k1} \cdot R_{Th})^2 + (V_{k1} \cdot \sin\varphi_{k1} + I_{k1} \cdot X_{Th})^2} \quad (3)$$

$$E_{Th2} = \sqrt{(V_{k2} \cdot \cos\varphi_{k2} + I_{k2} \cdot R_{Th})^2 + (V_{k2} \cdot \sin\varphi_{k2} + I_{k2} \cdot X_{Th})^2} \quad (4)$$

$$E_{Th3} = \sqrt{(V_{k3} \cdot \cos\varphi_{k3} + I_{k3} \cdot R_{Th})^2 + (V_{k3} \cdot \sin\varphi_{k3} + I_{k3} \cdot X_{Th})^2} \quad (5)$$

Yapılan kısa aralıklı ardışık ölçümlerde güç sisteminin Thevenin empedansı ($Z_{Th} = R_{Th} + jX_{Th}$) sabit kalmasına rağmen[10] Thevenin gerilimi çok az da olsa değişmektedir [14]. Her bir ardışık ölçümden

denklem sistemine Thevenin gerilimi (E_{Th}) yeni bir bilinmeyen olarak eklenmektedir. Bu durumda E_{Th1} , E_{Th2} , E_{Th3} , R_{Th} ve X_{Th} denklem sisteminin bilinmeyen parametreleridir. Elde edilen denklem sistemi nonlineer olmasından dolayı iki ölçüm arasındaki E_{Th} değişimi bilinmeden denklem sisteminin analitik olarak çözülemez. E_{Th1} , E_{Th2} , E_{Th3} arasındaki değişim bilinirse sisteme ait Thevenin empedansının gerçek değeri hesaplanabilir. Fakat Thevenin gerilimindeki değişimin ölçüm yapılan baradan bilinmesi mümkün değildir. Denklem sisteminin çözülebilmesi için kısa aralıklı ardışık ölçümler arasında Thevenin Geriliminin sabit kaldığı ($E_{Th1}=E_{Th2}=E_{Th3}$) kabulü yapılırsa [15];

$$E_{Th1} - E_{Th2} = 0 \quad (6)$$

$$E_{Th2} - E_{Th3} = 0 \quad (7)$$

Denklem (6) ve Denklem (7) eşitlikleri elde edilir. Üç ardışık ölçüm ile elde edilen denklem sayısı ikiye düşürülerek iki bilinmeyenli iki denklem haline gelir [16]. Elde edilen iki denklem nonlineer optimizasyon yaklaşımı kullanılarak denklem sistemindeki bilinmeyenler R_{Th} ve X_{Th} hesaplanabilir. Fakat hesaplanan R_{Th} ve X_{Th} arasındaki açı olan ve Denklem (8)'de verilen Thevenin empedansı açısının;

$$\theta = \text{atan}\left(\frac{X}{R}\right) \quad (8)$$

optimizasyon çözümünde hatalı bulunduğu ve özellikle ilgili barada güç arttıkça, açının doğru değerden uzaklaştığı yapılan benzetim çalışmalarında görülmüştür.

Enerji iletim hatları ve transformatörlerden oluşan güç sistemlerinin karakteristik empedans açısının $\theta = \text{atan}\left(\frac{X}{R}\right)$ 'nın $80^\circ \pm 7^\circ$ aralığında olduğu ve artan sistem gerilimi ile büyüdüğü bilinmektedir [17],[18]. Bu çalışmada Thevenin empedansı açısının değeri 80 derece kabul edilmiştir. Böylelikle $\Delta E = 0$ ve $\theta = 80^\circ$ kabulü ile denklem sistemine ait tek bilinmeyen parametre Z_{Th} olur. Yapılan kabuller ile sistemin ilgili barasından yapılacak ardışık iki ölçümle ilgili baradan görülen Thevenin empedansının genliği hesaplanabilecektir. Yapılan kabuller ve ilgili baradan alınan birinci ve ikinci ölçümler ile Denklem (9) ve Denklem (10) elde edilir.

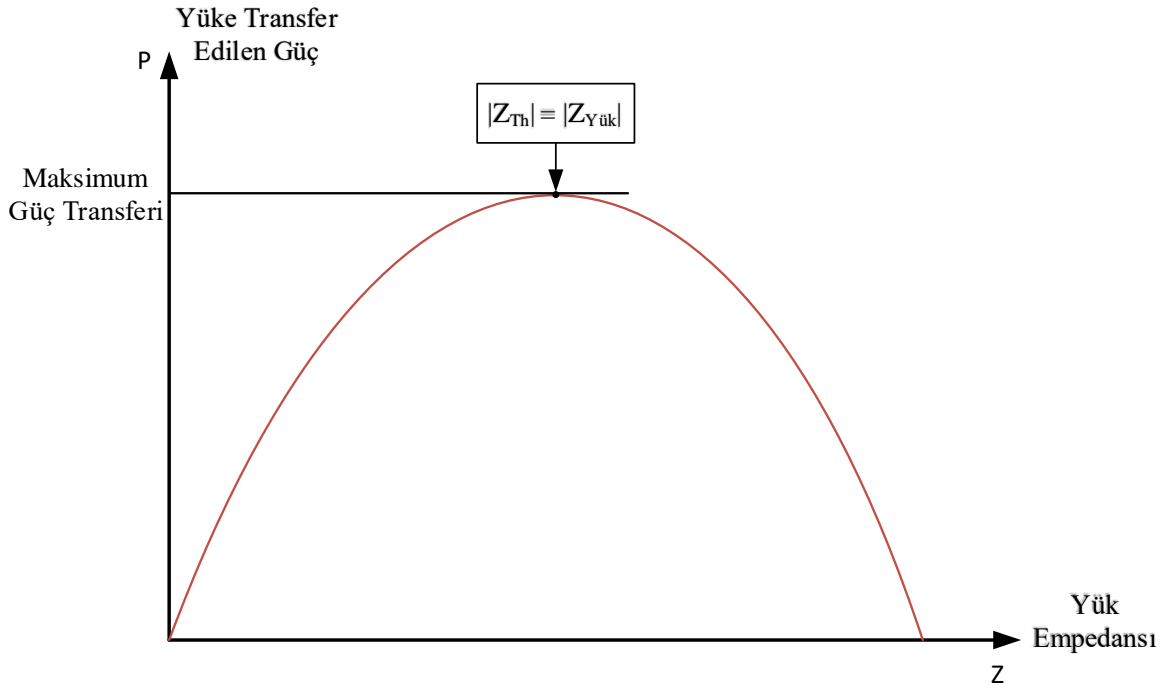
$$E_{Th1} = \sqrt{(V_{k1} \cdot \cos\varphi_{k1} + I_{k1} \cdot Z_{Th} \cdot \cos(80))^2 + (V_{k1} \cdot \sin\varphi_{k1} + I_{k1} \cdot Z_{Th} \cdot \sin(80))^2} \quad (9)$$

$$E_{Th2} = \sqrt{(V_{k2} \cdot \cos\varphi_{k2} + I_{k2} \cdot Z_{Th} \cdot \cos(80))^2 + (V_{k2} \cdot \sin\varphi_{k2} + I_{k2} \cdot Z_{Th} \cdot \sin(80))^2} \quad (10)$$

Elde edilen denklemlerin optimizasyon ile çözülebilmesi için amaç fonksiyonu Denklem (6)'da verilen eşitlik olacaktır ve denklem sistemi nonlineer optimizasyon çözüm yöntemi Levenberg-Marquardt [19], [20] ile çözümlenerek güç sistemini optimal temsil eden Z_{Th} değeri hesaplanır.

III. MAKSİMUM GÜÇ TRANSFERİ VE GERİLİM KARARLILIK İNDEKSİ

Güç sisteminde ilgili bara arkasında kalan güç sisteminin Thevenin eşdeğeri bilindiği takdirde baradan çekebilecek maksimum güç, maksimum güç transferi yasası ile hesaplanabilir. Yük empedansının ($Z_{Yük}$), Thevenin empedansına (Z_{Th}) eşit olduğu durumda yüke transfer edilebilecek görünür güç maksimum olur [21]. Şekil 3'deki yüke transfer edilecek gücün empedansa göre değişimi grafik olarak verilmiştir. Transfer edilen maksimum güç değeri, gerilim kararlılığı açısından ilgili bara için sınır değerdir.



Şekil 3. Thevenin eşdeğer devresi güç transferi [24]

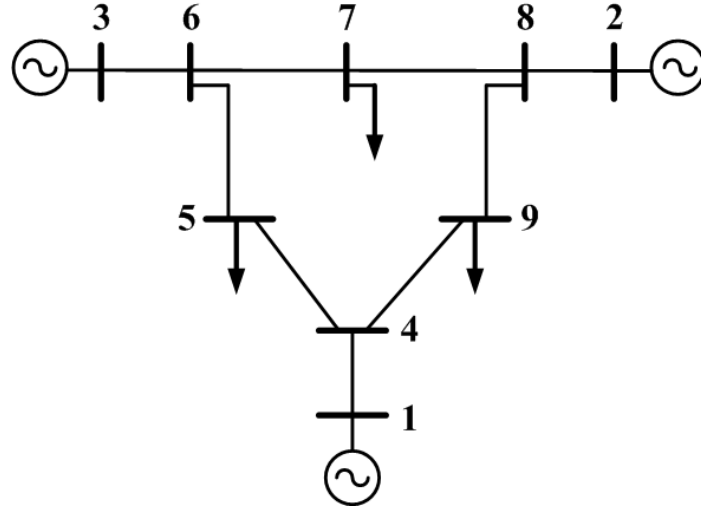
İlgili baradan görülen Thevenin empedansı ve bara yük empedansı gerçek zamanlı olarak takip edilerek, empedans kararlılık indeksi ile baranın gerilim kararlılığı takip edilebilir. Denklem (11)'de empedans kararlılık indeksi verilmiştir [13].

$$\text{Empedans Kararlılık İndeksi} = \frac{Z_{Yük} - Z_{Th}}{Z_{Yük}} \quad (11)$$

Denklem (11)'de verilen empedans kararlılık indeksi 0-1 arası değerler alıp, indeks değeri 0'a yaklaştıkça güç sisteminin kararsızlık sınırlarına doğru gittiği, 1'e yaklaştıkça sistemin kararlı olduğu anlaşılmaktadır.

IV. BENZETİM ÇALIŞMASI

IEEE 9 baralı test sisteminin yük baralarında önerilen yöntemle hesaplanan Thevenin empedansı ve bara yük empedansı ile baraya ait empedans kararlılık indeksi gerçek zamanlı olarak hesaplanmış ve sonuçları verilmiştir. Önerilen yaklaşımla hesaplanan kararlılık indeksi ve ISI indeksi ile karşılaştırılmış ve sonuçları verilmiştir. IEEE 9 baralı test sistemine ait detaylar Tablo 1 ve Tablo 2 'de verilmiştir.



Şekil 4. IEEE 9 baralı test sistemi [22]

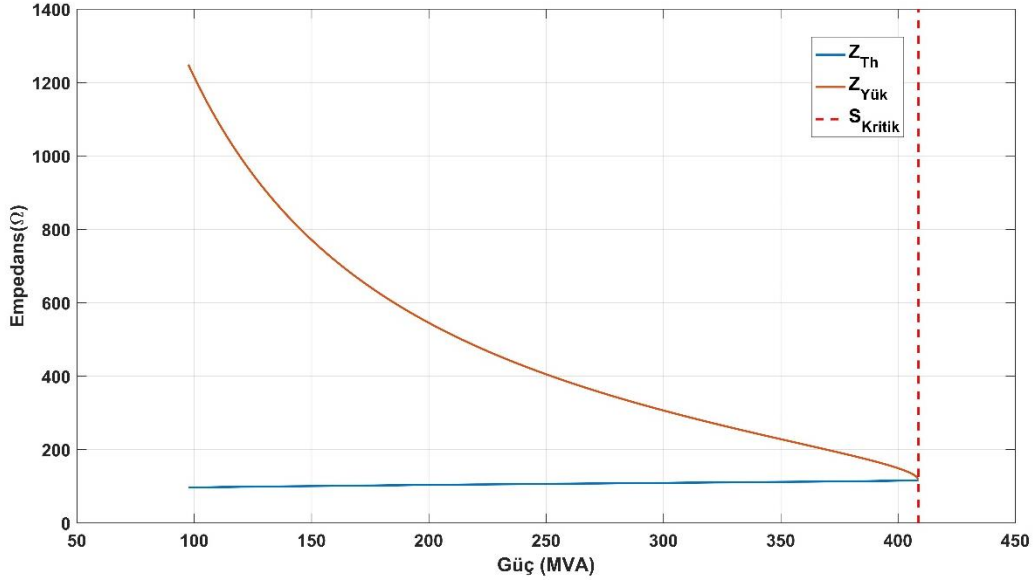
Tablo 1. IEEE 9 baralı test sistemi hat değerleri.

Hat	Resistans(pu)	Reaktans	Suseptans
1-4	0.0000	0.0576	0.0000
4-5	0.0170	0.0920	0.1580
5-6	0.0390	0.1700	0.3580
3-6	0.0000	0.0586	0.0000
6-7	0.0119	0.1008	0.2090
7-8	0.0085	0.0720	0.1490
8-2	0.0000	0.0625	0.0000
8-9	0.0320	0.1610	0.3060
9-4	0.0100	0.0850	0.1760

Tablo 2. IEEE 9 baralı test sistemi güç akışı sonuçları.

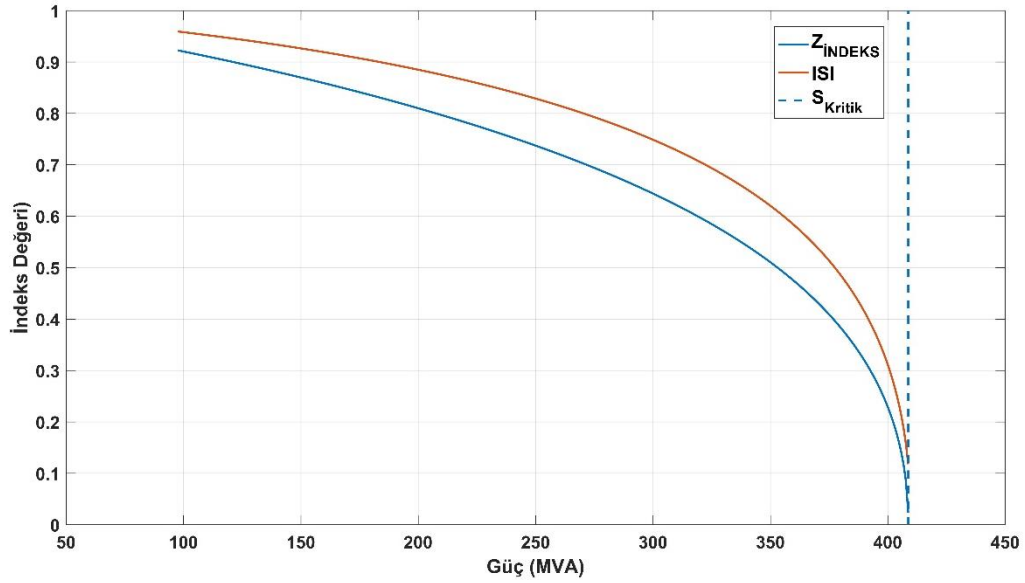
Bara	V(pu)	Açı(Derece)	Yük MW	Yük MVA _r	Üretim MW	Üretim MVA _r
1-4	0.0000	0.0576	0	0	71.69	27.91
4-5	0.0170	0.0920	0	0	163	4.9
5-6	0.0390	0.1700	0	0	85	11.45
3-6	0.0000	0.0586	0	0	0	0
6-7	0.0119	0.1008	125	50	0	0
7-8	0.0085	0.0720	90	30	0	0
8-2	0.0000	0.0625	0	0	0	0
8-9	0.0320	0.1610	100	35	0	0
9-4	0.0100	0.0850	0	0	0	0

Test sisteminin 5 numaralı yük barasından görülen Thevenin empedansının önerilen yöntemle hesaplanan değeri ve yükün empedansı değeri, baradaki güç değişimine bağlı olarak Şekil 5'te verilmiştir.



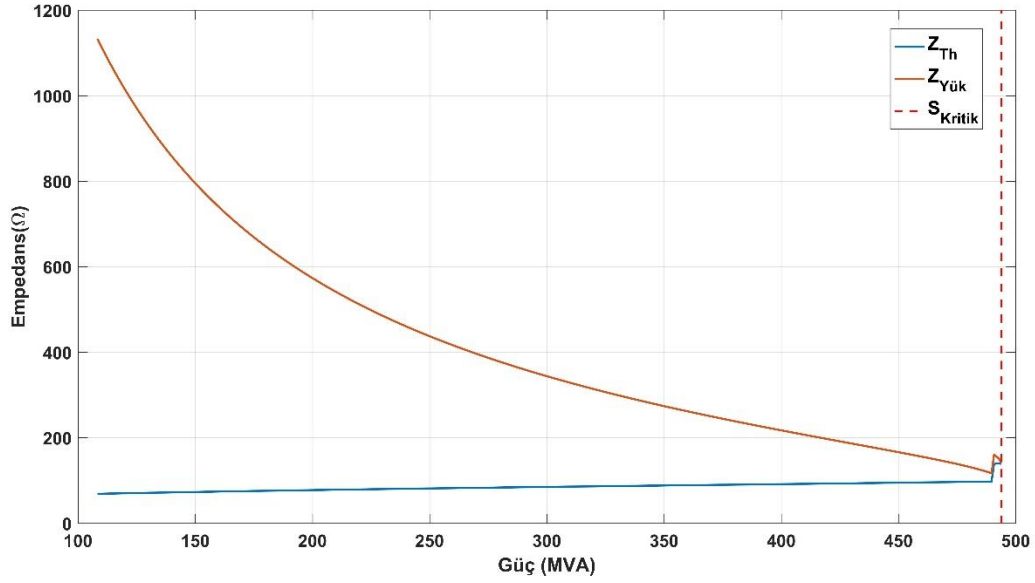
Şekil 5. Bara 5 Thevenin ve yük empedansı değerleri

Thevenin empedans değeri ve yük empedans değeri Denklem (11) kullanılarak 5 numaralı baraya ait empedans kararlılık indeksi ($Z_{İNDEKS}$) hesaplanmıştır. Hesaplanan $Z_{İNDEKS}$ değerleri ISI kararlılık indeksi karşılaştırılmış ve sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



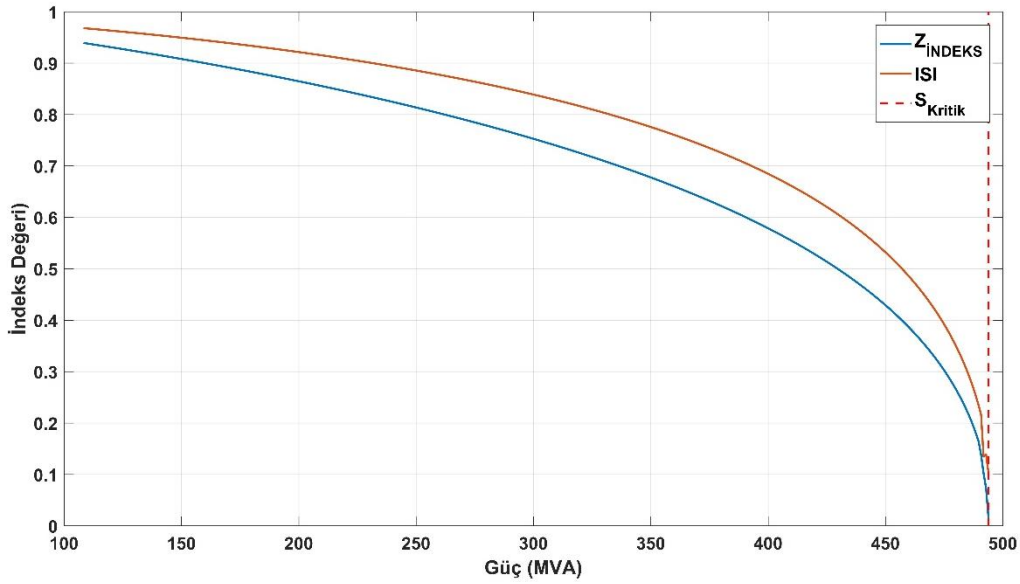
Şekil 6. Bara 5 Thevenin esaslı $Z_{İndeKS}$ ve ISI değerleri

Test sisteminin 7 numaralı yük barasından görülen Thevenin Empedans değeri ve yük empedans değeri, baradaki güç değişimine bağlı olarak Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'de verilen grafikte 450 MVA'dan sonra meydana gelen empedans değişimi, güç sisteminde bulunan generatörlerin reaktif güç limitlerine ulaşmasından kaynaklanmaktadır [23].



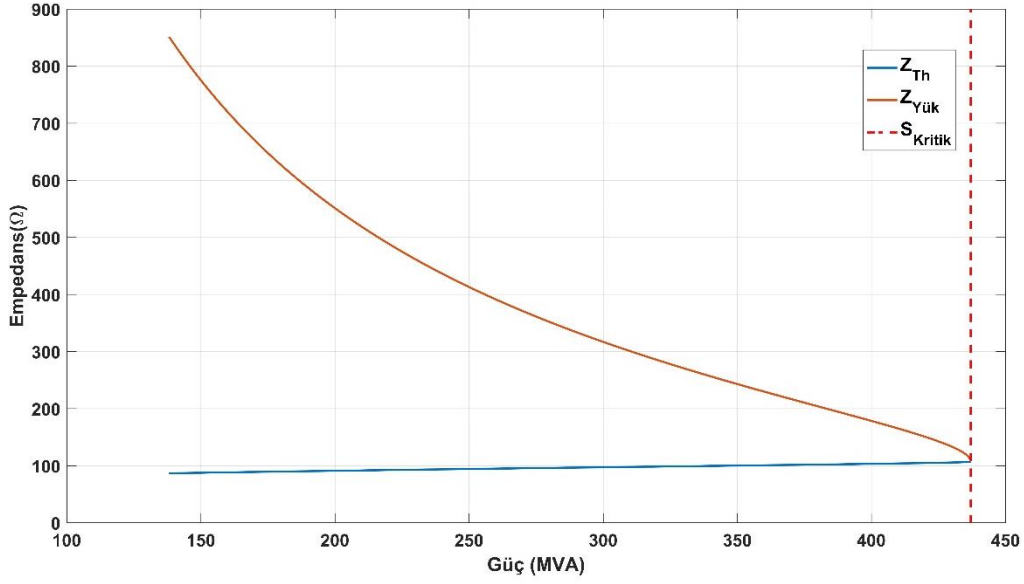
Şekil 7. Bara 7 Thevenin ve yük empedansı değerleri

Şekil 8'de 7 numaralı yük barasına ait $Z_{İNDEKS}$ ve ISI indeks sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



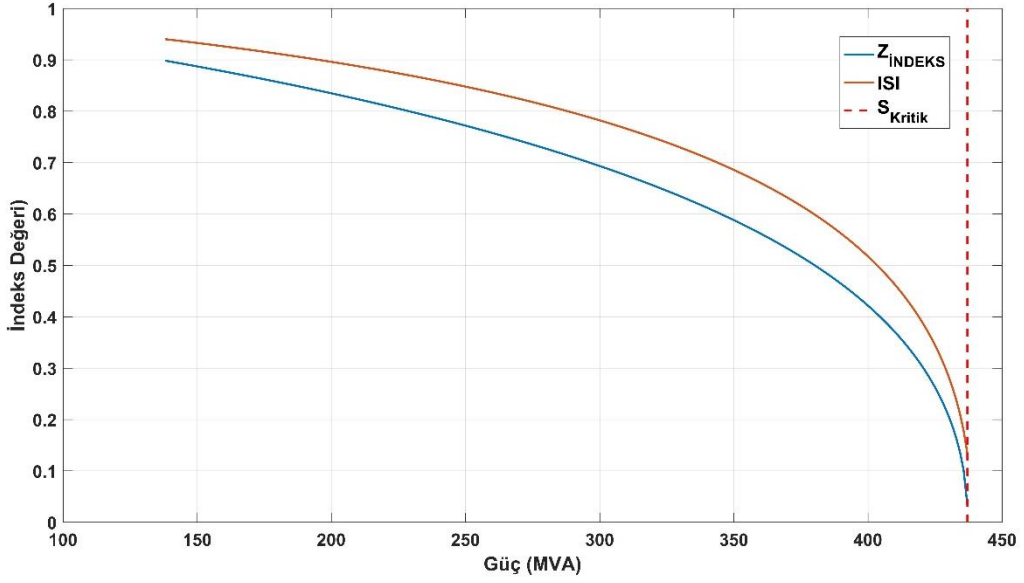
Şekil 8. Bara 7 Thevenin esaslı $Z_{İNDEKS}$ ve ISI değerleri

Test sisteminin 9 numaralı yük barasına ait önerilen yöntem ile hesaplanan Thevenin Empedans değerleri ve yük empedans değerleri güç değişimine bağlı olarak Şekil 9'de verilmiştir.



Şekil 9. Bara 9 Thevenin-yük empedansı değerleri

9 numaralı baraya ait $Z_{İNDEKS}$ ve ISI indeks değerlerine ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Bara 9 Thevenin esaslı $Z_{İNDEKS}$ ve ISI değerleri

Test sisteminin yük baralarına ait güç akışından elde edilen kritik güç değerlerine karşılık gelen $Z_{İNDEKS}$ ve ISI indeks değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 3'de kritik güç değerlerine ait bara gerilim değerleri pu olarak verilmiştir.

Tablo 3. Yük baralarına ait kritik güç ve $Z_{İNDEKS}$, ISI ve Kritik Gerilim değerleri.

Bara Numarası	Kritik Güç Değeri (Güç akışı)	$Z_{İndeKS}$	ISI	V(pu)
5	480.69 MVA	0.0233	0.1176	0.6390
7	493.93 MVA	0.0125	0.1020	0.7645
9	437.14 MVA	0.0130	0.1346	0.6367

Yerel bara parametreleri kullanılarak hesaplanan empedans kararlılık indeksinin, güç akışından elde edilen kritik güç değerlerinde 0'a çok yakın olduğu görülmüştür. $Z_{İNDEKS}$ değerlerinin, karşılaştırılan ISI indeks değerlerine göre gerilim kararlılığı değerlendirmesi açısından, kritik değerleri daha doğru gösterdiği güç akışı sonuçları ile karşılaştırmalardan görülmüştür. Böylece $Z_{İNDEKS}$ kullanılarak gerçek zamanlı gerilim kararlılığı izleme imkânı, daha az işlem ve veri ile sağlanmıştır.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada N Baralı bir güç sisteminin yük baralarından görülen Thevenin eşdeğer devre empedansı, Levenberg-Marquardt optimizasyonu ile hesaplanmıştır. Thevenin empedansı ve yük empedansı kullanılarak yük barasına ait empedans kararlılık indeksi hesaplanmış ve gerçek zamanlı gerilim kararlılığı değerlendirilmesi yapılmıştır.

Önerilen optimizasyon esaslı yaklaşımda ilgilenilen yük barasından yapılacak ardışık iki örneklemede ölçüm hataları olması durumunda oluşabilecek yakınsama problemlerini ortadan kaldıran bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen yöntemle yük barasından yapılan ardışık iki ölçüm ile baraya ait kararlılık indeksinin hesaplanabilir olması işlem kolaylığı ve hızlı sonuç alınması avantajlarını sağlamıştır.

Bu avantajlar, sistem operatörlerinin iletim sistemlerde gerilim kararlılığı sınırları açısından gerçek zamanlı olarak hızlı değerlendirme yapabilmesine imkan sağlayacaktır.

Gerilim kararlılığı çalışmalarında, reaktif güç sınırları büyük önem taşımaktadır. Kararlılık sınırlarının daha hassas indekslerle belirlenebilmesi için özellikle üretim tesislerindeki reaktif güç sınırlamalarının modellere olabildiğince doğru yansıtılması bu tür yaklaşımları daha güvenli kılacaktır. Önerilen yöntem ile reaktif güç limitlerinin aşılması durumunda Thevenin empedansındaki değişimler de gösterilmiştir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] S. Ravindra, V. C. V. Reddy, and S. Sivanagaraju, "Power system security analysis under transmission line outage condition," *Ijireeice*, vol. 3, no. 1, pp. 46–50, 2015, doi: 10.17148/ijireeice.2015.3109.
- [2] I. Alhamrouni, M. A. Alif, B. Ismail, M. Salem, A. Jusoh, and T. Sutikno, "Load flow based voltage stability indices for voltage stability and contingency analysis for optimal location of STATCOM in distribution network with integrated distributed generation unit," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, vol. 16, no. 5, pp. 2302–2315, 2018, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i5.10577.
- [3] K. Döşoğlu, "Gerilim-Reaktif Güç Kontrol Modelli Kademe Değiştirici Transformatörün Gerilim Kararlılığı Üzerindeki Etkisi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 9, no. 1, pp. 278–292, Jan. 2019, doi: 10.29130/dubited.521863.
- [4] M. S. S. Danish, T. Senjyu, S. M. S. Danish, N. R. Sabory, N. K., and P. Mandal, "A Recap of Voltage Stability Indices in the Past Three Decades," *Energies*, vol. 12, no. 8, p. 1544, Apr. 2019, doi: 10.3390/en12081544.
- [5] S. L. Ramírez-P, C. A. Lozano-M, and N. G. Caicedo-D, "Review and classification of indices for voltage stability monitoring using PMU measurements," *J. Eng. Sci. Technol. Rev.*, vol. 11, no. 4, pp. 180–198, 2018, doi: 10.25103/jestr.114.23.
- [6] B. Bozali and A. Öztürk, "Türkiye 400 KV'luk Güç Sistemi İçin Optimal Fazör Ölçüm Birimlerinin Yerleşim Yerlerinin Belirlenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 8, no. 2, pp. 1319–1336, Apr. 2020, doi: 10.29130/dubited.659075.
- [7] Y. Lee and S. Han, "Real-time voltage stability assessment method for the Korean power system based on estimation of Thévenin equivalent impedance," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 8,

- 2019, doi: 10.3390/app9081671.
- [8] B. Brusilowicz, W. Rebizant, and J. Szafran, "A new method of voltage stability margin estimation based on local measurements," in *2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection*, Oct. 2011, pp. 2443–2447, doi: 10.1109/APAP.2011.6180655.
- [9] B. Shakerighadi, F. Aminifar, and S. Afsharnia, "A real-time voltage stability index based on local measurements," in *2015 23rd Iranian Conference on Electrical Engineering*, May 2015, pp. 1492–1497, doi: 10.1109/IranianCEE.2015.7146456.
- [10] K. Vu, M. M. Begovic, D. Novosel, and M. M. Saha, "Use of local measurements to estimate voltage-stability margin," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 14, no. 3, pp. 1029–1035, 1999, doi: 10.1109/59.780916.
- [11] J. E. Tobón V., R. E. C. Gutiérrez, and J. M. Ramirez, "27-Voltage collapse detection based on local measurements," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 107, pp. 77–84, 2014, doi: 10.1016/j.epsr.2013.09.013.
- [12] Z. Yun, X. Cui, and K. Ma, "Online Thevenin Equivalent Parameter Identification Method of Large Power Grids Using LU Factorization," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 34, no. 6, pp. 4464–4475, Nov. 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2920994.
- [13] I. Smon, G. Verbic, and F. Gubina, "Local Voltage-Stability Index Using Tellegen's Theorem," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 3, pp. 1267–1275, Aug. 2006, doi: 10.1109/TPWRS.2006.876702.
- [14] R. Maharjan and S. Kamalasadán, "Voltage stability index for online voltage stability assessment," in *2015 North American Power Symposium (NAPS)*, Oct. 2015, pp. 1–6, doi: 10.1109/NAPS.2015.7335245.
- [15] Y. Wang, W. Li, and J. Lu, "A new node voltage stability index based on local voltage phasors," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 79, no. 1, pp. 265–271, 2009, doi: 10.1016/j.epsr.2008.06.010.
- [16] M.H.Haque, "25-On-line monitoring of maximum permissible loading of a power system within voltage stability limits," *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, vol. 150, no. 1, 2003, doi: 10.1093/oxfordjournals.ndt.a091183.
- [17] A. Birchfield *et al.*, "A Metric-Based Validation Process to Assess the Realism of Synthetic Power Grids," *Energies*, vol. 10, no. 8, p. 1233, Aug. 2017, doi: 10.3390/en10081233.
- [18] A. Wiszniewski, "45-New criteria of voltage stability margin for the purpose of load shedding," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 22, no. 3, pp. 1367–1371, 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2006.886772.
- [19] D. W. Marquardt, "An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters," *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, vol. 11, no. 2, pp. 431–441, Jun. 1963, doi: 10.1137/0111030.
- [20] C. Kanzow, N. Yamashita, and M. Fukushima, "Levenberg-Marquardt methods with strong local convergence properties for solving nonlinear equations with convex constraints," *J. Comput. Appl. Math.*, vol. 172, no. 2, pp. 375–397, 2004, doi: 10.1016/j.cam.2004.02.013.
- [21] S. Polster, H. Renner, D. T. Duong, and K. Uhlen, "Voltage stability monitoring using a modified thevenin impedance," *2017 IEEE Manchester PowerTech, Powertech 2017*, pp. 2–7, 2017, doi: 10.1109/PTC.2017.7980864.
- [22] R. Kaur and D. Kumar, "Transient Stability Improvement of IEEE 9 Bus System Using Power World Simulator," *MATEC Web Conf.*, vol. 57, 2016, doi: 10.1051/mateconf/20165701026.
- [23] N. A. M. Ismail, A. A. M. Zin, A. Khairuddin, and S. Khokhar, "A comparison of voltage stability indices," *Proc. 2014 IEEE 8th Int. Power Eng. Optim. Conf. PEOCO 2014*, pp.

30–34, 2014, doi: 10.1109/PEOCO.2014.6814394.

- [24] Electronics Hub, Maximum Power Transfer Theorem (MPTT),(04 Mart 2021),[Çevrimiçi],
Erişim: <https://www.electronicshub.org/maximum-power-transfer-theorem/>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yat Limanlarındaki Güneş Enerji Santralleri Panel Eğim Açısı Değişiminin Elektrik Üretimi Açısından İncelenmesi

 Ali Rıza DAL*

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, Ankara, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ardal1969@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.869639

ÖZET

Dünya nüfusundaki artış, sanayideki büyüme ve gelişen teknoloji enerji tüketim talebini artırmaktadır. Enerji tüketimindeki bu artış iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Güneş Enerjisi Santrallerinin (GES) hem iklim değişikliğini hem de ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltıcı bir etkisi vardır. GES’de elektrik üretimi için güneş panelleri kullanılmaktadır. GES’de güneşten en üst seviyede yararlanmak amaçlanmaktadır. Literatürde; yıllık ve mevsimsel olarak panel eğim açılarının değişim ile ilgili çalışmalar da mevcuttur. GES konut ve endüstrinin birçok alanında kullanılmasına rağmen yat limanlarında kullanılmamaktadır. Bu çalışmanın amacı bir yat limanı elektrik ihtiyacı için GES’den maksimum seviyede faydalanmaktır. Bu amaç kapsamında GES’de güneş panellerinin aylık optimum eğim açısının değiştirilmesi ile GES’in üretim veriminin artırılması analiz edilmiştir.

Analiz için Fethiye İlçesindeki bir yat limanının elektrik ihtiyacının 1500 kW gücünde olan GES ile tedarik edilebileceği tespit edilmiştir. Bu çalışmada Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS) simülasyon programı kullanılmıştır. Aynı şekilde GES panellerinin elektrik üretimi optimum eğim açılarında (0°, 8°, 13°, 19°, 24°, 31,7°, 35°, 40°, 49°, 50°, 59°) aylık bazda ayrı ayrı bulunmuştur. GES’de kullanılan panellerde aylık optimum eğim açılarının yılda 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 defa değiştirilmesi ile farklı gruplandırmalar yapılmıştır. Gruplandırmalarda panel eğim açılarındaki elektrik üretim verimleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda; 31,7°’lik eğim açısına göre 8’li gruplandırmada 129 MWh ve %5,24 oran ile verimde en yüksek, 2’li gruplandırmada ise 95 MWh ve %3,86 oran ile verimde en düşük artışın olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Paneli, Eğim Açısı Değişimi, PVGIS

Examination of The Changes of Inclination Angle of the Solar Power Plants at Yacht Marina Port Areas in Terms of Electricity Production

ABSTRACT

Increase in the world population, growth in industry and developing technology increase the demand for energy consumption. This increase in energy consumption causes climate change. Solar Power Plants (SPP) have an effect that reduces both climate change and our country's dependence on foreign energy. Solar panels are used for electricity generation in SPP. In SPP, it is aimed to benefit from the sun at the highest level. In the literature; There are also studies on the change of angle of the panel slope annually and seasonally. Although SPP is used in many areas of housing and industry, it is not used in yacht marinas. The purpose of this study is to utilize SPP at the maximum level for the electricity needs of a yacht marina. Within the scope of this purpose, it has been analyzed

to increase the production efficiency of solar panels by changing the monthly optimum inclination angle of solar panels in the SPP.

For analysis, it has been determined that the electricity requirement of a marina in Fethiye District can be supplied by GES with a power of 1500 kW. In this study, Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) simulation program was used. Likewise, electricity generation of SPP panels was found separately on a monthly basis at optimum inclination angles (0 °, 8 °, 13 °, 19 °, 24 °, 31.7 °, 35 °, 40 °, 49 °, 50 °, 59 Different groupings were made by changing the monthly optimum inclination angles 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8 times a year in the panels used in the SPP. Electricity generation efficiencies in panel inclination angles were compared in groupings. As a result of comparison; According to the inclination angle of 31.7 °, it has been determined that in 8 grouping, the efficiency is the highest with 129 MWh and 5.24%, and in the 2-group grouping it has been determined that the lowest increase is 95 MWh and 3.86%.

Keywords: Keyword 1, Solar Energy, Solar Panel, Inclination Angle Change, PVGIS

I. GİRİŞ

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de artan nüfus yoğunluğu, büyüyen iş kolları ve sanayi faaliyetleri sonucunda enerji tüketimine olan talep her yıl artış göstermektedir. Bu talep artışı beraberinde elektrik üretimi arzının ve buna bağlı olarak da sera gazı emisyonunun hızla yükselmesine sebep olmaktadır. GES iklim değişikliği ile mücadeleye olan olumlu katkısı ve enerjide dışa bağımlılığı azaltıcı bir etkiye sahiptir. Ayrıca, finansal ve stratejik faydaları değerlendirildiğinde önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayan GES yaygınlaştırılarak elektrik üretiminde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Bu doğrultuda, elektrik üretiminde GES uygulamalarına yönelik dünyada olduğu gibi ülkemiz çapında da son yıllarda ivme kazanmıştır.

GES’de güneşten günün her saatinde en yüksek seviyede yararlanmak amaçlanmaktadır. Bu hususta güneşin dönüş yönünü takip eden güneş panelleri geliştirilmeye başlanılmıştır. Literatür incelendiğinde; sabit eğimli paneller yerine, eksenel (yatay/dikey) hareket etme kabiliyeti olan panellerin verimiyle ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca, güneş panellerin aylık ve mevsimsel optimum eğim açılarının değişim ile ilgili çalışmalarda yapılmaktadır.

Çalışmalarda, güneş panellerinden elde edilen enerji miktarı; enleme ve panelin yüzey ile yaptığı eğim açısına göre değişmektedir [1]. Literatürde eğim açısı ile ilgili bölgesel olarak birçok metodoloji geliştirilmiştir. İzmir’de maksimum enerji elde etmek için yapılan çalışmada; güney yönlü güneş panellerin optimum eğim açıları yaz ayları için enlemden 34° aşağı, kış ayları için enlemden 19° fazla ve yıllık optimum eğim açısı ise 30,3° olarak bulunmuştur [2]. Dört farklı şehirde (İstanbul, Ankara, Erzurum, Adana) yapılan çalışmada; optimum eğim açısının Erzurum ilinde 56° ile Aralık ayında, en düşük açının ise Adana ilinde 12° ile Haziran ayında gerçekleştiği belirtilmiştir [3]. Aınmelh M’sila konumu için şebekeye bağlı 1 MWp’lik bir fotovoltaik sistemin simüle ederek, sabit eğim için PVsyst’i kullanmış, ayrıca mevsimsel eğim ayarlamaları ile sabit eğim ve mevsimsel eğim için enerji verimindeki olası değişiklik performans oranları incelenmiştir [4]. Güney Afrika’da yapılan çalışmada, optimum eğim açısında sabitlenmiş kolektörlerin yataya sabitlenmiş kolektörlere göre %10 daha fazla ışınım aldığı görülmüştür [5]. Güneye yönlendirilmiş panellerde 20° ile 40° arasındaki eğimler için edilen yıllık toplam ışınımın yatayda elde edilen ışınımına göre sapması daha stabildir. Bu eğim aralığında maksimum değerden sapma %1,5 civarındadır [6]. PV panellerin yıl ya da mevsim boyunca sabit eğim açılarıyla yerleştirilmeleri yerine, basit ve ekonomik bir düzenek vasıtasıyla ayda bir defa o ayın optimum eğim açısına göre ayarlanarak kullanılmaları tavsiye edilmiştir [7]. Malezya’da beş farklı bölgede yapılan çalışmada, güneş panellerin aylık ve mevsimlik optimum eğim açıları belirlenmiştir. Aylık optimum eğim açılarının değiştirilmesiyle güneş panellerinde %5,02 ila 7,96 arasında, mevsimlik optimum eğim açılarının değiştirilmesinde ise %4,11 ila 5,85 arasında verim artışı olduğu belirtilmiştir [8]. Yüreğir ovasında yapılan çalışmada panellerin farklı eğim açılarında (15°, 30°, 45°, 60°) enerji üretimi

değişimleri anlık, günlük ve aylık ölçümleri yapılmıştır. Yıl boyunca 15° eğimle konumlandırılması durumunda diğer açılara kıyasla yılın ilk 4 ve son 4 ayı yaklaşık %7-10 enerji kaybı gerçekleştiği, aynı eğimle konumlandırılan paneller aradaki 4 aylık sürede diğer eğim açılarına göre daha avantaj sağladığı belirtilmiştir [9]. Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan çalışmada yıl boyunca eğim açısını aylık olarak değiştirilen panellerin, sabit panellere göre yıllık ortalama %5 daha fazla güneş ışınımı aldığı bulunmuştur [10].

Güneş Enerji Potansiyeli Atlası [11] incelendiğinde; ülkemiz coğrafi konumu itibarıyla Ege, Akdeniz, Orta Anadolu ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerinin güneş ışınımı açısından avantajlı olduğu anlaşılmaktadır. Ülkemizde aynı zamanda Ege ve Akdeniz bölgeleri turizm potansiyeli yüksek olan bölgelerdir. Turizmde önemli gelir kalemlerinden biri de yat turizmidir.

Yat turizmi, insanların denizlerde seyahat etmesine imkân sağlayan sektörlerden biridir. Yat limanları ise yatlara güvenli barınma imkânı sunmaktadır. Türkiye'de turizm potansiyelindeki artış miktarına bağlı olarak yat limanlarında da elektrik ihtiyacı artmaktadır. Bu artış yaz aylarında maksimum seviyeye ulaşmakta diğer aylarda ise kademeli olarak düşmektedir. Güneşten elektrik üretimi de yaz aylarında maksimum seviyeye ulaşmaktadır [11]. Ülkemizde birçok sektör, ihtiyaçları olan elektriği GES uygulamaları ile elde etmeye başlamıştır. Türkiye kıyılarında toplamda 24.728 adet yat bağlama kapasitesine sahip 61 adet yat limanı [12] mevcut olmasına rağmen yapılan saha araştırmasında yat limanlarında güneş enerjisinden elektrik üretimi henüz bulunmamaktadır [13]. Ayrıca, yat limanlarının Akdeniz ve Güney Ege bölgelerinde yoğunlaşması ile söz konusu bölgelerin güneş enerji potansiyeli açısından yüksek olması bu bölgeleri ön plana çıkarmaktadır.

Literatürden anlaşılacağı üzere yapılan çalışmalarda daha çok bölgesel optimum eğim açılarının aylık, mevsimsel ve altı aylık durumu incelenmiştir. Ayrıca, yat limanları ihtiyacı olan elektriğin güneşten tedarikine ilişkin literatürde bir boşluğun olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizdeki yat limanlarında güneşten su ısıtmak amacı dışında faydalanılmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, güneş enerji potansiyeli fazla olan Akdeniz ve Ege kıyılarındaki yat limanlarının elektrik ihtiyacının GES ile karşılanması için literatüre ve yatırımcılara katkı sağlamaktır. Bunun için panellerdeki aylık optimum eğim açılarının aylık ve mevsimlik yerine yılda birden fazla kez değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

II. MATERYAL METOD

Dünya yüzeyine gelen güneş radyasyonunu tahmin etmek için simülasyon programları araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu gelişmiş programlar sayesinde çalışmalar ile gerçeğe yakın analizlerin yapılması kolaylaşmaktadır. PVGIS; Avrupa Birliği tarafından geliştirilen ve meteorolojik verileri kullanarak güneş ışınımından elde edilebilecek elektrik enerjisini hesaplamaktadır. Bu simülasyon programı kullanıcılarına ücretsiz olarak sunulmaktadır. PVGIS; uygulama alanı koordinatlarına göre günlük, aylık ve yıllık optimum ışınım değerleri ve üretilecek olan elektrik üretim miktarı hesaplanabilmektedir.

PVGIS simülasyon programı güneş ışınım ve panel sıcaklığının etkilerini kullanarak hesaplama yapmaktadır. Güç P [W]; güneş ışınımı ve panel sıcaklığına bağlı olarak Eşitlik (1-4) ile hesaplanmaktadır [14,15].

$$P(G_T', T') = G_T' (P_{STC,m} + k_1 \ln(G_T') + k_2 \ln(G_T')^2 + k_3 T' + k_4 T' \ln(G_T') + k_5 T' \ln(G_T')^2 + k_6 T'^2) \quad (1)$$

$$G_T' \equiv G_T / G_{STC} \quad (2)$$

$$T' \equiv T_{mod} - T_{STC} \quad (3)$$

$$\eta_{rel}(G_T', T') \equiv \frac{P(G_T', T')}{P_{STC,m} G_T'} \quad (4)$$

Burada, G_T' toplam güneş ışınımı ve T' panel sıcaklığı [°C] normalize edilerek verilmiştir. k_1 'den k_6 'ya kadar olan katsayılar PV paneli cinsine özgü Avrupa Güneş Test Kurulumu (ESTI) tarafından ölçülen verilere bağlı değerlerdir. $P_{STC,m}$ Standart Test Koşullarındaki (STC) maksimum gücü [W] ifade etmektedir [15].

Ayrıca, Eşitlik (1-4)'de, T_{mod} panel sıcaklığı [°C], STC'de $G_{STC} = 1000$ [W/m²], $T_{STC} = 25$ [°C] ve η_{rel} ise verimliliği belirtmektedir.

Çalışma kapsamında PVGIS programda;

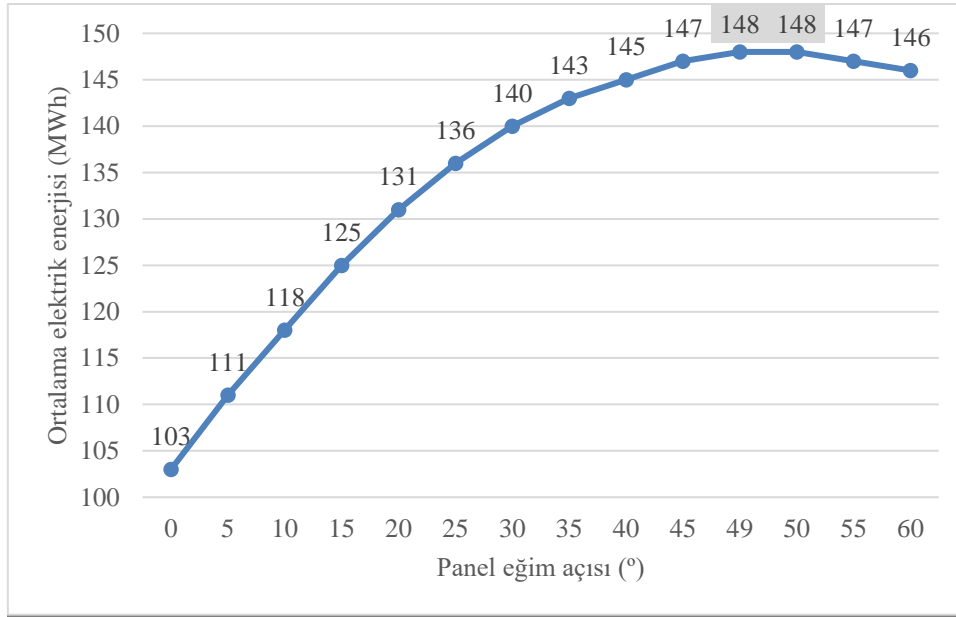
- GES'de kullanılan panel azimut açısı güney (0°)
- Panel malzemesi kristal silikon
- Sistem kaybı %14
- Sistem şebekeye (on grid) bağlı
- Güneş panellerinin kurulumunun yapılacağı alan işletmenin kendi tasarrufunda
- Tesiste trafo merkezinin işletmenin kendi tasarrufunda altında

olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca çalışmada, güneş ışınımı verileri yerine GES çıktısı olan elektrik enerjisi [MWh] verileri kullanılmıştır.

PVGIS programı yardımıyla önceki çalışmada [13] söz konusu yat limanında 1500 kW kurulu güce sahip olan GES'in güneş paneli optimum eğim açısı 31,7°'de yıllık 2.462 MWh elektrik üretimi ile maksimum verime ulaştığı görülmüş olup yat limanı ihtiyacını karşılayabileceği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada yat limanı elektrik ihtiyacını karşılayacak olan GES'de kullanılan 1500 kW kurulu güce sahip güneş panellerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan, sadece her ay/aylar güneş panel eğim açısının değiştirilmesinin GES verimine etkisi analiz edilmiştir. Bu işlem GES imalatı esnasında basit bir aparat yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir. PVGIS programında güneş paneli optimum eğim açısının aylık bazda 8°, 13°, 19°, 24°, 31,7°, 35°, 40°, 49°, 50°, 59° açılarda en yüksek elektrik üretimi değerleri ayrı ayrı bulunmuştur.

Örnek olarak Fethiye ilçesinde Şubat ayı için panel optimum eğim açısının tespiti için farklı eğim açılarında GES'den elde edilen elektrik üretim miktarı PVGIS programı ile hesaplanmış olup, Şekil 1'de verilmiştir. Hesaplamalar neticesinde çıkan verilerden 49° ve 50° eğim açısı için en yüksek GES elektrik üretim miktarı (148 MWh) elde edilmiştir. En yüksek elde edilen elektrik üretim miktarı 49° ve 50° olan bu eğim açıları, Şubat ayına ait optimum eğim açısı olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Şubat ayı için optimum eğim açısının belirlenmesi

Güneş panel eğim açısının yılda birden fazla kez farklı aylarda değişmesi durumu kombine edilerek gruplandırma yapılmıştır. Elektrik üretim değerleri farklı sayıda gruplandırma ile GES veriminin artırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik PVGIS hesaplama sonucunda aylık gruplandırma şekli Tablo 1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Her bir grubun karşısında yılda kaç kez ve hangi aylarda farklı değişim grubunda olması gerektiği belirtilmiştir. Akabinde panelin eğim açısının yılda 2, 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 defa değiştirilmesi durumunda elektrik üretimindeki artış miktarı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplamalar ile güneş panelinin maksimum elektrik üretimi için hangi gruplarda daha verimli olduğu karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. GES panelinde aylara göre gruplandırma

Gruplar	Yıldaki değişim miktarı	1. değişim grubu	2. değişim grubu	3. değişim grubu	4. değişim grubu	5. değişim grubu	6. değişim grubu	7. değişim grubu	8. değişim grubu
2’li gruplandırma	Yılda 2 defa değişim	Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık	Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül	-	-	-	-	-	-
3’lü gruplandırma	Yılda 3 defa değişim	Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık	Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos	Eylül	-	-	-	-	-
4’lü gruplandırma	Yılda 4 defa değişim	Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık	Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos	Eylül	Mart	-	-	-	-
5’li gruplandırma	Yılda 5 defa değişim	Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık	Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos	Eylül	Mart	Nisan	-	-	-

6'lı gruplandırma	Yılda 6 defa değişim	Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık	Mayıs, Haziran, Temmuz	Ağustos	Eylül	Mart	Nisan	-	-
7'li gruplandırma	Yılda 7 defa değişim	Ocak, Şubat, Kasım, Aralık	Mayıs, Haziran, Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Mart	Nisan	-
8'li gruplandırma	Yılda 8 defa değişim	Ocak, Kasım, Aralık	Mayıs, Haziran, Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Şubat	Mart	Nisan

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Güneş ışığı; güneş panellerinin üzerine dik açıyla düştüğü sürece elektrik üretimi artış göstermektedir. Güneşi takip ederek güneş ışınlarının sürekli olarak dik alınmasını sağlayan sistemler geliştirilmektedir [16]. Yat limanının elektrik ihtiyacının GES'den karşılanması için PVGIS simülasyon programı kullanılarak elde edilen elektrik enerjisi miktarı Tablo 2 görülmektedir. Tablo 2 incelendiğinde, yıllık optimum eğim açısı 31,7° ile GES elektrik üretiminin 2462 kWh ile maksimum değere ulaştığı görülmektedir [13].

Tablo 2. GES panel optimum eğim açıları ve aylık üretilen elektrik miktarları (MWh) [14]

Panel eğim açısı	8°	13°	19°	24°	31,7°	35°	40°	49°	50°	59°
Ocak	103	112	123	130	140	143	147	153	153	155
Şubat	115	122	130	135	141	143	145	148	148	146
Mart	182	189	196	200	204	205	206	204	203	197
Nisan	222	226	228	229	227	226	222	213	211	197
Mayıs	255	255	253	250	243	239	231	215	213	191
Haziran	273	271	266	261	250	244	234	213	210	183
Temmuz	283	282	278	273	263	257	248	227	224	197
Ağustos	263	266	267	266	263	259	253	239	237	217
Eylül	216	223	229	233	236	237	236	231	230	220
Ekim	164	173	183	190	198	200	203	205	205	203
Kasım	121	132	143	152	162	166	171	177	177	179
Aralık	96	106	117	124	135	139	144	150	151	154
Toplam elektrik üretimi	2293	2357	2413	2443	2462	2458	2440	2375	2362	2239
Eao / Eyo	0,93	0,96	0,98	0,99	1,00	1,00	0,99	0,96	0,96	0,91

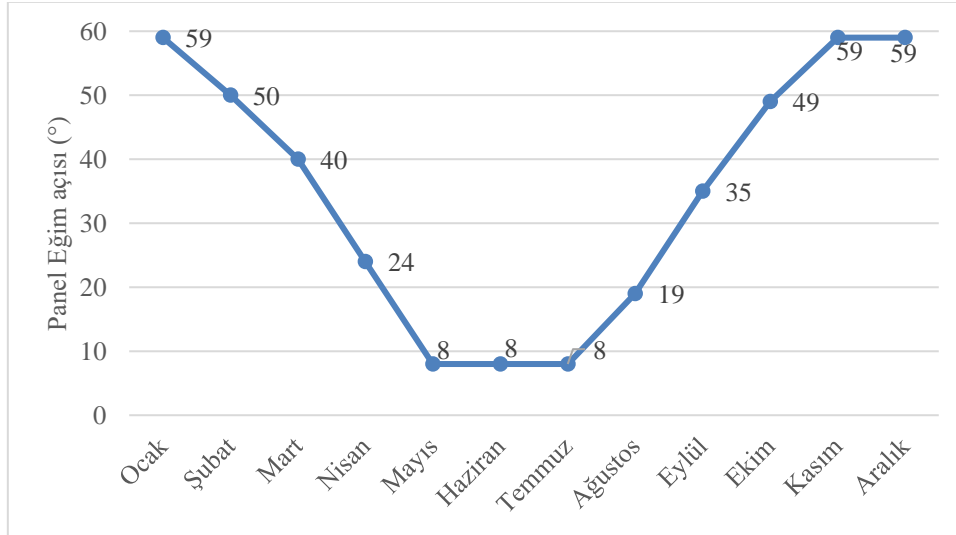
Tablo 2'de; gri renkli olan sütun daha önceki çalışmada [13] yıllık sabit bir eğim açısı ile elde edilen elektrik üretim miktarıdır. Ayrıca, her ay için optimum eğim açısındaki elde edilen maksimum elektrik üretimi sarı renkle belirtilmiştir. Sarı renklere, örneğin 31,7°de Ocak ayında 140 MWh üretim gerçekleşirken 59° eğimde 155 MWh'e ulaşmaktadır. Bu durum panel eğim açısının 59°'ye getirilmesi durumunda verimin artacağına ilişkin bir göstergedir. Ayrıca, panelin Ocak, Kasım ve Aralık aylarında 59°'ye getirilmesi ile üretilen elektriğin maksimum seviyede olması bir grup olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yatay yönde yakınsama durumu dikkate alınarak diğer aylarda aynı şekilde gruplandırmaya dahil edilmiştir. Tablo 2'deki Eyo=2462 MWh olup 31,7°deki yıllık optimum eğim açısındaki elektrik

üretimini, Eao [MWh] ise her bir açıdaki toplam elektrik üretimini, Eao / Eyo ise eğim açısına bağlı verim oranını belirtmektedir

Tablo 2 incelendiğinde bazı açı ve aylarda maksimum değer eşit çıkmıştır Çalışmada bu durum dikkate alınmıştır. Fethiye ilçesi için optimum eğim açısı 59° ile Ocak, Kasım ve Aralık ayında en yüksek, 8° ile Mayıs, Haziran ve Temmuz ayında en düşük değerde maksimum elektrik üretimi gerçekleşecektir.

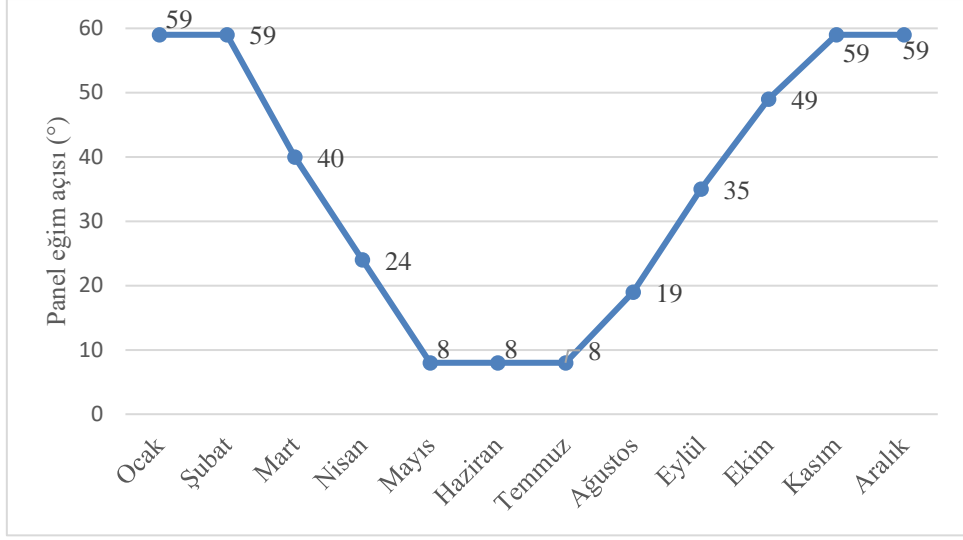
GES’de kullanılan güneş enerji panelleri eğim açıları yılda 2, 3, 4, 5, 6, 7, ve 8 defa değiştirilecek şekilde farklı aylarda kombinasyon oluşturularak gruplandırma yapılmıştır. Bu gruplandırma işleminde maksimum üretim değerleri elde edilecek şekilde sağdan ve soldan yakınsama olacak şekilde hesaplanma yapılmıştır. Aylara göre gruplandırma işleminde kullanılan açılar ve ait oldukları aylar ayrıntılı bir şekilde; Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir.

Şekil 2’de görüldüğü üzere açının yılda 8 defa (8’li grup); 8° (Mayıs, Haziran, Temmuz), 19° (Ağustos), 24° (Nisan), 35° (Eylül), 40° (Mart), 49° (Ekim), 50° (Şubat) ve 59° (Ocak, Kasım, Aralık) olmak üzere sekiz farklı kombineinden oluşmaktadır. GES’de bu durumda maksimum elektrik üretimi gerçekleşmektedir.



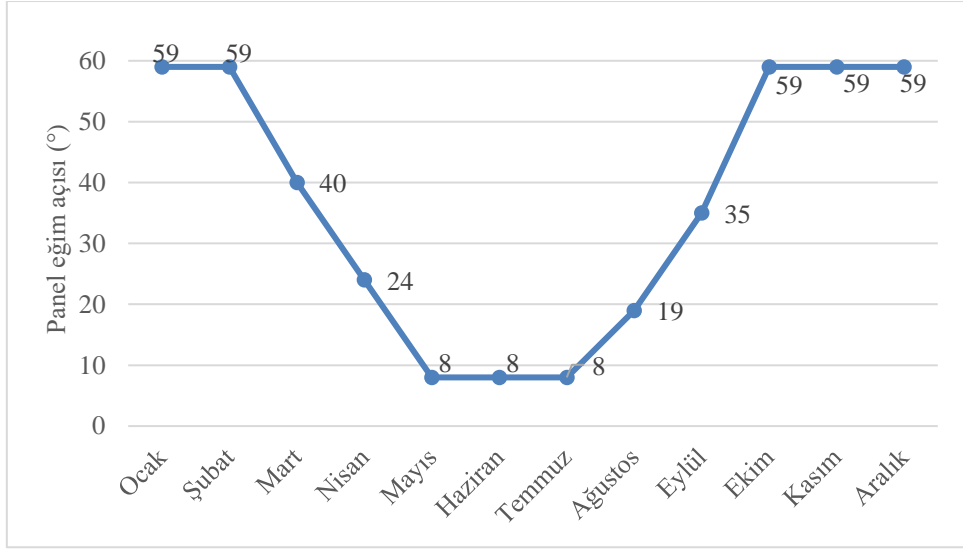
Şekil 2. Güneş paneli optimum eğim açılarının 8’li gruplandırma aylara göre dağılımı

Şekil 3’de; 8° (Mayıs, Haziran, Temmuz), 19° (Ağustos), 24° (Nisan), 35° (Eylül), 40° (Mart), 49° (Ekim) ve 59° (Ocak, Şubat, Kasım, Aralık) olmak üzere yedi farklı kombineinden oluştuğu durum verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3’de birlikte incelendiğinde 50°’lik açı en yakın 59°’lik açı ile yakınsadığında verimin maksimum olduğu görülmüştür.



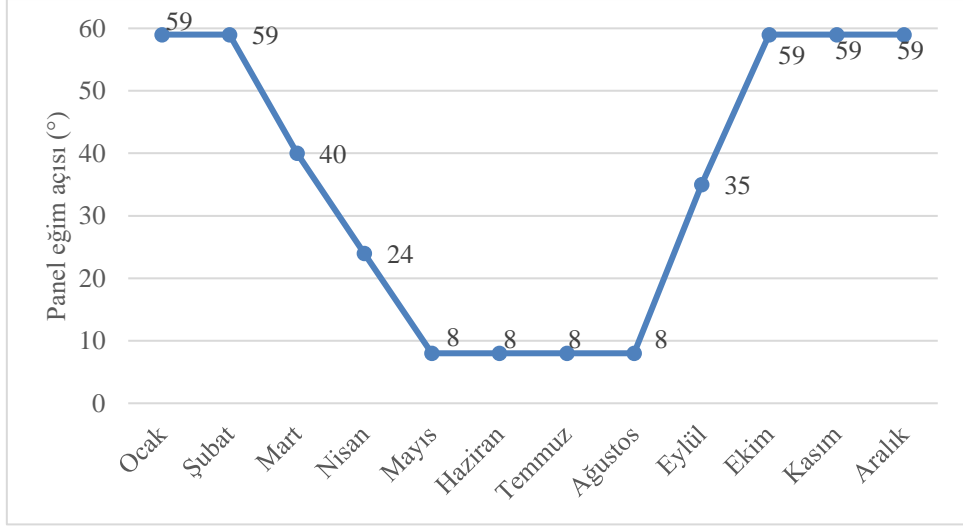
Şekil 3. Güneş paneli optimum eğim açılarının 7'li gruplandırılarda aylara göre dağılımı

Şekil 4'de açının yılda 6 defa değişim ile 8° (Mayıs, Haziran, Temmuz), 19° (Ağustos), 24° (Nisan), 35° (Eylül), 40° (Mart) ve 59° (Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere altı farklı kombinenden oluştuğu görülmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde 49°'lik açı en yakın 59°'lik açı ile yakınsadığında 6'lı gruplar içerisinde en yüksek elektrik üretimi gerçekleşmiştir.



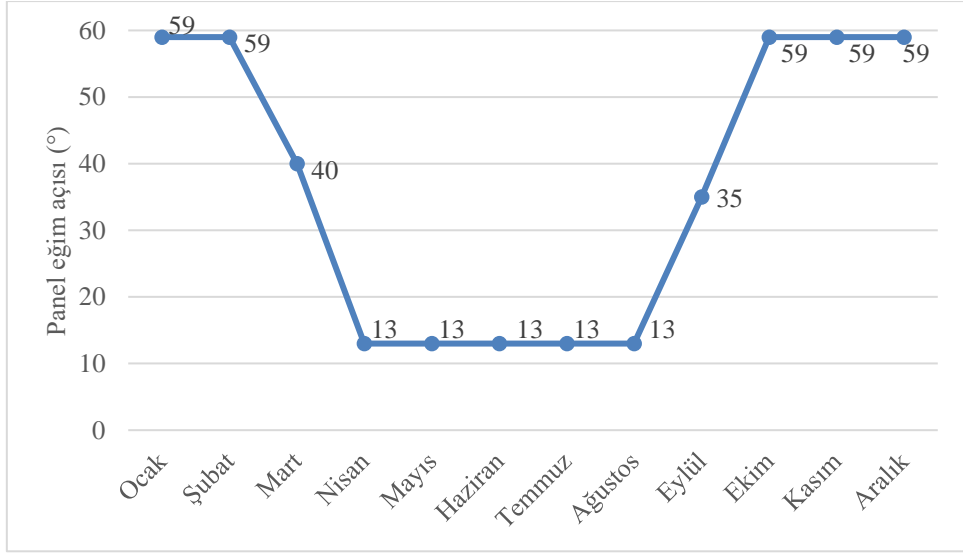
Şekil 4. Güneş paneli optimum eğim açılarının 6'lı gruplandırılarda aylara göre dağılımı

Şekil 5'de açının yılda 5 defa değişimi (5'li grup); 8° (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos), 24° (Nisan), 35° (Eylül), 40° (Mart) ve 59° (Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere beş farklı kombinenden oluşmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5'de görüldüğü üzere 19°'lik açı en yakın 8°'lik açı ile yakınsamakta olup 5'li gruplar içerisinde en yüksek verim elde edilmiştir.



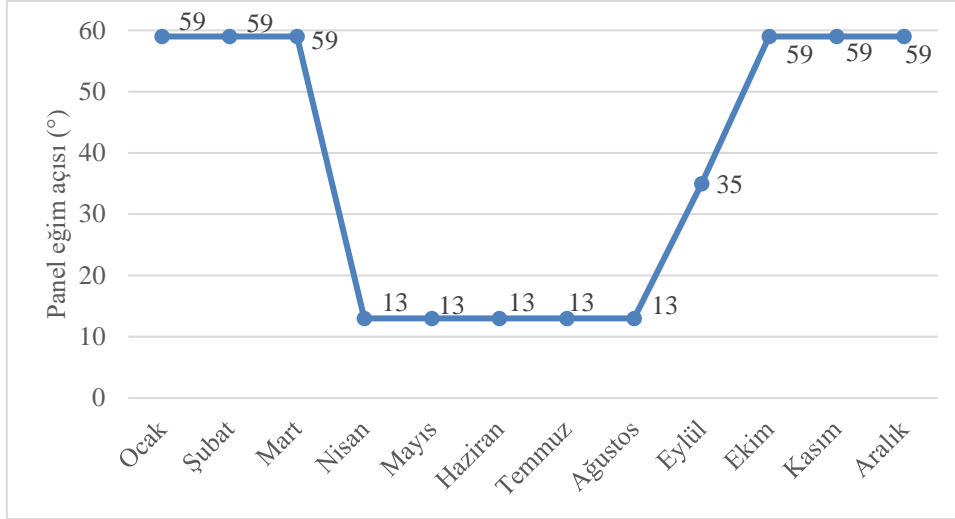
Şekil 5. Güneş paneli optimum eğim açılarının 5'li gruplandırılarda aylara göre dağılımı

Şekil 6'da görüldüğü üzere; 13° (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos), 35° (Eylül), 40° (Mart) ve 59° (Ocak, Şubat, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere dört farklı kombineleden oluşmaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6'de birlikte incelendiğinde; 4'lü gruplandırmada 24° ve 8°'lik açılarının en yakın 13°'lik açı ile değişmesi durumunda verim maksimum değere ulaşmıştır.



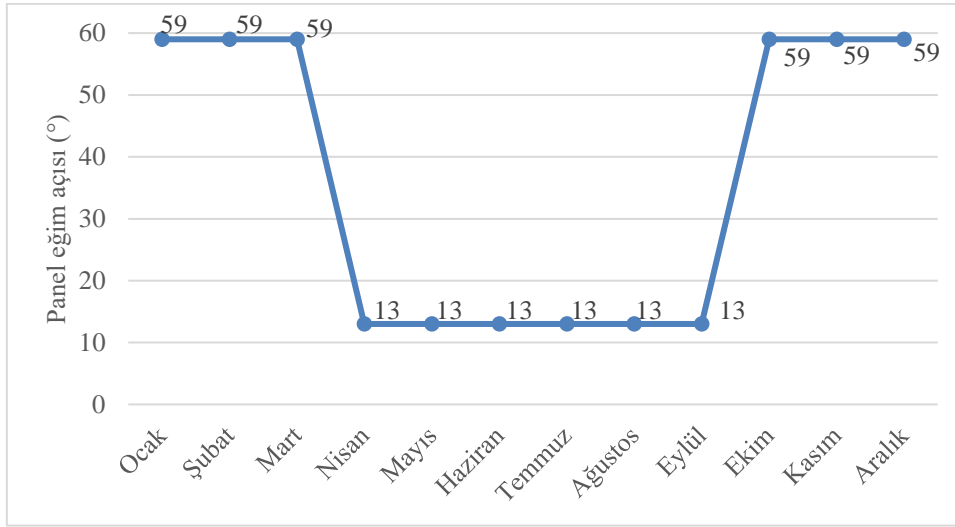
Şekil 6. Güneş paneli optimum eğim açılarının 4'lü gruplandırmada aylara göre dağılımı

Şekil 7'de; 13° (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos), 35° (Eylül) ve 59° (Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere üç farklı kombineleden oluştuğu görülmektedir. Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü üzere Yılda 3 defa açı değişimi durumunda 40°'lik açının en yakın 13°'lik açı ile yakınsadığı ve verimin maksimum değere ulaştığı görülmüştür



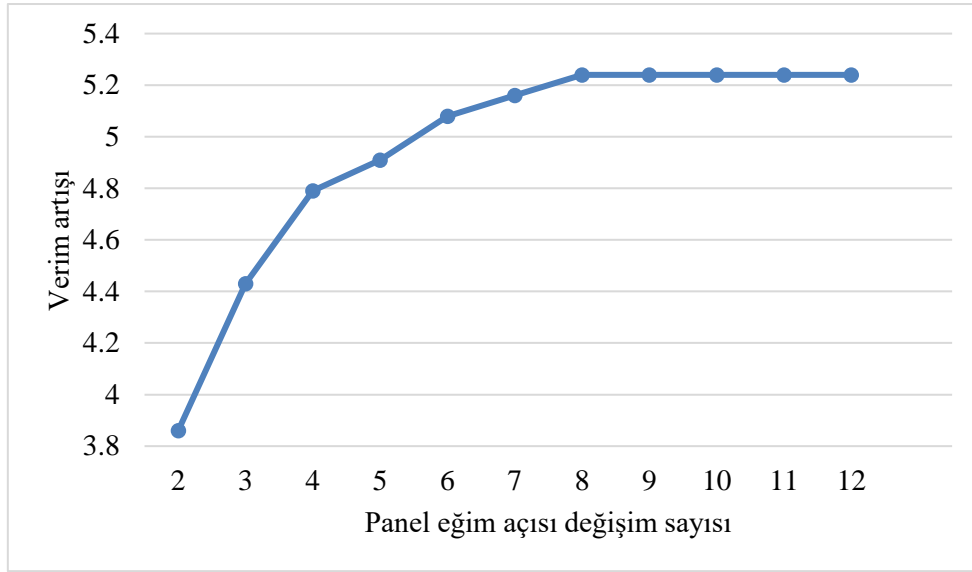
Şekil 7. Güneş paneli optimum eğim açılarının 3'lü gruplandırılmada aylara göre dağılımı

Şekil 8'de açının yılda 2 defa değişimi; 13° (Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül) ve 59° (Ocak, Şubat, Mart, Ekim, Kasım, Aralık) olmak üzere iki farklı kombinenden oluşmaktadır. Şekil 7 ve Şekil 8 beraber incelendiğinde 35°'lik açının en yakın 13°'lik açı ile yakınsamıştır. 2'li gruplandırmalar arasında verim en yüksek değere ulaşmıştır.



Şekil 8. Güneş paneli optimum eğim açılarının 2'li gruplandırılmada aylara göre dağılımı

Bahse konu şekillerde; Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında üretimin eşit olması nedeniyle aylık güneş paneli optimum eğim açısının değiştirilmeyeceği, Kasım, Aralık ve Ocak aylarında da aynı durumun söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Bu durum gruplandırma sayısının azalmasına neden olmuştur. Şekil 9'da, güneş panel eğim açısı değişim grup sayısı ile verim arasındaki ilişki görülmektedir. Güneş panel eğim açısındaki gruplandırmada 9, 10, 11 ve 12'li gruplandırmada verimde bir artışın olmadığı görülmektedir. Aynı şekilde hesaplamalarda bahse konu dört değişim sonucunda GES'den elde edilecek olan elektrik üretiminde herhangi bir artışın olmayacağı tespit edilmiştir. Dolayısıyla, 9, 10, 11 ve 12'li gruplandırmalar değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 9. Gruplandırma sayısı ile verim arasındaki ilişki

Aylık optimum güneş panel eğim açısındaki değişimi ile yapılan gruplandırmada üretilen elektrik miktarı Tablo 3’de görülmektedir. Ayrıca Tablo 3’de güneş panelinin yatay (0°) ve yıllık optimum eğim açısı ($31,7^\circ$) konumunda üretilen elektrik miktarları ile verim sonuçları verilmiştir. Tablo 3’de görüldüğü üzere, güneş panel eğim açısı değişim sayısı arttıkça GES’den elde edilen elektrik üretiminde de bir artış olduğu görülmüştür. Bu artış miktarı yılda; 2’li gruplandırmada en düşük seviyede, 8’li gruplandırmada ise en yüksek seviyede gerçekleşmiştir.

Tablo 3. GES panel eğim açısı grupları değişimindeki verim artışı (MWh) [12]

Aylar/ Gruplar	2’li grup	3’li grup	4’li grup	5’li grup	6’li grup	7’li grup	8’li grup	31,7° yıllık optimum	0° yıllık optimum
Ocak	155	155	155	155	155	155	155	140	86
Şubat	146	146	146	146	146	146	148	141	103
Mart	197	197	206	206	206	206	206	204	169
Nisan	226	226	226	229	229	229	229	227	214
Mayıs	255	255	255	255	255	255	255	243	252
Haziran	271	271	271	273	273	273	273	250	273
Temmuz	282	282	282	283	283	283	283	263	282
Ağustos	266	266	266	263	267	267	267	263	256
Eylül	223	237	237	237	237	237	237	236	202
Ekim	203	203	203	203	203	205	205	198	146
Kasım	179	179	179	179	179	179	179	162	102
Aralık	154	154	154	154	154	154	154	135	78
Toplam	2557	2571	2580	2583	2587	2589	2591	2462	2163
Üretimdeki artış	95	109	118	121	125	127	129	0	-299
Verim (%)	3,86	4,43	4,79	4,91	5,08	5,16	5,24	0	-12,14

31,7° yıllık optimum eğim açısı olup GES elektrik üretiminin 2462 kWh ile maksimum değere ulaştığı durum ile karşılaştırılma yapılmıştır. Karşılaştırmada güneş paneli eğim açısının yılda farklı aylarda 8’li gruplandırmada üretim artışının 129 MWh ve verimin %5,24 oran ile en yüksek, 2’li gruplandırmada ise üretim artışının 95 MWh ve %3,86 oran ile en düşük artışın olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür [8,9,10].

Panelin 31,7°’lik eğim açısının yatay (0°) konuma göre karşılaştırılmasında yatay konumdan 299 MWh daha fazla elektrik üretimi gerçekleştirilerek verimin %12,14 orana yükseldiği görülmüştür. Diğer taraftan, 31,7°’lik eğim açısının yılda 8’li gruplandırma ile karşılaştırıldığında ise 8’li gruplandırmanın 129 MWh daha fazla elektrik üretimi ile verimin %5,24 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Ayrıca Tablo 3’de görüldüğü üzere, 2’li gruplandırma ile 3’lü gruplandırma arasındaki üretim artış farkı 14 MWh ve %0,57 oranı iken, 7’li gruplandırma ile 8’li gruplandırma arasındaki üretim artış farkı 2 MWh ve %0,08 oranı ile gerçekleşmiştir. Bu fark gruplandırma sayısı arttıkça üretim miktarı artışının azaldığını göstermektedir.

Güneş paneli eğim açısının yılda farklı aylarda 8 defa değiştirilen gruptaki üretim artışının 2591 MWh ve verimin %5,24 olduğu durum dikkate alındığında; 1500 kW kurulu güce sahip GES kurulması yerine %5,24 oranında, yaklaşık 1425 kW’lik kurulu güce sahip bir GES yeterli olacaktır.

Bu kapsamda, GES’in ilk yatırım maliyeti ve geri ödeme süresi yeniden incelenmiştir. Kurulması öngörülen GES’de ilk yatırım maliyetinin belirlenmesi için piyasa araştırması yapılmıştır. 1425 kW kurulu güce sahip GES’in kurulması için gerekli olan panel, inventer, ekipmanlar ve alınacak müşavirlik hizmeti için toplam 6.379.287 TL olarak hesaplanmış olup Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. GES’de panel ve ekipman listesi ve fiyatı

Malzeme adı	Adet	Birim fiyat (TL)	Toplam fiyat (TL)	Maliyetteki payı (%)
GES paneli (Mono 380 W)	3750	782	2.932.500	54,2
İnverter (100 KW)	13	68.600	891.800	16,5
Taşıyıcı sistem (Aliminyum)	3750	95	356.250	6,6
Eğim açısı değişimi için basit düzenek	3750	9,5	35.250	0,7
Kablo, pano vb. malzeme ve kurulum	1	1.140.000	1.140.000	21,1
Müşavirlik hizmetleri	1	50.000	50.000	0,9
Toplam (KDV hariç)			5.406.175	
Toplam gider (%18 KDV dahil)			6.379.287	

Tablo 4’de toplam maliyet içerisinde en büyük paylar %54,2 GES panellerine, %21,1 ile kablo, pano vb. kurulumu ve %16,6 ile inventere aittir. Taşıyıcı ve ilave basit düzeneğin GES içerisindeki payı %7,3 olup toplam maliyet içindeki oldukça düşük kalmaktadır.

GES tarafından yat limanı ihtiyacı olan enerjinin karşılanması durumunda Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’nun (EPDK) belirlemiş olduğu fiyat tarifesi [17] esas alınarak yapılan hesaplamada; üretilen elektrikten yılda 2.045.432 TL tasarruf yapılabileceği hesaplanmıştır.

Yatırım projelerinde işletmeler yapacakları yatırım kararını, ilk yatırımın maliyetinin geri ödeme süresi belirlemektedir. Literatürde GES’lerin geri ödeme süreleri 4 yıla kadar düştüğü görülmektedir [18].

Yat limanına yapılacak GES yatırımının geri ödeme süresini belirlemede İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi Yöntemi kullanılmış olup, Eşitlik (5)'e göre hesaplanmıştır [19].

$$\sum_{t=0}^{m-1} \frac{I_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=m}^n \frac{A_t}{(1+i)^t} \quad (5)$$

Burada;

m ; yatırımın kuruluş dönemi uzunluğunu

I_t ; t yılda katlanılan yatırım maliyetini

n ; yatırımın kuruluş dönemi ile ekonomik ömür süresi

A_t ; t yılda ortaya çıkan net nakit akışını

i ; iskonto oranını

ifade etmektedir.

Çalışmada yatırımın bir yıl gibi kısa bir sürede tamamlandığı, bugünkü değeri ile yılda 2.045.432 TL net getiri sağladığı ve %12 iskonto oranı kabul edilmiştir. Bu kabuller çerçevesinde Tablo 5'te, İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi Yöntemine göre GES ilk yatırım maliyet ve geri ödeme süresi verilmiştir.

Tablo 5. İndirgenmiş geri ödeme süresine göre GES yatırımı geri ödeme süresi

	Net akış (TL)	İndirgenmiş net nakit akışları (TL)	Birikimli indirgenmiş net nakit akışı (TL)	Kalan ödeme (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)
Temel yıl (0)	-6.379.287	-6.379.287			
1. yıl	2.045.432	1.826.279	1.829.053	4.553.008	
2. yıl	2.045.432	1.630.606	3.456.884	2.922.403	
3. yıl	2.045.432	1.455.898	4.912.783	1.466.504	
4. yıl	2.045.432	1.299.909	6.212.692	166.595	
5. yıl	2.045.432	1.160.633	7.373.325	-994.038	4,14

Yapılan hesaplama sonucunda GES'in ilk yatırım maliyeti olan 6.379.287 TL'nin geri ödeme süresinin 4,14 yıl olduğu hesaplanmıştır. Çalışmada $n = 5$ yılın sonrasında hesaplama yapılmamıştır.

Yıllık 31,7° optimum eğim açısı ile 1500 kW kurulu güce sahip olan GES'in kurulması için ilk yatırım maliyetinin 6.612.951 TL ve bu maliyetin geri ödeme süresinin ise 4,34 yıl olduğu daha önceki çalışmada bulunmuştur [20].

Bu kapsamda, 8'li gruplandırma yat limanı için kurulu gücün 1500 kW'den 1425 kW'a düşmesinde durumunda GES'in ilk yatırım maliyeti 233.664 TL daha az olacaktır. İlk yatırım maliyetinin geri ödeme süresi ise 4,34 yıldan 4,14 yıla düşecektir.

Çalışmanın daha önce yapılan çalışmalarla uyumlu olduğu görülmüştür [18, 20].

IV. SONUC

Yapılan hesaplamalar sonucunda; Fethiye İlçesindeki bir yat limanının elektrik ihtiyacının GES ile karşılanması durumunda güneş paneli eğim açısının basit aparatlarla yılda birkaç defa değiştirilmesi durumunda güneş ışınımından daha fazla faydalanılacaktır. Bu fayda GES'den elde edilecek olan elektrik enerjisi verimini artıracak anlamı taşımaktadır.

Güneş panelinin hem 8° ve hem de 59° eğim açılarında ardışık üç ay maksimum enerji elde edilmesi panel açısı değişim sayısını azaltmıştır.

8’li gruplandırmanın üzerinde gruplandırma oluşturulmasının GES verimine katkısı olmadığı anlaşılmıştır.

Aylardaki gruplandırma sayısı arttıkça veriminde arttığı, ancak gruplar arası artış oranında bir azalma olduğu görülmüştür.

Yat limanına kurulacak 1500 kW kurulu güce sahip GES’de sadece eğim açısının yılda farklı aylarda 8 defa değiştirilen gruptaki üretimin 129 MWh en yüksek, yılda 2 defa değişim olan gruptaki üretimin 95 MWh ile en düşük artışın olduğu tespit edilmiştir.

Panelin yılda 2 defa ile 8 defa değişimi arasında %1,38 gibi önemli bir verim artışı olduğu saptanmıştır.

Yılda 8 defa değiştirilen grup dikkate alındığında; yat limanına kurulacak GES için 1500 kW yerine 1425 kW’lik bir güç yeterli olacaktır.

Yat limanlarına yapılacak olan GES yatırımlarında panel açısının yılda 8 defa değiştirilmesi ile aynı enerji elde edilmekle birlikte ilk yatırım maliyetinde 233.664 TL azalma oluşmuştur.

Yılda 8 defa değiştirilen gruptaki üretim artışının, 1500 kW güce göre GES ilk yatırım maliyetinin geri ödeme süresinde 0,2 yıl gibi bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Yat limanlarına GES’lerin kurulması ile enerji tasarrufu politikaları ile uyumlu, ülkemiz ekonomisine ve çevreyi korumaya olumlu katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın literatürle uyumlu olduğu görülmüş olup, ülkemizdeki yat limanlarında GES kurulmasına yönelik çalışmalara katkı sunacaktır.

V. KAYNAKLAR

[1] S. Roberts, and N. Guariento, *Building Integrated Photovoltaics A Handbook*, Berlin, Germany: Birkhauser Press, 2009.

[2] K. Ülgen, “Optimum Tilt Angle for Solar Collectors. Energy Sources, Part A: Recovery,” *Utilization, and Environmental Effects*, c. 28 s. 13, ss. 1171-1180, 2006, doi:10.1080/00908310600584524

[3] A. Çağlar, “Farklı derece-gün bölgelerindeki şehirler için optimum eğim açısının belirlenmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 22, s. 2, ss. 849-854, 2018, doi:10.19113/sdufbed.94899

[4] R. Tallab and A. Malek, “Predict system efficiency of 1 MWc photovoltaic power plant interconnected to the distribution network using PVsyst software,” presented at 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Marrakech, Morocco, 2015.

[5] W. G. Le Roux, “Optimum tilt and azimuth angles for fixed solar collectors in South Africa using measured data,” *Renewable Energy*, vol. 96, pp. 603-612, 2016.

[6] E. Yıldırım and M.A. Aktacir, “Investigation of azimuth and tilt angle effects on building integrated photovoltaic systems,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 34 no. 2, pp. 609-619, 2019.

[7] M. Aydın ve B. Yeşilata, “Fotovoltaik panellerde eğim açısı etkisinin deneysel olarak saptanması,” *Termodinamik Dergisi*, c. 148, ss. 88-98, 2004.


- [8] T. Khatib, A. Mohamed, M. Mahmoud and K. Sopian, "Optimization of the Tilt Angle of Solar Panels for Malaysia," *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 37, no. 6, pp. 606-613, 2015.
- [9] M. Bilgili ve M. Dağtekin, "Fotovoltaik piller ile elektrik üretiminde uygun eğim açısının ve yıllık oluşan enerji farkının belirlenmesi," *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, c. 6, ss. 156-167, 2017.
- [10] W.D. Lubitz, "Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels," *Applied Energy*, v. 88, no. 5, pp. 1710-1719, 2011, doi:10.1016/j.apenergy.2010.11.008
- [11] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020, 15 Aralık). *Güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA)* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>.
- [12] Tersaneler ve Kıyı Yapıları Genel Müdürlüğü, (2021, 10 Ocak). *Yat limanı bilgileri* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tkygm.uab.gov.tr/uploads/pages/limanlar-ve-kiyi-yapilari/3-yat-limanlari-bilgileri.pdf>.
- [13] A.R. Dal ve F. Yılmaz, "Ticari bir yat limanının elektrik ihtiyacının fotovoltaik (PV) teknoloji ile karşılanmasına yönelik bir inceleme," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 25 s. 3, ss. 1189-1204, 2020.
- [14] European Commission. (2020, December 15). *Photovoltaic geographical information system (PVGIS)* [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>.
- [15] T. Huld, G. Friesen, A. Skoczek, R.P. Kenny, T. Sample, M. Field and E.D. Dunlop, "A power-rating model for crystalline silicon PV modules," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, v. 95, pp. 3359-3369, 2011.
- [16] D. Vasarevicius and R. Martavicius, "Solar irradiance model for solar electric panels and solar thermal collectors in Lithuania," *Electronics and Electrical Engineering*, vol. 108, no. 2, pp. 3-6, 2011.
- [17] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, (2020, 15 Aralık). Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>.
- [18] E. Sulukan, "İstanbul'da bir fotovoltaik sistemin tekno-ekonomik ve çevresel analizi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 26, s. 1, ss. 127-132, 2020.
- [19] H. Eski ve Ö. Armaneri, *Mühendislik Ekonomisi*, Ankara: Gazi Kitabevi, 2006.
- [20] A.R. Dal ve F. Yılmaz, "Yat limanı için güneş enerjisi sistemi yatırımının maliyet ve çevresel analizi," *4. Uluslararası Ekonomi, Finans ve Enerji Kongresi*, Niğde- Türkiye, 2020, ss. 645-655.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yüksek Teknoloji İhracatında Türkiye'nin Yeri ve Belirleyicileri

 Özlem AKAY^{a,*}

^a İstatistik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: oakay@cu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.861464

ÖZ

Yüksek teknoloji ihracatı, ülkelerin ekonomik olarak kalkınması ve uluslararası rekabet üstünlüğü sağlayabilmeleri açısından oldukça önemlidir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümelerini artırmak için yüksek teknoloji ihracatı üzerinde durulması gereken bir konudur. Dolayısıyla yüksek teknoloji ihracatı ve yüksek teknoloji ihracatını etkileyen faktörlerin ortaya konulması gerekmektedir. Bu nedenle çalışmada, yüksek teknoloji ihracatı açısından Türkiye'nin Avrupa Birliği üyesi ülkeler arasında bulunduğu yerin ve Türkiye'de yüksek teknoloji ihracatını etkileyen faktörlerin önem düzeyinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak, 2007-2018 yılları arası Avrupa Birliği üyesi ülkelerin ve Türkiye'nin yüksek teknoloji ihracat verileri alınarak zaman serisi kümeleme analizi ile Türkiye'nin Avrupa Birliği ülkeleri arasındaki yeri belirlenmiştir. Daha sonra, yapay sinir ağları kullanılarak Türkiye için yüksek teknoloji ihracatı belirleyicilerinin önem düzeyleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek teknoloji ihracatı, Kümeleme analizi, Yapay sinir ağları.

Determinants of High Technology Exports and Turkey's state

ABSTRACT

High technology exports are very important for countries to develop economically and to gain an international competitive advantage. In order to increase the economic growth of developing countries, it is an issue that needs to be focused on high technology exports. Therefore, it is necessary to reveal the factors affecting high technology exports and high technology exports. Therefore, the study aims to determine the location of Turkey among European Union member countries in terms of the high-tech exports and the importance of the factors affecting the level of high-tech exports in Turkey. First, between the years 2007-2018 the European Union countries and Turkey's high-tech export data were obtained. Turkey's location has been determined among European union countries by performing time series clustering analysis to these data. Then, for Turkey significance level of factors affecting high-tech exports was determined using artificial neural networks.

Keywords: High technology export, Cluster analysis, Artificial neural networks.

I. GİRİŞ

Küreselleşme ile birlikte, uluslararası pazarlarda ülkeler arası rekabet seviyesi de artmaktadır [1]. Ülkelerin teknolojik gelişme seviyeleri rekabet düzeyini etkileyen en önemli faktördür [2]. Ülkeler ihracat piyasasındaki paylarını, yeni-yüksek verimli endüstrilerde rekabet yeteneğini başarılı bir şekilde arttırarak korumaktadırlar [3]. Bunula birlikte yüksek teknoloji ürün üretimi ve teknolojik gelişme ülkelerin ekonomik büyümelerinde ve uluslararası ticaretlerinde oldukça önemli bir yer tutmaktadır [4]. Esasen yüksek büyüme potansiyeli bulunan ekonomilerde, rekabet avantajının devamlılığı için ileri teknoloji ürünlerin toplam ihracat içerisinde payları arttırılmalıdır [5].

Teknolojide meydana gelen gelişmeler ve iyileşmeler ile birlikte ekonomide değişimler ve dönüşümler gerçekleşmektedir [6]. Ekonomileri hızlı bir şekilde büyüyen ülkelerin, yüksek teknoloji endüstrilerinde ve teknolojiye dayalı sektörlerde inovasyona yönelme ve tüm ürünlerdeki yüksek teknoloji ürünlerinin payını arttırma gibi hedefleri bulunmaktadır [7]. Gelişmiş ülkelerde uzun dönemde ekonomik büyümenin en önemli faktörlerinden birisi teknolojik gelişmelerdir. Aynı zamanda gelişmekte olan ülkelerin ekonomik büyümesi için yüksek teknoloji ihracatı gereklidir [8].

Yüksek teknoloji üretimi, “yüksek getiri sağlayan ve yüksek katma değerli ürün üretimi” olarak tanımlanmaktadır [6]. Yüksek teknoloji üretimi, üretim sürecindeki teknolojinin yoğunluğuna bağlı olarak üretim faktörlerinin daha etkin kullanılması ile üretimde verimliliği ve kalite artışını sağlamaktadır [9]. Ayrıca, gelir esnekliğinin yüksek olması yüksek teknolojiye sahip malların en önemli özelliğidir [10]. Uluslararası ticaretin en hızlı büyüyen sektörünü yüksek teknoloji yoğun ürün ihracatı oluşturmaktadır. Çoğunlukla gelişmiş ve inovasyon teknolojileri bulunan endüstrilere ve firmalara atfedilmek amacıyla yüksek teknoloji ürünleri veya hizmetleri kullanılmaktadır [11]. Bu bakımdan yüksek teknolojiye sahip ürünler, gelişmekte olan ülkeler tarafından ihraç edilen ürünlerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır [12].

Yüksek teknoloji ürün ihracatı üzerine literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Ele alınan çalışmaların bir bölümü, inovasyonun uluslararası ticaret ve ihracat üzerindeki etkisini, diğer bölümü yüksek teknoloji ürün ihracatını etkileyen faktörleri incelemiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Hollenstein (2003) [13] çalışmasında, servislerdeki inovasyon modellerinin anlaşılmasına katkıda bulunmak için inovasyon göstergelerine göre benzer olan firmaları kümeler halinde gruplandırmıştır. İsviçre örneğinde, inovasyonla ilgili çok sayıda faktörü ve çeşitli yapısal özelliği bulunan firmaları beş kümede tanımlamıştır. Kümeler belirli "yenilik modları" olarak yorumlanmış ve bu modların “ekonomik olarak eşdeğer” olup olmadığı araştırılmıştır. Bu durumda benzer firmaların sırasız sınıflandırılması, sektörlerin yenilikçiliklerine göre sıralanmasından daha uygun olmuştur. Lee ve Song (2007) [14] çalışmalarında, stratejik araştırma alanlarını seçmek için “Teknoloji Kümesi Analizi” yöntemi önermişlerdir. Teknoloji kümeleme analizi, temel göstergelere dayalı olarak teknolojileri bir araya getirmektedir. Yöntem, nano teknoloji alanındaki ulusal Ar-Ge programlarına uygulanmıştır. Elli altı nano teknoloji analiz edilmiş ve 180 uzmanın anket verilerine göre üç ana kümeye ayrılmıştır. Bireysel teknolojiler arasındaki teknolojik uzaklıklar ve korelasyonlar hiyerarşik dendrogram ile gösterilmiştir. Nano teknoloji alanında üç ana küme bulunmuş ve nano malzemeler, nano cihazlar ve nano-biyo olarak adlandırılmıştır. Elde edilen üç kümenin, Güney Kore'deki nano teknoloji alanındaki çekirdek teknoloji kümeleri olması beklenmektedir. Chyi ve ark. (2012) [15] çalışmalarında, Hsinchu yüksek teknoloji kümelerinde büyümenin altında yatan mekanizmaları ampirik olarak araştırmışlardır. Bilgi yayılımlarını, yığına fayda sağlayan potansiyel faktörlerden biri olarak vurgulamışlardır. İç ve dış yayılımların Hsinchu yüksek teknoloji kümelerindeki firma performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ampirik sonuçlar, dış Ar-Ge yayılımının Hsinchu yüksek teknoloji kümelerindeki firmaların net satışlarını açıklamada istatistiksel olarak önemli olduğuna dair destekleyici kanıtlar sağlamıştır. Göçer (2013) [16] çalışmasında, 1996-2012 yılları arası verileri

kullanarak gelişmekte olan 11 Asya ülkesi için Ar-Ge harcamalarının bilgi-iletişim teknolojileri ihracatı, toplam ihracat, yüksek teknoloji ürün ihracatı ve ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini ve yüksek teknoloji ürün ihracatının dış ticaret dengesi üzerindeki etkilerini panel veri analizi ile belirlemiştir. Hadri-Kuruzomi (2012) [17] panel birim kök testi ile serilerin durağanlığı, Dumitrescu-Hurlin (2012) [18] testi ile nedensellik ilişkisi, Westerlung-Edgerton (2007) [19] LM bootstrap testi ile eşbütünleşme ilişkisi incelenmiştir. Eberhardt-Bond (2009) [20] Panel AMG yöntemi ile katsayılar tahmin edilmiştir. Elde edilen bulgular, Ar-Ge harcamalarındaki %1'lik artışın yüksek bilgi-iletişim teknolojileri ihracatını %0.6, teknoloji ürün ihracatını %6.5 ve ekonomik büyümeyi %0.43 oranında arttırdığını göstermiştir. Şahbaz ve ark. (2014) [5] çalışmalarında, Türkiye ve 17 AB ülkesi için 1996-2011 yıllarına ait verileri kullanarak Ar-Ge harcamaları ile ileri teknoloji mal ihracatı arasındaki ilişkiyi panel nedensellik ve panel eşbütünleşme analizleri ile belirlemiştir. Analiz sonuçları, Ar-Ge harcamaları ve ileri teknoloji mal ihracatı arasında çift yönlü Granger nedenselliğinin olduğunu göstermiştir. Telatar ve ark. (2016) [21] çalışmalarında, Türkiye'de teknoloji yoğunluklu ürün ihracatının ekonomik büyüme üzerindeki etkisini zaman serisi analizleri ile ortaya koymuşlardır. 1996:01-2015:03 dönemi üçer aylık veriler ele alınmış ve Avrupa Birliği Ekonomik Aktivitelerin İstatistiki Sınıflaması Revizyon 2'ye göre imalat sanayinin teknoloji yoğunlukları üç alt gruba ayrılmıştır. Granger nedensellik ve Engle-Granger (1987) [22] eşbütünleşme testleri ile değişkenler arası ilişkiler incelenmiştir. Analiz sonuçları, düşük ve orta teknoloji ürün ihracatının Türkiye'nin ekonomik büyümesini pozitif etkilediğini göstermiştir. Bunun yanı sıra orta ve ileri teknoloji yoğunluklu ürün ihracatından ekonomik büyümeye doğru tek yönlü nedensellik söz konusudur. Kızılkaya ve ark. (2017) [23] çalışmalarında, gelişmekte olan 12 ülke için 2000-2012 yıllarında doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının ve dışa açıklığın yüksek teknoloji ürün ihracatı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Elde edilen bulgular, dışa açıklığın ve doğrudan yabancı sermaye yatırımlarının yüksek teknoloji ürün ihracatını pozitif etkilediğini göstermiştir. Konak (2018) [6] yüksek teknoloji içeren ürün ihracatının büyüklüğünü, gelişimini ve ekonomik büyüme üzerindeki etkilerini seçilmiş OECD üyesi ülkeler ve Türkiye için incelemiştir. 1992-2016 yıllarına ait Dünya Bankası verilerinden yararlanmıştır. Elde edilen bulgular, Türkiye'nin toplam ihracatı içerisindeki yüksek teknoloji içeren ürün ihracatı payının, 1999-2001 yılları hariç olmak üzere incelenen dönem itibarıyla %2 seviyesinden daha aşağı seviyelerde gerçekleştiğini, 1999-2001 alt döneminde bu oran ancak %4 seviyesine kadar yükseldiğini göstermiştir. Türkiye'nin ihracatının ağırlıklı olarak "düşük", "düşük-orta" ve "orta-ileri" teknolojilere dayalı olduğu tespit edilmiş ve Türkiye'nin diğer OECD üyesi ülkelerin oldukça gerisinde bulunduğu belirlenmiştir. Güneş ve Akın (2019) [24] çalışmalarında, Türkiye için 1989-2016 yıllarında yüksek teknoloji ürün ihracatını etkileyen faktörleri VAR modeli kullanarak belirlemiştir. Elde edilen bulgulara göre, sanayi sektöründeki katma değer değişkeni istatistiksel olarak anlamlıdır. Yüksek teknoloji ürün ihracatı ikinci dönemde azalarak sanayi sektöründeki katma değer düşüşüne tepki vermiştir. Varyans ayrıştırma analizi sonuçlarına göre, ikinci dönem itibarıyla yüksek teknoloji ürün ihracatı gecikmelerinin etkisi azalmaktadır ve diğer değişkenlerin katkısı ortaya çıkmaktadır. Akyol ve Demez (2020) [25] çalışmalarında, yeni endüstrileşen ülkeler grubunu dikkate alarak inovasyonun yüksek teknoloji ürün ihracatı üzerindeki etkisini incelemiştir. 1996-2015 dönemini kapsayan yeni endüstrileşen 8 ülke için inovasyon faaliyetlerinin yüksek teknoloji ürün ihracatını pozitif etkilediğini belirlemiştir. Erdinç ve Aydınbaş (2020) [7] çalışmalarında, 2007-2018 yıllarına ait verileri kullanarak seçilmiş 16 ülke için yüksek teknoloji ürünlerin ihracatını etkileyen faktörleri panel veri analizi ile incelemiştir. Yüksek teknoloji ürünleri ihracatı bağımlı; patent başvuru sayısı, bilim-teknik dergi makale sayısı ve GSYH faktörleri bağımsız değişken olarak ele alınmış ve bu değişkenlerin yüksek teknoloji ürünleri ihracatına etkileri belirlenmiştir.

Bu çalışmada Avrupa Birliği üyesi ülkeler ve Türkiye için yüksek teknoloji ihracatı verileri kullanılarak zaman serileri kümeleme analizi ile Yüksek teknoloji ihracatı açısından Türkiye'nin Avrupa Birliği üye ülkeler arasındaki yeri belirlenecektir. Daha sonra Türkiye için yüksek teknoloji ihracatı ve yüksek teknoloji ihracatını etkilediği düşünülen Patent Başvuru Sayısı, Ar-Ge harcamaları, Doğrudan Yabancı Yatırım ve Dışa Açıklık Oranı değişkenleri ele alınarak yapay sinir ağları ile yüksek teknoloji ihracatını etkileyen bu faktörlerin önem düzeyleri elde edilecektir.

Çalışmanın giriş bölümünde kısaca yüksek teknoloji ürün ihracatı ile ilgili bilgiler verilmiş ve çalışma ile ilgili literatür incelenmiştir. İkinci bölümde yöntem tanıtılmış, üçüncü bölümde ise veri seti

ve ampirik bulgulara yer verilmiştir. Sonuç bölümünde elde edilen bulgular doğrultusunda bazı tespitlerde ve önerilerde bulunulmuştur.

II. YÖNTEM

A. ZAMAN SERİLERİ KÜMELEME ANALİZİ

Zaman serisi veri madenciliği, son yıllarda bu tip verilerin yaygınlaşması nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Zaman serisi kümeleme özel bir kümeleme türüdür. Statik veri kümeleme gibi, zaman serisi kümeleme, etiketlenmemiş veri elemanları ile kümeleri oluşturmak için bir kümeleme algoritması veya prosedürü gerektirir. Kümeleme algoritmasının seçimi, hem mevcut verilerin türüne hem de belirli amaca ve uygulamaya bağlıdır.

Literatürdeki mevcut çalışmalar gözden geçirildiğinde, zaman serisi kümelemesi boyutsallık azaltma veya temsil yöntemi, uzaklık ölçümü, kümeleme algoritması, prototip tanımlama ve değerlendirme olmak üzere esas olarak dört bileşene sahiptir. Zaman serisi kümeleme algoritmaları veri ve algoritma uyarlaması olarak sınıflandırılabilir. Literatürde, zaman serileri arasında dört kategoriye ayrılmış uzaklık ölçümleri önerilmiştir. Bunlar modelden bağımsız, modele dayalı, karmaşıklığa dayalı ve tahmine dayalı ölçümlerdir.

Çalışmada modelden bağımsız uzaklık ölçümlerinden ham veri tabanlı Dinamik zaman atlama (DTW) uzaklık ölçümü ile otokorelasyon temelli uzaklık ölçümü kullanılarak hiyerarşik ve Partitioning Around Medoids (PAM) yöntemleri ile zaman serisi kümeleme analizi yapılmıştır. Bunun yanısıra Maharaj uzaklık ölçümü kullanılarak modele dayalı zaman serisi kümeleme analizi yapılmıştır.

DTW uzaklığı Sankoff ve Kruskal (1983) [26] tarafından derinlemesine incelenmiş ve Berndt ve Clifford (1994) [27] tarafından zaman serilerinde örüntüler bulmak için önerilmiştir. Fr'echet uzaklığı olarak, DTW uzaklığı, gözlem çiftleri (X_{ai}, Y_{bi}) arasındaki uzaklık ölçümünü minimum yapmak için seriler arasında bir eşleme r bulmayı amaçlamaktadır. DTW uzaklık ölçümü aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$d_{DTW}(X_T, Y_T) = \min_{r \in M} (\sum_{i=1, \dots, m} |X_{ai} - Y_{bi}|) \quad (1)$$

Galeano ve Peñna (2000) [28], Caiado ve ark. (2006) [29], ve D'Urso and Maharaj (2009) [30] gibi bazı araştırmacılar tahmini otokorelasyon işlevlerine dayalı ölçümleri değerlendirmişlerdir. $\hat{p}_{i, X_T} \approx 0$ ve $\hat{p}_{1, Y_T} \approx 0$ için $i > L$ için $\hat{p}_{X_T} = (\hat{p}_{1, X_T}, \dots, \hat{p}_{L, X_T})^T$ ve $\hat{p}_{Y_T} = (\hat{p}_{1, Y_T}, \dots, \hat{p}_{L, Y_T})^T$ bazı L 'ler için sırasıyla X_T ve Y_T 'nin tahmini otokorelasyon vektörleri olmak üzere Galeano ve Peñna (2000) [28] X_T ile Y_T arasındaki uzaklığı aşağıdaki gibi tanımlamaktadır.

$$d_{ACF}(X_T, Y_T) = \sqrt{(\hat{p}_{X_T} - \hat{p}_{Y_T})^T \Omega (\hat{p}_{X_T} - \hat{p}_{Y_T})} \quad (2)$$

Burada, Ω bir ağırlık matrisidir.

Modele dayalı uzaklık ölçümleri, temel modellerin belirli parametrik yapılardan oluşturulduğunu varsayar. Literatürdeki ana yaklaşım, X_T ve Y_T 'nin üretim süreçlerinin tersinir ARIMA modellerini takip ettiğini varsaymaktır. Böyle bir durumda amaç, her seriye bir ARIMA modeli uydurmak ve daha sonra uydurulan modeller arasındaki uzaklığı ölçmektir. İlk adım, ARIMA modellerinin yapısını ve parametrelerini tahmin etmeyi gerektirir. Yapının ya verildiği varsayılır ya da örneğin, Akaike bilgi kriteri (AIC) veya Schawartz Bayesçi bilgi kriteri (BIC) kullanılarak otomatik olarak tahmin edilir. Parametre değerleri genellikle genelleştirilmiş en küçük kareler tahmin ediciler kullanılarak uydurulur. ARIMA modelleri varsayımı altında literatürde türetilen uzaklık ölçütlerinden Maharaj uzaklığı aşağıda verilmiştir.

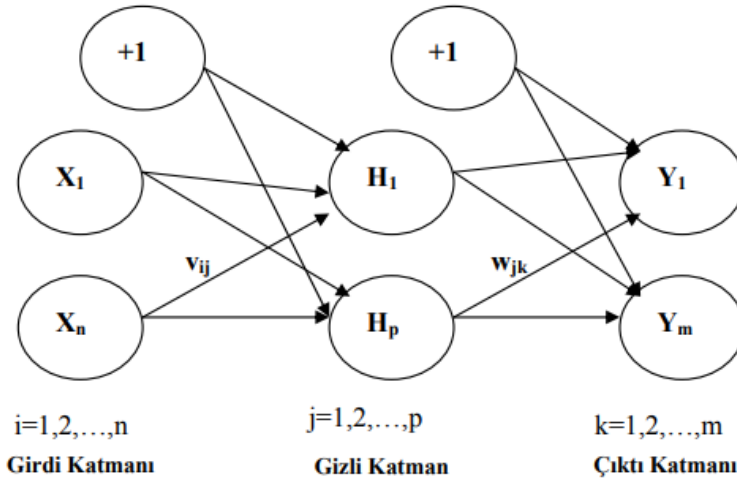
Tersinir ve durağan ARMA süreçleri sınıfı için Maharaj (1996, 2000) [31, 32], iki zaman serisinin önemli ölçüde farklı üretim süreçlerine sahip olup olmadığını belirlemek için hipotez testine dayalı tutarsızlık ölçüsü sunmuştur. Bu ölçüt aşağıdaki test istatistiği ile verilir.

$$d_{MAH}(X_T, Y_T) = \sqrt{T}(\hat{\Pi}'_{X_T} - \hat{\Pi}'_{Y_T})' \hat{V}^{-1} (\hat{\Pi}'_{X_T} - \hat{\Pi}'_{Y_T}) \quad (3)$$

burada, $\hat{\Pi}'_{X_T}$ ve $\hat{\Pi}'_{Y_T}$, sırasıyla X_T ve Y_T 'nin AR(k) parametre tahminleridir; k, Piccolo'nun uzaklığındaki gibi seçilir ve $\hat{V}, V = \sigma_{X_T}^2 R_{X_T}^{-1}(k) + \sigma_{Y_T}^2 R_{Y_T}^{-1}(k)$ 'nin tahminidir. $\sigma_{X_T}^2$ ve $\sigma_{Y_T}^2$, X_T ve Y_T ile ilişkili beyaz gürültü süreçlerinin varyanslarını gösterir. R_{X_T} ve R_{Y_T} , her iki serinin örnek kovaryans matrislerini belirtir [33].

B. YAPAY SINİR AĞLARI

Yapay sinir hücreleri, biyolojik sinir hücreleri gibi aldıkları girdi sinyallerini toplayıp çıktı olarak işleyen bir sistemdir [34]. Yapay sinir hücrelerine birim, düğüm ya da işlemci elemanı da denilmektedir [35]. Sinir hücreleri katmanlar halinde paralel şekilde dizilerek yapay sinir ağlarını oluştururlar. Yapay sinir ağlarında üç katman bulunmaktadır [36]. Çoğunlukla girdi katmanı ilk, çıkış katmanı ise son katmandır ve tektir. Aradaki katman gizli katman veya ara katmandır ve yapay sinir ağlarının yapısına göre bir ya da birden fazla olabilmektedir [37]. Girişler, girdi katmanından alınır ve girdi ile gizli katman arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak gizli katmana iletilirler. Girişler gizli katmanda bulunan nöronlara gelir, burada toplanır ve gizli ile çıktı katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılıp çıktı katmanına iletilir. Çıktı katmanında bulunan nöronlar gelen girişleri toplar ve uygun çıktıyı üretir [38]. Bağlantıların ağırlık değerleri öğrenme sürecinde belirlenmektedir [39]. Yapay sinir ağı yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İleri Beslemeli YSA [40]

Yapay sinir ağları (YSA), işleyiş şekillerine göre ileri ve geri beslemeli ağlar olarak ikiye ayrılır. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında sinyaller, girdi katmanından çıktı katmanına doğru tek yönedir. Geri beslemeli ağlarda ise sinyalin yönü girdi katmanından çıktı katmanına doğrudur yani bu ağlarda bir tür geri besleme işlemi vardır [41].

Yapay sinir ağının en önemli özellikleri, farklı problemler için uyarlanabilirliği, paralel dağılmış yapısı, doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, hata toleransına sahip olması ile öğrenme ve genelleme yapabilme yeteneğidir [42].

YSA doğrusal olmayan bir model olması ve algoritmalar ile eğitilebilmesi nedeniyle problemlerin çözümünde oldukça başarılıdır. Bunun yanı sıra, deneme yanılma yoluyla uyarlanabilir olması, analiz

yapmadan önce varsayım şartının olmaması ve veride bilgi kaybı yaşanmamasından dolayı başarısı yüksek modellerdir [43].

III. AMPİRİK UYGULAMA

Bir ülkenin teknik olarak gelişmişlik düzeyi o ülkenin teknolojiye yönelik verilerine ve ihracatındaki teknoloji yoğun ürünlerin payına bağlıdır. Bu nedenle çalışma, yüksek teknoloji ihracatı açısından Türkiye'nin Avrupa Birliği üyesi ülkeler arasındaki yerini ve Türkiye'nin yüksek teknoloji ihracatını etkileyen faktörlerinin önem derecesini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak, 27 Avrupa birliği üyesi ülke ve Türkiye için 2007-2018 yılları arası yüksek teknoloji ihracat verileri ele alınarak zaman serisi kümeleme analizi yapılmıştır. İkinci aşamada, Türkiye için 2007-2017 dönemi arası yüksek teknoloji ihracatı oranı, yüksek teknoloji ürün ihracatını etkileyen faktörler olarak literatürde sıklıkla kullanılan Patent Başvuru Sayısı, Ar-Ge harcamaları, Doğrudan Yabancı Yatırım, Dışa Açıklık Oranı, verileri ele alınarak yapay sinir ağı ile bu faktörlerin önem düzeyleri belirlenmiştir. Zaman serisi kümeleme analizi için R, yapay sinir ağı için IBM SPSS Statistics 22 programı kullanılmıştır. Dışa Açıklık Oranı, Ar-Ge harcamaları ve Doğrudan Yabancı Yatırım değişkenlerinin 2018 yılına ait verileri eksik olduğu için yıl aralığı 2007-2017 olarak alınmıştır. Yüksek teknoloji ürün ihracatının belirleyicileri ile ilgili yapılan çalışmalar ele alındığında; Ar-Ge harcamaları, Ekonomik Büyüme (GSYH), Sabit Sermaye Yatırımı, Patent Başvuru Sayısı, Nitelikli İstihdam Sayısı, Doğrudan Yabancı Yatırımlar ve Dışa Açıklık Oranı gibi değişkenler olduğu görülmüştür. Yüksek teknoloji ürün ihracatını etkileyen en önemli faktörler arasında ülkelerin yaptıkları Ar-Ge harcamaları ve aldıkları patent sayısı bulunmaktadır. Bununla birlikte DYY'nin ev sahibi ülkeye teknolojik gelişme getirebileceği ve dışa açıklığın yıllar itibariyle artması ile ekonominin yüksek teknoloji ürün ihracatını artırabileceği düşünülmektedir. Yüksek teknoloji ihracatını etkileyen faktörler ülkelere göre farklılık göstermektedir. Çalışmada kullanılan değişkenler ve veri kaynakları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Analizde Kullanılan Değişkenlere İlişkin Açıklamalar

Değişkenler	Açıklaması	Birim	Kaynak
LnYTI	Logaritmik Yüksek Teknolojili Ürün İhracatı	Oran	EUROSTAT (https://ec.europa.eu/eurostat/) [44]
LnArGe	Logaritmik Ar-Ge harcamaları	Oran	Dünya Bankası (databank.worldbank.org) [45]
LnPT	Logaritmik Patent Başvuru Sayısı	Değer	Dünya Bankası (databank.worldbank.org) [46]
LnDA	Logaritmik Dışa Açıklık Oranı	Oran	The Global Economy (www.theglobaleconomy.com) [47]
LnDYY	Logaritmik Doğrudan Yabancı Yatırım	Değer	The Global Economy (www.theglobaleconomy.com) [48]

28 ülkenin 2007-2018 yılları arası yüksek teknoloji ihracat verilerine modelden bağımsız hiyerarşik ve PAM ile modele dayalı olmak üzere üç farklı yöntemle kümeleme analizi uygulanmıştır. Hiyerarşik ve PAM yöntemlerinde DTW ve ACF olmak üzere 2 farklı uzaklık ölçümü kullanılmıştır. Uygun küme sayısını belirlemek amacıyla 2-7 küme sayıları için kullanılan uzaklık ölçümleri ile yapılan hiyerarşik ve PAM yöntemlerine ait küme geçerlilik indekslerinden Dunn, Connectivity ve Silhouette değerleri hesaplanmıştır. Bulunan değerler Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. DTW ve ACF uzaklık yöntemleri kullanılarak yapılan hiyerarşik kümeleme analizi için küme geçerlilik indeks değerleri

Küme sayısı	Hiyerarşik Kümeleme					
	DTW uzaklığı			ACF uzaklığı		
	Dunn	Connectivity	Silhouette	Dunn	Connectivity	Silhouette
2	0.1081174	7.627778	0.62	0.406327	6.149206	0.49
3	0.1535318	13.37857	0.53	0.3268684	17.61548	0.31
4	0.1836592	17.70357	0.5	0.3302836	19.92659	0.26
5	0.2062745	19.39524	0.48	0.3609682	24.21349	0.30
6	0.1535714	26.83968	0.39	0.3677008	26.88016	0.27
7	0.1718282	30.90278	0.43	0.4127247	27.00516	0.26

Tablo 3. DTW ve ACF uzaklık yöntemleri kullanılarak yapılan PAM kümeleme analizi için küme geçerlilik indeks değerleri

Küme sayısı	PAM Kümeleme					
	DTW uzaklığı			ACF uzaklığı		
	Dunn	Connectivity	Silhouette	Dunn	Connectivity	Silhouette
2	0.0988228	6.344841	0.59	0.5169409	5.280952	0.49
3	0.18365	12.89841	0.58	0.2674165	18.91825	0.28
4	0.08615819	19.18016	0.51	0.2872566	19.85675	0.33
5	0.08615819	27.37302	0.42	0.2952859	25.51706	0.30
6	0.08615819	28.37302	0.39	0.2952859	26.83651	0.29
7	0.1746193	29.02143	0.39	0.2952859	30.26984	0.24

Tablo 2 incelendiğinde DTW uzaklık ölçümü kullanılarak yapılan hiyerarşik kümeleme yöntemi için küme sayısı, Dunn geçerlilik indeks değerine göre (0.2062) 5 küme, Connectivity ve Silhouette indeks değerlerine göre (sırasıyla 7.62, 0.62) 2 küme olarak önerilmektedir. ACF uzaklığı kullanılarak yapılan hiyerarşik kümeleme yöntemi için küme sayısı, Dunn geçerlilik indeks değerine göre (0.412) 7 küme, Connectivity ve Silhouette indeks değerlerine göre (sırasıyla 6.14, 0.49) 2 küme olarak önerilmektedir.

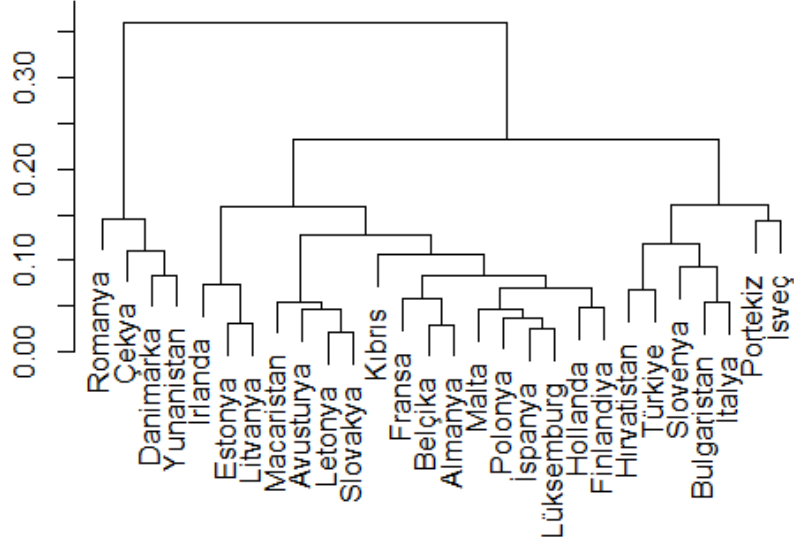
Tablo 3'e bakıldığında DTW uzaklık ölçümü kullanılarak yapılan PAM kümeleme yöntemi için küme sayısı, Dunn geçerlilik indeks değerine göre (0.18365) 3 küme, Connectivity ve Silhouette indeks değerlerine göre de (sırasıyla 6.34, 0.59) 2 küme olarak önerilmektedir. ACF uzaklığı kullanılarak yapılan PAM kümeleme yöntemi için küme sayısı, üç indeks değerine göre (0.516, 5.28, 0.49) 2 küme olarak önerilmektedir.

Dunn ve Silhouette indeksleri için maksimum değer, Connectivity indeksi için ise minimum değer uygun küme sayısını göstermektedir. Maharaj uzaklık ölçümü kullanılarak modele dayalı zaman serisi kümeleme ile ise ülkeler 7 kümeye ayrılmıştır. Bu durumda uzaklık ölçümleri kullanılarak hiyerarşik, PAM yöntemleri ve modele dayalı yöntemle yapılan kümeleme analizi ile ülkelerin buldukları kümeler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kullanılan yöntemler için küme sayılarına göre ülkelerin buldukları kümeler

	Hiyerarşik Kümeleme				PAM Kümeleme			Modeler dayalı kümeleme
	DTW uzaklığı		ACF uzaklığı		DTW uzaklığı		ACF uzaklığı	
	Küme sayısı 2	Küme sayısı 5	Küme sayısı 2	Küme sayısı 7	Küme sayısı 2	Küme sayısı 3	Küme sayısı 2	
Belçika	1	1	1	1	1	1	1	1
Bulgaristan	1	1	1	2	1	1	1	3
Çekya	1	2	2	3	2	2	2	3
Danimarka	1	2	2	3	1	1	2	1
Almanya	1	2	1	1	2	2	1	3
Estonya	1	2	1	4	2	2	1	5
İrlanda	2	3	1	4	2	3	1	1
Yunanistan	1	1	2	3	1	1	2	1
İspanya	1	1	1	1	1	1	1	1
Fransa	2	4	1	1	2	2	1	1
Hırvatistan	1	1	1	2	1	1	1	1
İtalya	1	1	1	2	1	1	1	2
Kıbrıs	1	2	1	1	2	2	1	1
Letonya	1	1	1	1	1	1	1	2
Litvanya	1	1	1	4	1	1	1	6
Lüksemburg	2	5	1	1	2	3	1	3
Macaristan	2	4	1	1	2	2	1	1
Malta	2	3	1	1	2	3	1	1
Hollanda	2	4	1	1	2	2	1	7
Avusturya	1	2	1	1	2	2	1	7
Polonya	1	1	1	1	1	1	1	3
Portekiz	1	1	1	5	1	1	2	1
Romanya	1	1	2	6	1	1	2	1
Slovenya	1	1	1	2	1	1	1	1
Slovakya	1	1	1	1	1	1	1	3
Finlandiya	1	2	1	1	1	1	1	4
İsveç	1	2	1	7	2	2	1	2
Türkiye	1	1	1	2	1	1	1	3

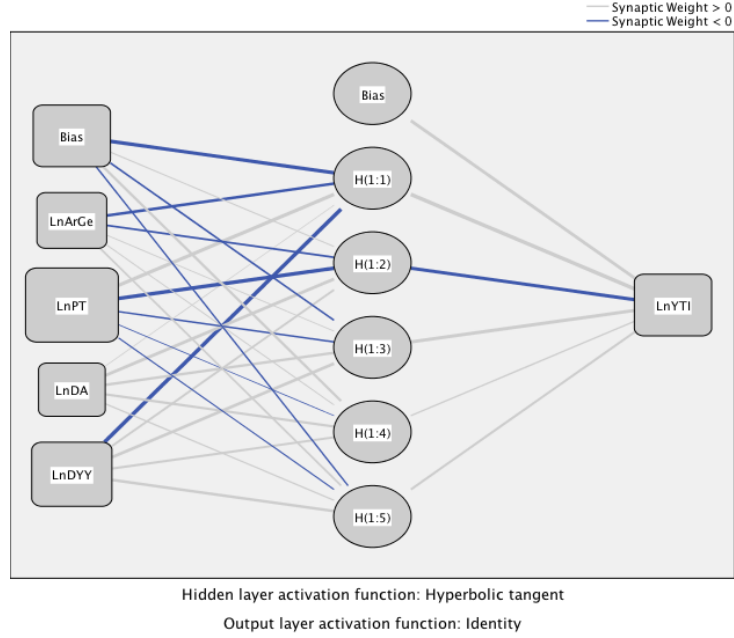
Geçerlilik indekslerine göre, küme sayısı genel olarak 2 küme olarak önerilmektedir. Bununla birlikte Tablo 4'te 2 kümeye ayrılan ülkeler incelendiğinde ülkelerin kümelerde bulunma durumları farklıdır. Ancak ACF uzaklığı kullanılarak yapılan hiyerarşik ve PAM yöntemleri ile 2 kümeye ayrılan ülkeler Portekiz hariç aynı kümelerde bulunmaktadır. Genel olarak bakıldığında Türkiye ve Portekiz aynı kümede yer aldıklarından uygun yöntemin ACF uzaklık ölçümü kullanılarak yapılan hiyerarşik kümeleme yöntemi olduğu görülmektedir. Bu durumda birinci kümedeki ülkeler Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kıbrıs, Fransa, Estonya, Almanya, Finlandiya, İrlanda, Macaristan, Letonya, İtalya, Lüksemburg, Litvanya, Hollanda, Malta, Portekiz, Polonya, Slovakya, İspanya, Slovenya, İsveç, Hırvatistan ve Türkiye'dir. İkinci kümede ise Çekya, Danimarka, Yunanistan, Romanya bulunmaktadır. Şekil 2'de ACF uzaklık ölçümü kullanılarak yapılan hiyerarşik kümeleme yöntemi ile elde edilen dendogram verilmiştir.



Şekil 2. ACF uzaklık ölçümü kullanılarak yapılan hiyerarşik kümeleme yöntemi ile elde edilen dendogram

Şekil 2’den de açıkça görüldüğü gibi Türkiye, 4 Avrupa Birliği üyesi (Romanya, Çekya, Danimarka ve Yunanistan) hariç diğer Avrupa Birliği ülkeleri ile yüksek teknoloji ihracatı açısından benzerlik göstermektedir.

Birçok probleme yapay sinir ağları ile çözüm bulunabilmektedir. Farklı ağ yapıları kullanılarak problemin tipine uygun olan ağ yapısı araştırmacı tarafından belirlenir [49]. Bu çalışmada Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli (ÇKA) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yapay sinir ağı modeli Şekil 3’te verilmiştir. Burada çizgiler ağırlıkları, daireler ise nöronları göstermektedir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan yüksek teknoloji ihracatı için yapay sinir ağı modeli

Modelde birer adet girdi katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı yer almaktadır. Dört nöron girdi katmanında, beş nöron gizli katmanda ve bir nöron çıkış katmanında bulunmaktadır. Girdi katmanındaki nöronlar Ar-Ge harcamaları (LnArGe), Patent Başvuru Sayısı (LnPT), Dışa Açıklık Oranı (LnDA), Doğrudan Yabancı Yatırım (LnDYY) bağımsız değişkenleri iken çıktı katmanındaki nöron ise Yüksek teknoloji ihracatı (LnYTI) bağımlı değişkenidir. Verinin %72.7’si eğitim, %27.3’ü

de test verisi olarak kullanılmıştır. Gizli katmanda hiperbolik tanjant fonksiyonu çıktı katmanında ise kimlik doğrulama fonksiyonu kullanılmıştır. Değişkenlerin yeniden ölçeklenme tekniği standardizedir.

Tablo 3. Bağımsız Değişkenlerin Önem Sıralamasına Ait Analiz Sonuçları Tablosu

Değişkenler	Önem Düzeyi	Normalleştirilmiş Önem Düzeyi
LnArGe	0.126	%25.3
LnPT	0.499	%100.0
LnDA	0.078	%15.6
LnDYY	0.297	%59.5

Tablo 3'te YSA'da girdi katmanının çıktı katmanı üzerindeki önem düzeyi sıralaması görülmektedir. Burada tüm koşullar değişirse dahi YSA modelinde ilk ağırlıkların tesadüfi olarak atanması nedeniyle sonuçlar az da olsa farklı çıkmakta ve bağımsız değişkenlerin önem sıralaması değişmektedir. Tablo 3'te görüldüğü gibi Patent Başvuru Sayısının (LnPT) yüksek teknoloji ihracatı (LnYTI) üzerine olan etkisi %100 olarak birinci sırada önem düzeyine sahiptir. %59.5 değeriyle Doğrudan Yabancı Yatırımın (LnDYY) yüksek teknoloji ihracatı (LnYTI) üzerine olan etkisi ikinci sırada öneme sahipken, %25.3 Ar-Ge harcamaları (LnArGe), üçüncü sırada önem düzeyine sahiptir. Son sırada ise %15.6 değeri ile Dışa Açıklık Oranı (LnDA) değişkeni bulunmaktadır. YSA'daki bağlantı ağırlıkları henüz yorumlanamadığından bulunan sonuçlarda modelin kapalı bir kutu olarak kaldığı göz önünde bulundurulmalıdır.

IV. SONUC

Teknoloji sürekli gelişerek yaşamın her alanında vazgeçilmez bir yer edinmekte ve belirleyici bir rol oynamaktadır. Bilgiye dayalı değişim ile birlikte teknolojiyi üretmek ve yönlendirmek bir "bilim-teknoloji" dalına dönüşmektedir. Ülkelerin çoğu bu sürece dahil olmaktadır. Bu nedenle sermaye yoğunluklu teknolojik ilerleme ön plana çıkmaktadır [50, 51].

Yüksek teknoloji, endüstrilerin ve şirketlerin üretim sürecinde teknolojik yeniliklerden ve altyapıdan çok fazla yararlanmaları olarak tanımlanabilmektedir [24]. İç ve dış piyasada verimliliği artırıp ülkelerin büyümesine ve kalkınmasına yönelik bir adım atması ve küresel rekabette güçlenmesi için teknolojiyi etkin olarak kullanmak oldukça önemlidir [23]. Bu nedenle yüksek teknoloji içeren ürünler ve bunların ihracı ülke ekonomilerinin büyümesi ve gelişmesini olumlu bir şekilde etkilemektedir [7]. Bu çalışmada, yüksek teknoloji ihracatı açısından Türkiye'nin Avrupa Birliği üyesi ülkeler arasındaki yeri belirlenmiş ve Türkiye'nin yüksek teknoloji ihracatını etkileyen faktörlerinin önem derecesi elde edilmiştir. Çalışmada ilk olarak, 27 Avrupa birliği üyesi ülke ve Türkiye için 2007-2018 yılları arası yüksek teknoloji ihracat verileri ele alınmıştır. Elde edilen verilere modelden bağımsız hiyerarşik ve PAM ile modele dayalı olmak üzere üç farklı yöntemle zaman serisi kümeleme analizi uygulanmıştır. Hiyerarşik ve PAM yöntemlerinde DTW ve ACF olmak üzere 2 farklı uzaklık ölçümü kullanılmıştır. Kullanılan uzaklık ölçümleri ile yapılan hiyerarşik ve PAM yöntemlerine ait küme geçerlilik indekslerinden Dunn, Connectivity ve Silhouette değerleri 2-7 küme sayısı için hesaplanmıştır. Geçerlilik indekslerine göre, küme sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Buna göre, birinci kümedeki ülkeler Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Kıbrıs, Fransa, Estonya, Almanya, Finlandiya, İrlanda, Macaristan, Letonya, İtalya, Lüksemburg, Litvanya, Hollanda, Malta, Portekiz, Polonya, Slovakya, İspanya, Slovenya, İsveç, Hırvatistan ve Türkiye'dir. İkinci kümede ise Çekya, Danimarka, Yunanistan, ve Romanya bulunmaktadır. Türkiye ileri teknoloji ihracatı bakımından çoğu Avrupa birliği üyesi ülke ile benzerlik göstermektedir. İkinci aşamada, Türkiye'nin yüksek teknoloji ihracatını etkileyen faktörlerin önem düzeyini belirlemek için 2007-2017 dönemi arası yüksek teknoloji ihracatı oranı, yüksek

teknoloji ürün ihracatını etkileyen faktörler olarak literatürde sıklıkla kullanılan Patent Başvuru Sayısı, Ar-Ge harcamaları, Doğrudan Yabancı Yatırım ve Dışa Açıklık Oranı verileri ele alınarak yapay sınır ağları ile bu faktörlerin önem düzeyleri belirlenmiştir. YSA ile elde edilen sonuçlara göre, Patent Başvuru Sayısının (LnPT) yüksek teknoloji ihracatı (LnYTI) üzerine olan etkisi %100 olarak birinci sırada önem düzeyine sahiptir. %59.5 değeriyle Doğrudan Yabancı Yatırımın (LnDYY) yüksek teknoloji ihracatı (LnYTI) üzerine olan etkisi ikinci sırada öneme sahipken, %25.3 Ar-Ge harcamaları (LnArGe), üçüncü sırada önem düzeyine sahiptir. Son sırada ise %15.6 değeri ile Dışa Açıklık Oranı (LnDA) değişkeni bulunmaktadır.

Elde edilen sonuçlardan Türkiye’de yüksek teknoloji ihracatında en etkili değişkenin patent sayıları olduğu görülmektedir. Patent sayısının artması yeni ürün sayısının artması demektir. Bu durum yeni teknolojilerin üretildiğini ve teknolojinin geliştiğini göstermektedir [6]. Türkiye’nin teknolojik altyapısı geliştirilip ürün çeşitliliği yükseltilerek teknolojik gelişme seviyesi ve yüksek teknoloji ürün ihracatı artırılabilir [1]. Türkiye’de doğrudan yabancı yatırımlar imalat sanayinde ileri teknoloji ihracatını artırmaktadır [52]. Ayrıca yeni teknolojilerin ülkeye kazandırılmasında da oldukça etkindir. Bu nedenle doğrudan sermaye yatırımlarını teşvik edici politikaların uygulanması ve teknoloji yoğun üretim yapmak isteyen yabancı firmalara ek teşvikler sağlanması yüksek teknoloji ihracatını artıracaktır. Böylece ülkenin ekonomik büyümesine de katkı sağlanmış olacaktır. Türkiye’nin yüksek teknoloji ürün ihracatını artırabilmesi için beşeri sermayeye yönelik yatırımlarının artırılarak Ar-Ge faaliyetlerine ve bilim-teknik çalışmalarına daha fazla önem verebilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca teknoloji transferi yoluyla ülkeye getirilen teknolojinin Ar-Ge destekli geliştirilmesi ve gerekli teşvik sisteminin oluşturulması da gerekmektedir [53].

Çalışma sonuçları politika yapıcılar açısından önemli çıkarımlar içermektedir. Türkiye’nin yüksek teknoloji ihracatında önemli ilerleme kaydedebilmesi, dünyada yakalanan teknolojik gelişim seviyesini yakından takip etmesi, bilim teknoloji alanında çalışan araştırmacılara mali destek sağlaması, yasal düzenlemelerle teknolojiye teşvik etmesi ve bu konulara yönelik politikalar geliştirmesi ile sağlanabilecektir [7].

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2020-12725).

V. KAYNAKLAR

[1] A. Şeker, “Teknolojik Gelişme ve Yüksek Teknoloji İhracatının Ekonomik Karmaşıklık Endeksi Üzerindeki Etkisi: Türkiye Örneği,” *Yönetim ve Ekonomi: Celal Bayar Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 26, s. 2, ss. 377-395, 2019.

[2] E. Tekin, ve Y. Hancıoğlu, “İnovasyon Belirleyicilerinin İhracat Performansına Etkisi Üzerine Bir Araştırma,” *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, c. 14, s. 4, ss. 897-917, 2018.

[3] T.S. Sara, F.H. Jackson, ve L.T Upchurch, “Role of Innovation in Hi-Tech- Exports of a Nation”, *International Journal of Business and Management*, c.7, s. 7, ss. 85-93, 2012.

[4] İ. Çütçü, “İnovasyonun İhracat Performansına Etkisi: Yatay-Kesit Analizi Uygulaması,” *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 10 s. 48, ss. 586-596, 2017.

[5] A. Şahbaz, R. Yanar, U. Adıgüzel, “Ar-Ge Harcamaları ve İleri Teknoloji Mal İhracatı İlişkisi:

Panel Nedensellik Analizi,” *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 23, s. 1, ss. 47-60, 2014.

[6] A. Konak, “Yüksek Teknoloji İçeren Ürün İhracatının İhracat Hacmi ve Ekonomik Büyüme Üzerine Etkisi; Seçilmiş OECD Ülkeleri ve Türkiye Örneği,” *JOMELIPS-Journal of Management Economics Literature Islamic and Political Sciences*, c. 3, s. 2, ss. 56-80, 2018.

[7] Z. Erdiñç, ve A. Gökçen, “Yüksek Teknoloji Ürünleri İhracı Ve Belirleyicileri: Panel Veri Analizi”, *International Social Mentality and Researcher Thinkers Journal*, (Issn:2630-631X), c. 6, s. 30, ss. 496-507, 2020.

[8] F. Kula, “Uluslararası sermaye hareketlerinin etkinliği: Türkiye üzerine gözlemler,” *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 4, s. 2, 141-154, 2003.

[9] G. Özkan, ve H. Yılmaz, “AR-GE Harcamalarının Yüksek Teknoloji Ürün İhracatı ve Kişi Başı Gelir Üzerindeki Etkileri: 12 AB Ülkesi ve Türkiye için Uygulama (1996-2015),” *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, c. 12, s. 1, 1-12, 2017.

[10] U. Buzdağlı, A.M. Uzun, S. Ö. Emsen, “yükselen ekonomilerde yüksek teknolojili mal ihracatının belirleyicileri”, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* , c. 20, s. 1, ss. 474 – 487, 2019.

[11] S. Belay, “Determinants of levels of high technology exports: An empirical investigation”, *Advances in Competitiveness Research*, c. 13, s. 1,ss. 64-79, 2005.

[12] M. Srholec, “High-Tech Exports from Developing Countries: A Symptom of Technology Spurts or Statistical Illusion?” *Review of World Economics/WeltwirtschaftlichesArchiv*, c. 143, s. 2, ss. 227–255, 2007.

[13] H. Hollenstein, “Innovation modes in the Swiss service sector: a cluster analysis based on firm-level data”, *Research policy*, c. 32, s. 5, ss. 845-863, 2003.

[14] Y. G., Lee, ve Y. I. Song, “Selecting the key research areas in nano-technology field using technology cluster analysis: A case study based on National R&D Programs in South Korea”, *Technovation*, c. 27, s. (1-2), ss. 57-64, 2007.

[15] Y. L., Chyi, Y. M. Lai ve W. H. Liu, “Knowledge spillovers and firm performance in the high-technology industrial cluster”, *Research Policy*, c. 41, s. 3, ss. 556-564, 2012.

[16] İ. Göçer, “Ar-Ge harcamalarının yüksek teknolojili ürün ihracatı, dış ticaret dengesi ve ekonomik büyüme üzerindeki etkileri”, *Maliye Dergisi*, c. 165, s. 2, ss. 215-240, 2013.

[17] K. Hadri, ve E. Kurozumi, “A Simple Panel Stationarity Test in the Presence of Serial Correlation and a Common Factor”, *Economics Letters*, c.115, ss. 31–34, 2012.

[18] E.I. Dumitrescu, ve C. Hurlin, “Testing for Granger Non-Causality in Heterogeneous Panels”, *Economic Modelling*, c. 29, s. 4, ss. 1450–1460, 2012.

[19] J. Westerlund, ve D.L. Edgerton, “A Panel Bootstrap Cointegration Test”, *Economic Letters*, c. 97, s. 3, ss. 185-190, 2007.

[20] M. Eberhardt, ve S. Bond, “Cross-section Dependence in Nonstationary Panel Models: A Novel Estimator”, *MPRA Paper*, No. 17870, 2009.

- [21] O. M. Telatar, M. K., Değer, ve M. A. Doğanay, “Teknoloji yoğunluklu ürün ihracatının ekonomik büyümeye etkisi: Türkiye örneği (1996: Q1-2015: Q3)”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 30, s. 4, 2016.
- [22] R. F. Engle, ve C.W. J. Granger, “Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing”, *Econometrica*, c. 55 s. 2, ss. 251- 276, 1987.
- [23] O. Kızılkaya, E. Sofuoğlu ve A. Ay, “Yüksek teknolojlili ürün ihracatı üzerinde doğrudan yabancı sermaye yatırımları ve dışa açıklığın etkisi: Gelişmekte olan ülkelerde panel veri analizi,” *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, c. 18, s. 1, ss. 63-78, 2017.
- [24] S. Güneş, ve T. Akın, “Yüksek teknolojlili ürün ihracatı: Lider ülkeler ve Türkiye analizi”, *Sosyoekonomi*, c.27 s. 40,ss. 11-29, 2019.
- [25] M., Akyol ve S. Demez, “İnovasyonun Yüksek Teknoloji Ürün İhracatı Üzerindeki Etkisi: Yeni Endüstrileşen Ülkeler İçin Panel Veri Analizi”, *Journal of Yaşar University*, c. 15, s. 57, ss. 56-62, 2020.
- [26] D. Sankoff ve JB Kruskal, Ed. *Time Warps, String Edits, and Macromolecules: The Theory and Practice of Sequence Comparison*. Ontario: Addison Wesley Publishing, 1983.
- [27] D.J. Berndt, J. Clifford “Using Dynamic Time Warping to Find Patterns in Time Series.” In KDD Workshop, ss. 359–370, 1994.
- [28] P. Galeano, D. Peñna, “Multivariate Analysis in Vector Time Series”, *Resenhas do Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo*, c. 4, s. 4, ss. 383–403, 2000.
- [29] J. Caiado, N. Crato, D. Peñna, “A Periodogram-Based Metric for Time Series Classification”, *Computational Statistics & Data Analysis*, c. 50 s. 10, ss. 2668–2684, 2006.
- [30] P. D’Urso, E.A. Maharaj, “Autocorrelation-Based Fuzzy Clustering of Time Series”, *Fuzzy Sets and Systems*, c. 160, s. 24, ss. 3565 – 3589, 2009.
- [31] E.A. Maharaj, “A Significance Test for Classifying ARMA Models.” *Journal of Statistical Computation and Simulation*, c. 54, s. 4, ss. 305–331, 1996.
- [32] E.A. Maharaj, “Clusters of Time Series”, *Journal of Classification*, c. 17, s. 2, ss. 297–314, 2000.
- [33] P. Montero, J.A. Vilar, “TSclust: An R package for time series clustering”, *Journal of Statistical Software* c. 62, ss. 1-43, 2014.
- [34] O. Kaynar, S. Taştan, ve F. Demirkoparan, “Yapay sinir ağları ile doğalgaz tüketim tahmini”, *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, c. 25, 2011.
- [35] H. Budak, ve S. Erpolat, “Kredi Riski Tahmininde Yapay Sinir Ağları ve Lojistik Regresyon Analizi Karşılaştırılması”, *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, c. 3, s. 9, 23-30, 2012.
- [36] H. Aygören, H. Saritaş, ve T. Morali, “İMKB 100 Endeksinin Yapay Sinir Ağları ve Newton Nümerik Arama Modelleri ile Tahmini”, *Journal of Alanya Faculty of Business/Alanya İslah Fakültesi Dergisi*, c. 4, s. 1, 2012.
- [37] Ö. Yıldız, “Döviz Kuru Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanımı,” Yüksek Lisans Tezi, İşletme, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2006.






- [38] Ö. Efe, ve O. Kaynak, *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*, 696. baskı, İstanbul, Türkiye: Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 2000. s. 148.
- [39] Ö. Asilkan, ve A. G. S. Irmak, “İkinci El Otomobillerin Gelecekteki Fiyatlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 14, s. 2, ss. 375-391, 2009.
- [40] C. Hamzaçebi, ve F. Kutay, “Yapay sinir ağları ile türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar Tahmini”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 3, 2004.
- [41] M. Tolon, ve N.G. Tosunoğlu, “Tüketici Tatmini Verilerinin Analizi: Yapay Sinir Ağları Ve Regresyon Analizi Karşılaştırması”, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 10, s. 2, 2008.
- [42] H.A. Es, F.Y. Kalender ve C. Hamzaçebi, “Yapay sinir ağları ile Türkiye net enerji talep tahmini”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 29, s. 3, 2014.
- [43] A. Akcan, ve C. Kartal, “İMKB Sigorta Endeksini Olusturan Sirketlerin Hisse Senedi Fiyatlarının Yapay Sinir Ağları İle Tahmini”, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, c. 51, ss. 27-40, 2011.
- [44] http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=htec_si_exp4&lang=en / 07.09.2020
- [45] <https://data.worldbank.org/indicator/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?locations=TR> 20.11.2020
- [46] <https://data.worldbank.org/indicator/IP.PAT.RESD?locations=TR> 20.11.2020
- [47] https://www.theglobaleconomy.com/Turkey/trade_openness/ 20.11.2020
- [48] https://www.theglobaleconomy.com/Turkey/fdi_dollars/ 20.11.2020
- [49] M. Karaatlı, Ö.C. Helvacıoğlu, N. Ömürbek, ve G. Tokgöz, “Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Otomobil Satış Tahmini”, *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, c. 8, s. 17, 87-100, 2012.
- [50] A.K. Kökocak, *Ekonomik güç: Bilim ve Teknoloji*, Odak Yayın ve Dağıtım, Ankara, 2005, ss. 169.
- [51] H. Yaman, ve O. Sungur, “İleri Teknoloji İhracatı ve Büyüme İlişkisi: OECD Ülkelerine Yönelik Ekonometrik Bir Analiz”, *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 20, s. 1, ss. 63-80, 2020.
- [52] N. Topallı, “Doğrudan yabancı yatırımlar, ekonomik büyüme ve yüksek teknoloji ihracatı arasında bir nedensellik ilişkisi”, *International Journal of Social Sciences and Education Research*, c. 1, s. 1, ss. 277-285, 2015.
- [53] N. Algan, M. Manga ve M. Tekeoğlu, “Teknolojik Gelişme Göstergeleri ile Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensellik İlişkisi: Türkiye Örneği”, *International Conference on Eurasian Economies*, İstanbul, Türkiye, 2017, ss. 332-338.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Endüstri 4.0'ın Gelişim Sürecinde Unutulan Bileşen: Siber Güvenlik

 Serkan GÖNEN ^a,  Ercan Nurcan YILMAZ ^{b,*},  Seda ŞANOĞLU ^b,
 Gökçe KARACAYILMAZ^c,  Özge ÖZBİRİNCİ^a

^a Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, TURKEY

^b Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, TURKEY

^c Adli Bilimler, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, TURKEY

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

DOI: 10.29130/dubited.905340

ÖZ

İnsanlık tarihi teknolojik açıdan önemli aşamalardan geçmiştir ve geçmeye devam etmektedir. Bu aşamaların en önemlilerinden birisi de Endüstri 4.0 sürecidir. Bu süreçle birlikte geleneksel sanayi üretimi yerini bilişim sistemlerinin ön planda olduğu bir yaklaşıma bırakmıştır. Endüstriyel haberleşme sistemleri ilk üretildikleri zamanlarda tamamen izole olarak yönetilmişlerdir. Zamanla iç ağlara (intranet) devamında ise internete bağlanmaları ile Endüstri 4.0 süreci başlamıştır. Bu süreçte siber-fiziksel sistemlerin ortaya çıkmasıyla birlikte, bu sistemler siber tehditlere karşı açık hale gelmişlerdir. Bu zafiyetler akıllı sistemleri ve Endüstri 4.0 sistemlerini saldırganların gözdesi haline getirmiştir. Her ne kadar bu sistemler verimlilik, sürat, işlerlik gibi insan hayatına önemli katkılar sağlasa da siber güvenlik açıklıkları uygun şekilde değerlendirilmezse, Endüstri 4.0'ın gerçek potansiyeline asla ulaşamayabilir. Bu nedenle, çalışmada Endüstri 4.0'ın tüm bileşenleri ele alınarak, Siber Güvenlik bileşeni üzerine odaklanılmıştır. Çalışma, Endüstri 4.0'ın siber güvenlik boyutuna yönelik çalışmalara önemli katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Siber Güvenlik, Özerk Sistemler, IoT

The Forgotten Component in the Development Process of Industry 4.0: Cyber Security

ABSTRACT

Human history has passed through important technological stages and continues to do so. One of the most important of these stages is the Industry 4.0 process. With this process, traditional industrial production has left its place to an approach where information systems are at the forefront. Industrial communication systems were completely isolated when they were first produced. In time, the Industry 4.0 process started with their connection to internal networks (intranet) and then to the Internet. With the emergence of cyber-physical systems in this process, these systems have become vulnerable to cyber threats. These weaknesses have made smart systems and Industry 4.0 systems the favorite of attackers. Although these systems make significant contributions to human life such as efficiency, speed and operability, if cyber security vulnerabilities are not properly evaluated, the real potential of Industry 4.0 may never be reached. Therefore, the study focused on the Cyber Security component by considering all the components of Industry 4.0. The study will make a significant contribution to the studies on the cyber security dimension of Industry 4.0.

Keywords: Industry 4.0, Cyber Security, Autonomous Systems, IoT.

I. GİRİŞ

İnsanlık tarihi insan hayatına yön veren önemli aşamalardan geçmiştir. Bu aşamalar çok farklı türde kategorilere ayrılmış olsa da temel de toplum yaşantısını etkileyen üç temel aşamaya ayrılabilir. İlki tarım toplumu, ikincisi sanayi toplumu ve üçüncüsü bilgi toplumdur. Hâlihazırda içinde bulunduğumuz bilgi toplumu, en geniş ağ olan “İnternetin” hayatımıza girmesiyle insan yaşantısında önemli değişikliklere yol açmıştır. Bankacılıktan, alışverişe, sağlık hizmetlerinden eğitime kadar tüm alanlar dijital dönüşüme sahne olmuştur. Bu süreci daha da hızlandıran ve siber-fiziksel sistemlerin ortaya çıkmasına neden olan diğer bir gelişme ise 4. Sanayi devrimi denilen Endüstri 4.0 sürecidir.

Endüstri 4.0, birçok çağdaş otomasyon sistemini, veri alışverişlerini ve üretim teknolojilerini içeren kolektif bir terimdir. Endüstri 4.0 konsepti ilk olarak Almanya'da düzenlenen Hannover Sanayi Fuarı'nda duyurulmuştur [1]. Endüstri 4.0 ile birlikte, endüstri sistemleri içeren sayısız unsurun geleceğin akıllı fabrikalarını ve imalat organizasyonlarını oluşturmak için internet iletişim teknolojileriyle etkileşime girdiği yeni bir devrim gerçekleşmektedir. Endüstri 4.0, akıllı siber-fiziksel sistemler ile kurulan akıllı fabrikaların bir vizyonudur. Üretim hızlandırılması, verimliliğin artırılması ve insan gücünün azaltılarak otonom sistemlerin devreye alınması bu devrimin temel hedefleri arasında yer almaktadır. Üretim ve imalat alanında internetin öncülüğünde yüksek teknolojinin kullanımını hedefleyen bu kavram, kendi kendini yapılandırma, kendi kendini izleme ve kendi kendini iyileştirme gibi özerk özelliklere sahip akıllı sistemler tarafından üretilen üretim ekosistemlerinin oluşmasını sağlayacaktır. Ancak, bulut tabanlı tasarım ve üretim sistemleri, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Sosyal Ürün Geliştirme gibi ilgili teknolojiler, sayısız yeni değer yaratma fırsatı getirmeyi vaat eden yeniliklerden etkilenmektedir. Bununla birlikte, söz konusu İnternet teknolojileri, Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulayıcılarını kendine özgü benzersiz güvenlik ve gizlilik zorluklarıyla birlikte geleneksel siber güvenlik ve veri gizliliği sorunlarıyla karşı karşıya getirmiştir.

Endüstriyel Nesnelerin İnterneti aydınlık bir geleceğe sahip olabilir. Ancak, siber güvenlik ve veri gizliliği sorunları, Endüstriyel IoT teknolojilerinin uygulayıcıları için büyük engeller oluşturmaktadır. Verimlilik, sürat, işlerlik gibi insan hayatına önemli katkılar sağlamakla birlikte, söz konusu siber güvenlik açıklıkları uygun şekilde değerlendirilmezse, Endüstri 4.0'ın gerçek potansiyeline asla ulaşamayabilir.

2. ENDÜSTRİ 4.0

Endüstri 4.0'daki temel amaç, kendini yönetebilen üretim aşamalarının olduğu akıllı fabrikaların hayata geçirilmesidir [2]. Akıllı fabrikalar olarak ifade edilen kavramı ise birbirleriyle haberleşebilen, sensörler yardımıyla ortamı algılayan gelişmiş yapay zeka ile donatılmış robotların veri analizi yapması ve üretim sürecini yönetmesi olarak ifade etmek mümkündür.

Endüstri 4.0'ın tarihsel gelişim süreci Şekil 1'de özetlenmiştir. Bu kapsamda, Endüstriyel anlamda ilk olarak 18. yüzyılda buhar makineleri ile başlayan ve üretimin artırılması yönünde olan Birinci Sanayi Devrimini (Endüstri 1.0), 20. yüzyılın başında seri üretime geçiş olarak ortaya çıkan ve elektrik enerjisinden faydalanmanın önünü açan İkinci Endüstri Devrimi (Endüstri 2.0) takip etmiştir. Bilgi teknolojilerinin gelişmesi ve üretim aşamalarında kullanılması ise Üçüncü Sanayi Devrimini (Endüstri 3.0) ortaya çıkarmıştır. Bu süreçleri müteakip 21. yüzyılın başında Endüstri 4.0 terimi ortaya atılmıştır [3].



Şekil 1. Endüstri 4.0'ın Tarihsel Gelişimi

Endüstri 4.0, sistemlerin uyumlu ve verimli çalışması amacıyla geleneksel sanayi üretiminin yerine bilgisayarlaşmanın ön planda olduğu, Şekil 2’de betimlenen dokuz bileşen üzerine inşa edilmiş bir yaklaşımdır. Bu bileşenler, Özerk Robotlar, Simülasyon Teknolojileri, Yatay ve Dikey Sistem Entegrasyonu, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti, Siber Güvenlik, Bulut Bilişim, Eklemeli Üretim, Artırılmış Gerçeklik, Büyük Veridir.



Şekil 2. Endüstri 4.0 Bileşenleri

Endüstri 4.0 devrimi nesnelerin interneti, internetin hizmetleri ve siber fiziksel sistemlerden oluşan bir yapıdır. Aynı zamanda bu yapı, akıllı fabrika sisteminin oluşmasında büyük rol oynamaktadır. Bu devrim, üretim ortamında her bir verinin toplanmasına ve iyi bir şekilde izlenip analiz edilmesine olanak sağlayarak daha verimli iş modelleri ortaya çıkartmıştır [4]. Bu kavram doğrultusunda ortaya çıkan bileşenlerden çalışmanın devam eden bölümünde açıklanmıştır. Bu bileşenler Endüstri 4.0'ın ayırt edici unsurları olup, hepsi sanayi devrimi süresince getirdiği faydaların yanı sıra siber güvenlik problemlerine de yol açmıştır.

A. ÖZERK ROBOTLAR

Endüstri 4.0'ın önemli unsurlarından biri güvenlik, esneklik, çok yönlülük ve işbirliğine odaklanarak görevleri akıllıca tamamlayabilen robotların desteklediği otonom üretim yöntemleridir [5]. Üretim süreçlerinde robotların kullanımı yeni olmamakla birlikte robotlar da yaşanan gelişmelere ayak uydurmak zorunda kalmıştır. Robotlar, üretimde kullanılan tüm malzemeler, sistemler, cihazlar vb. unsurlarla etkileşim içinde çalışarak üretimde verimlilik ve artış sağlamaktadır. Geleneksel üretim yöntemleriyle karşılaşılan problemler robotlar sayesinde en aza indirilmektedir [6, 7]. Bu aşamada sensör teknolojilerinin kullanılması da büyük önem taşır.

Robotik teknolojiler endüstri 4.0 ile birlikte hızla gelişmesine karşın bu gelişim siber güvenlik açıklıklarının test edilmesi ve analizi açısından aynı hızla ilerlemediği ve endüstriyel sistemlerde güvenlik kullanılabilirliğin önünde tutulması nedenleriyle yeterli seviyeye beklendiğinden daha yavaş gelmektedir.

B. SİMÜLASYON TEKNOLOJİLERİ

Simülasyon, gerçek dünyada var olan fiziksel sisteme ait verilerin sanal bir ortama taşınmasıyla gerçek sisteme ait özelliklerin izlenmesine altyapı oluşturan bir modelleme tekniğidir [8]. Simülasyon, zaman içinde bir sistemin veya gerçek dünyadaki bir işlemin taklit edilmesi olarak da tanımlanır. Bir sistemin yapay tarihini ve gözlemini kullanarak gerçek sistemin temsilinin operasyonel özellikleri üzerinde çıkarımlar çizer [9].

Dijital üretimin başarılı bir şekilde uygulanması için simülasyon yöntemleri üretimin değişmez bir parçasıdır. Daha önce, üreticiler bir sürecin verimli ve etkili bir şekilde çalışıp çalışmadığını test etmek için deneme yanılma yöntemini kullanmaktaydı [6]. Simülasyon ve modelleme teknikleri sayesinde sanal ortamda test edilen üretim süreci, gerçek dünyada daha verimli ve az hata ile gerçekleşmektedir. Simülasyon modellemesi, maliyet ve geliştirme döngülerini azaltmaya ve ürün kalitesini artırmaya yardımcı olur [9].

C. YATAY VE DİKEY SİSTEM ENTEGRASYONU

Yatay Entegrasyon, üretim ve planlama sürecindeki her bir adımın kendi arasında, ayrıca farklı işletmelerin üretim ve planlama süreçlerindeki adımlar arasında kesintisiz bir akışı ifade etmektedir. Bu entegrasyon ham madde tedarikinden tasarıma, üretime, pazarlamaya, sevkiyata kadar her noktayı kapsamakta, bütünleşik ve uçtan-uca sistemler kurmaktadır.

Dikey Entegrasyon süreçler arasında değil, tüm süreçlerde kullanılan teknolojik altyapıda kesintisiz bir iletişim ve akış sağlamak anlamına gelmektedir. Örneğin üretim alanındaki sensörler, vanalar, motorlar, kumanda panelleri, üretim yönetimi sistemleri, kurumsal kaynak planlama yazılımları, iş zekâsı uygulamaları gibi birimlerin entegrasyonu bu kapsamda ele alınmaktadır [3]. Endüstri 4.0'ın getirdiği bu sistem entegrasyonları ile üretim süreçlerinde yaşanan hatalara çözüm getirmek kolaylaşmakta, verimlilik artmakta ve istenen değişikliklere cevap verilmesi kolaylaşmaktadır.

D. ENDÜSTRİYEL NESNELERİN İNTERNETİ

Nesnelerin interneti (IoT), bir ağ tarafından algılanan veya kontrol edilen nesnelere kapsayan, fiziksel gerçek dünya ve bilgisayar tabanlı sistemler arasındaki entegrasyonu destekleyen ve üretimde gelişmiş üretkenlik sunan bir kavramdır [2]. Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) ise nesnelerin internetinin endüstriyel sektöre uygulanmasına ilişkin genel bir kavram olarak ortaya çıkmıştır. Endüstriyel süreç verimliliğine daha fazla odaklanan Endüstri 4.0'ın genelleştirilmesidir. Beyaz eşyalar, otomobiller, kameralar, endüstriyel cihazlar, aydınlatma sistemleri, klimalar vb. milyarlarca nesnenin birbiri ile etkileşim içinde olması olarak ifade edilen bu kavram Endüstri 4.0 ile yakın bir ilişki içindedir. IoT ile

mevcut endüstriyel kontrol sistemlerinin birlikte kullanılması birçok avantajı beraberinde getirmiştir. Bu avantajlardan bazıları;

- IoT yeteneğine sahip akıllı üretim makineleri ağ üzerinden birbirleri ile otomatik iletişim kurarak üretimi kontrol eder ve operatör katkısını en az düzeye indirir,
- Mekanik ve elektriksel arızalar önceden tahmin edilerek arıza nedeniyle üretimin kesintiye uğrayacağı süreleri azaltılabilir,
- Fabrikanın üretimi için ham madde eksikliği hızla tespit edilerek giderilir,
- Fabrika yöneticileri üretim ve arızalarla ilgili bilgileri dünyanın herhangi bir yerinden gerçek zamanlı olarak alabilir,
- Bu bilgiler dağıtım kanalları ve müşteriler ile paylaşılabilir [10].

Nesnelerin interneti ile tüm cihazlar birbirleri ile etkileşim halinde yoğun bir bilgi alışverişi gerçekleştirmektedir. Bu durumda en değerli varlık olan bilginin korunma ihtiyacı ise kaçınılmazdır.

Günümüzde bilgisayarlar ve cep telefonlarının yanı sıra çevremizdeki birçok cihaz internete bağlı duruma gelmiştir. Yapılan istatistiklere göre; dünya çapında 2020 yılında 8,74 olan IoT cihazlarının sayısının, neredeyse üç katına çıkarak 2030 yılında dünya çapında internete bağlı cihaz sayısının 30 milyar civarı olacağı tahmin edilmektedir [2, 11]. Cisco'ya göre ise 2030'da 500 milyar cihazın internete bağlanması beklenmektedir [12].

E. BULUT BİLİŞİM

Bulut teknolojisi, herhangi bir kurulum gerektirmeyen, web tabanlı uygulamalarla operasyonel kolaylık sağlayan en basit çevrimiçi depolama hizmetidir [13]. Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nün (NIST) tavsiyelerine göre, ideal bir bulutun beş özelliği olmalıdır: isteğe bağlı kendi kendine hizmet, geniş ağ erişimi, ortak kaynak havuzu, çabukluk ve esneklik, ölçülebilir hizmet [9].

Bulut bilişim teknolojisi ile büyük verilerin internet üzerinde depolanması ve kolaylıkla bu verilere erişilmesi mümkün kılınmıştır. Kullanıcılar, istenildiği takdirde uygulama gereksinimlerine bağlı olarak kaynakları kullanır [14]. Böylelikle şirketlerin Endüstri 4.0 üretim süreci boyunca karşılaşacakları veri alışverişi ihtiyacı bulut teknolojisi üzerinden gerçekleştirilmektedir. Fakat bulut sistemlerinde depolanan veriler ve verilerin paylaşılması sistemlerin güvenlik sorunlarına maruz kalmasını artıracığı anlamına da gelmektedir [15].

F. KATKI ÜRETİMİ

Katkı üretimi, endüstride 3 boyutlu baskı yönteminin kullanılması olarak tanımlanabilir. Diğer bir ifadeyle bilgisayar kontrolü altındaki dijital bir veri formundan üç boyutlu bir nesne üretme teknolojisidir. Bu üretim şekliyle plastik, silikon, gıda, cam ve diğer bazı materyaller yazdırabilir ve bunlar hava araçlarında, mücevherat, moda, tıp ve dişçilik, otomotiv yedek parçaları ve diğer endüstrilerde kullanılabilir [16]. Dünyanın önde gelen Google, Motorola ve Apple gibi çeşitli şirketleri, akıllı telefon faaliyetlerini hızlandırmak için 3D baskı faaliyetlerine yatırım yapmaktadır [17].

Geleneksel üretime kıyasla avantajı, ürünlerin tasarım ve geliştirilmesindeki kabiliyetleridir [18]. Ayrıca materyal oluşturulurken malzeme katman katman eklendiğinden daha az israf vardır. Katmanlı üretim olarak da ifade edilen bu teknoloji ile daha kısa sürede, az maliyetle ve kolay bir şekilde ürün tasarımı yapılmaktadır. Katkı üretimi ile müşteriler için maliyet ve zaman azaltılırken aynı zamanda müşterilere veya son kullanıcılara daha fazla değer sunan küçük özelleştirilmiş ürün grupları üretilmektedir [6].

G. ARTTIRILMIŞ GERÇEKLIK

Artırılmış gerçeklik (İngilizce: Augmented reality; AR), gerçek dünyadaki nesnelerin dijital ortamda oluşturulup canlı ve gerçek zamanlı olarak görülebilmesini sağlayan bir teknolojidir. Artırılmış

gerçeklikle insan duyusuna hitap edecek ve hislerini harekete geçirecek girdiler bilgisayar tarafından düzenlenerek zenginleştirilir ve ortaya çıkan yeni gerçeklik kullanıcının algısına sunulur.

AR, Avrupa Birliğine göre endüstri 4.0 gibi kavramların gelişimini kontrol eden esas teknolojilerden biridir [19]. Bu sistemler Endüstri 4.0 için hala bebeklik döneminde olmasına rağmen gelecekte şirketler, çalışanların çalışma prosedürlerini iyileştirmek ve gerçek zamanlı bilgi sağlamak için artırılmış gerçekliği kullanacaktır. Ayrıca üreticiler, bakım prosedürlerini geliştirmek ve uzmanların yerinde bulunma maliyetlerini düşürmek için artırılmış gerçeklik tabanlı sistemlere yönelmektedir [6]. Örnek verilecek olursa işçiler, onarılması gereken gerçek sisteme baktıklarında belirli bir parçanın nasıl değiştirileceği konusunda onarım talimatları alabilirler. Bu bilgiler, artırılmış gerçeklik gözlükleri gibi cihazlar kullanılarak doğrudan çalışanların görüş alanında görüntülenebilir [20]. Bu durum her ne kadar avantaj gibi gözükse de, AR destekli görevlerin hata oranları ve tamamlanma sürelerinin artışı uygulamaların karmaşıklığı ve doğasına bağlı olduğu için uygun görev seçilimi önem arz etmektedir [19].

Endüstriyel sistemlerde AR teknolojilerinin kullanılması cihaz kullanılabilirliğini, maliyet ve üretim gibi faktörleri artırıp kaza riskleri gibi olası kötü durumların ihtimallerini azalması açısından çok verimli bir teknolojidir. Ancak, siber güvenlik açıklıkları çoğunlukla belirsizdir. Bu nedenle de, saldırıya açık bir platform olmasından ötürü risk barındırmaktadır. Örneğin kritik bir cihazın onarımı sırasında teknisyenin kullandığı AR cihaza, tamir edilecek cihazın teknik bilgileri, çizimleri ve arızalı olan parçanın bilgisi yansıtılmaktadır. Olası bir araya girme saldırısı ile istenmeyen üçüncü taraflara bir yönlendirme yapılması sonucu bakım onarım işlemi büyük bir faciaya dönüşebilir.

H. BÜYÜK VERİ

Karmaşık yapıdaki çok fazla verinin işlenmesi ve analiz edilmesi çalışmalarının tümünü büyük veri olarak ifade edebiliriz. Büyük verinin asıl amacı eldeki karmaşık verilerin analiz edilerek değerli bilgilerin ortaya çıkarılmasıdır. Akıllı sensörlerden, akıllı cihazlardan, kayıt dosyalarından, video ve ses cihazlarından gelen büyük, çeşitli, yapılandırılmış veya yapılandırılmamış veriler büyük verilerin kaynağıdır [21]. Alman Hükümeti tarafından dördüncü sanayi devriminin yakıtının büyük veri olacağı öngörülmektedir [22].

Endüstri 4.0'ın getirdiği dijitalleşme süreci ile cihaz sayısında ciddi bir artış meydana gelmiş, bu cihazlar tarafından üretilen verilerin hacimsel boyutları artmış ve bu verilerin güvenli bir şekilde depolanması ve işlenmesi ile ilgili problemler ortaya çıkmıştır [23]. Geleneksel veritabanı teknolojisi, büyük veri toplama işlemini, depolamayı, yönetimi ve analizinin tamamlanmasında güçlük çekmektedir. Yönetim açısından, imalat şirketlerinin büyük miktardaki ürün verileri, operasyonel veriler, değer zinciri verileri ve harici veriler gibi yapılandırılmamış verileri içeren çok çeşitli verileri yönetmesi gerekir [14]. İşletmeler, üretim kalitesi ve hizmetinin optimizasyonu, enerji tüketiminin azaltılması ve üretim sürecindeki verimliliklerin iyileştirilmesi söz konusu olduğunda çok faydalı olabileceğini düşündüğü için, gelen verileri göz ardı edemez [6].

Bankacılık, sanayi, sağlık vb. alanlarda sıklıkla kullanılan bu teknoloji iş hayatında doğru kararlar alınmasına ve risk yönetiminin düzgün bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Ancak bu tür kritik sistemlere ilişkin önemli kararlar verilirken yararlanılan büyük verinin gizliliği, bütünlüğü gibi temel siber güvenlik özelliklerinin korunması ve kullanılmadan önce teyit edilmesi, kararların doğruluğunda oldukça önemlidir.

I. SİBER GÜVENLİK

Endüstri 4.0 ile birlikte gelen dijitalleşme ile daha fazla cihaz birbiriyle birleşik çalışmakta ve sürekli haberleşmektedir. Diğer sanayi devrimlerinden farklı olarak Endüstri 4.0 yeni üretim yöntemleri sunmakla birlikte toplumsal yaşam, ekonomi, eğitim, iletişim, kamu hizmetleri vb. birçok alanda da değişim dalgası başlatmış ve tüm bu alanlarda siber güvenlik sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından siber güvenlik; siber ortamı, kuruluşu ve kullanıcının varlıklarını korumak için kullanılacak araçlar, politikalar, güvenlik kavramları,

güvenlik önlemleri, yönergeler, risk yönetimi yaklaşımları, eylemler, eğitim, en iyi uygulamalar, güvenceler ve teknolojilerin bütünü olarak tanımlanmıştır [24].

Endüstri 4.0 korunması gereken değerli veriler içermektedir. Bu sistemler üzerinde işlenen ve saklanan veriler güvenlik açısından kritik öneme sahiptir ve bu nedenle bilgi güvenliğinin gizlilik boyutu ön plana çıkmaktadır. Gizlilik bileşeninde var olan bu zafiyetler, hasım/rakip tarafa büyük zararlar vermek isteyen ve herhangi bir ahlaki değere bağlı olmayan siber saldırganların odağı haline gelmektedir. Üretim işlemleri bir siber saldırı ile durdurulabilir ve bu durum şirketlerin mali kayıplar yaşamasına neden olmaktadır. Günümüzde, kritik altyapılara ve stratejik endüstriyel sektörlere yönelik siber saldırılar daha sık ve gelişmiş bir şekilde yapılmaktadır [25].

Haziran 2010'da İran'ın nükleer tesislerine yönelik gerçekleştirilen Stuxnet saldırısı da endüstriyel kontrol sistemlerinin, korunuyor olsalar dahi saldırıya uğrayabileceğinin anlaşılması açısından önemli bir yer teşkil etmektedir. Diğer önemli bir örnek ise ABD'de meydana gelen geniş çaplı DDoS (Dağıtık Hizmet Dışı Bırakma) saldırısıdır. Saldırı IoT cihazlar aracılığıyla yapılmış en büyük siber saldırılardan biri olmuştur. 21 Ekim 2016'da Alan Adı Sistemi sağlayıcısı Dyn tarafından işletilen sistemleri hedef alan saldırının, Mirai kötü amaçlı yazılımından etkilenmiş yazıcılar, IP kameralar, ev ağ geçitleri ve bebek izleme monitörleri gibi internete bağlı çok sayıda cihazdan oluşan bir botnet aracılığıyla gerçekleştirildiği ifade edilmiştir [26].

Endüstri 4.0 alanında yaşanan siber güvenlik olayları oldukça fazladır. Sonuç olarak siber savaşa karşı alınması gereken önlemler şirketlere mali açıdan yük getirecek olsa da, siber saldırıların potansiyel olumsuz etkileri göz önüne alındığında saldırı gerçekleşmesi durumunda şirketlerin kayıplarının daha fazla olacağı açıkça görülmektedir [17]. Bu eksikliklerden dolayı çalışmada siber güvenlik ve endüstri 4.0 ana teması odak noktası olarak ele alınmıştır.

Çalışmanın devam eden bölümlerinde, sırasıyla 3. bölümde Endüstri 4.0'ın siber güvenlik bileşenine değinen benzer çalışmalara yer verilmiştir. 4. bölümde çalışmanın odak noktası olan Endüstri 4.0 ve Siber Güvenlik konusu incelenmiştir. 5. bölüm olan sonuç bölümüyle çalışma tamamlanmıştır.

3. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Endüstri 4.0'ın siber güvenlik bileşeni konusunda yapılan benzer önemli çalışmalar incelenmiştir. Marianna ve arkadaşları Endüstri 4.0 kapsamında siber güvenliğin oynadığı rolün incelenmesi hususunda sistematik bir literatür taraması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, siber güvenlik ve Endüstri 4.0, siber güvenlik sorunlarından etkilenen endüstriyel varlıkların incelenmesi, Endüstri 4.0 senaryolarıyla ilgili olarak alınabilecek sistem güvenlik açıklarının, siber tehditlerin, risklerin ve önlemlerin tanımlanması ve siber güvenlik konularını kapsayan kılavuz ilkelerin ve daha yapısal çözümlerin belirlenmesi konuları üzerinde durulmuştur. Ayrıca, analiz edilen makalelerde siber güvenliğin bilgi teknolojileri ile sağlanmaya çalışıldığı, yönetsel bakış açısının bu hususta bir destek sunmadığı görülmüştür [27].

Nikos ve Angelos 2017 yılında yayınladıkları makalede, Endüstri 4.0'da çalışan siber güvenlik uzmanlarının karşılaştıkları siber güvenlik zorluklarına değinmekte olup nesnelerin interneti ve siber güvenlik hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca etkili siber güvenlik için öneriler sunulmuştur [7]. Miklos ve Lajos, akıllı şehirler ve Endüstri 4.0 projelerinin başarılı bir şekilde uygulanmasının gereklilikleri üzerinde bir inceleme yapmış olup teknolojik bileşenlerin yanı sıra bilgi teknolojileri güvenliğine ilişkin yeniliklerin, projelerin planlanması ve uygulanması gerektiğinde bahsedilmiştir [28].

İnternet Güvenliği Merkezi (Internet Security Center-CIS) ile SANS Enstitüsü tarafından yapılan çalışmada, kritik siber güvenlik saldırılarının önlenmesine yönelik yapılabilecek kontroller, Tablo 1'de görüldüğü üzere 20 kategori 3 ana başlık altında belirlenmiştir [29].

Tablo 1. Yapılabilecek kontroller listesi[29]

Basit Kontroller	Temel Kontroller	İdari Kontroller
<ul style="list-style-type: none">• Donanımların envanteri ve kontrolü• Yazılımların envanteri ve kontrolü• Devamlı olarak güvenlik açığı değerlendirilmesi.• Yetkilendirme kontrolü• Bilgisayarların, iş istasyonlarının, mobil cihazların ve sunucuların donanımı ve yazılımı için yapılandırma ayarlarının güvenliğinin kontrolü.• Günlük kayıtların bakımı, izlenmesi ve analizi	<ul style="list-style-type: none">• Web tarayıcı ve e-posta güvenliği• Kötü amaçlı yazılım koruması• Protokollerin, hizmetlerin ve ağ bağlantı noktalarının kontrolü• Veri kurtarma ve yedekleme• Ağ cihazları için güvenli yapılandırma• Çevresel Güvenlik• Veri koruma• Kontrollü ve güvenli erişim.• Kablosuz erişim kontrolü• Kullanıcı hesaplarının izlenmesi ve kontrolü	<ul style="list-style-type: none">• Güvenlik farkındalığı eğitimi uygulanması• Yazılım güvenliği• Etkinlik yönetimi• Sızma (Penetrasyon) testleri

4. ENDÜSTRİ 4.0 VE SİBER GÜVENLİK

Endüstri 4.0'a geçiş ile her gün milyonlarca yeni cihaz birbirine bağlanmakta, siber korsanlar için ise birbirine bağlı cihaz sayısının artışı siber saldırı imkânlarının artması anlamına gelmektedir. Bu sebeple Endüstri 4.0 ve siber güvenlik kavramları ayrı düşünülemez. Siber güvenlik konusunun bu denli önemli olmasının bir diğer nedeni ise, alınan güvenlik tedbirlerine karşı sürekli olarak yeni saldırı vektörlerinin geliştirilmesidir. Geliştirilen güvenlik stratejilerinin devamlı olarak güncellenmesi ve denetlenmesi ise yeni saldırı tehditlerine karşı büyük ölçüde koruma sağlamanın en önemli adımını oluşturmaktadır. Yeni stratejiler geliştirilmediği ve önlemler alınmadığı takdirde kurum/kuruluş ve şirketler için yıkıcı sonuçların ortaya çıkması kaçınılmaz bir gerçektir.

Fikri mülkiyet hırsızlığı başta olmak üzere verilerin değiştirilmesi, çalınması, üretim süreçlerinde aksamalar yaşanması Endüstri 4.0'ı bekleyen önemli tehditler arasında yer almakta olup bu tehditler firmalarda itibar kayıpları yaşama endişesini artırmıştır. Endüstri 4.0 modelini kullanmak isteyen endüstriyel kuruluşlar bu şekilde veri ve itibar kaybı yaşamamak adına bu duruma yol açabilecek faaliyetlere karşı önlem almaları gerekmektedir. Akıllı cihazlarda yaşanacak bilgi güvenliği ihlallerinin önüne geçmek için, üretim aşamasında güvenlik kriterlerinin artırılmasının yanı sıra farkındalık olgusu geliştirilmesi de gerekmektedir.

Son 10 yılda yapılan çalışmalar, Endüstri 4.0 kapsamında siber güvenlik standartları için kontrollerin etkinliğinin değerlendirilmesi adına ortak bir anlayış oluşturulmasına yardımcı olmuştur. Avrupa Ağ ve Bilgi Güvenliği Ajansı (ENISA) ve Avrupa Siber Güvenlik Organizasyonu (ESCO) mevcut standartları, prosedürleri, uygulamaları ve yönergeleri toplamıştır [30]. Endüstriyel iletişim ağları - ağlar ve sistemler için BT güvenliği kapsamında gerçekleştirilen spesifikasyonlar ve standartlardan ilki ISA/EAC (International Organization for Standardization/International Electrotechnical Commission) 62443'dir. 2016 yılında yayınlanmış olan bu standartın hedef sistemi Endüstriyel Otomasyon ve Kontrol sistemlerinin güvenliği, erişilebilirliği, gizliliği, bütünlüğü ve elektronik güvenliğidir. Diğer bir önemli standart ise IACS (International Association of Classification Societies- Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği) Siber Güvenlik Sertifika Çerçevesi (ICCF)'dir. 2018 yılında yayınlanan bu çerçeve (framework) ise kendi kendine uygunluk beyanı, bağımsız uygunluk değerlendirilmesi, ürün siber dayanıklılık sertifikasyonu ve tam-siber dayanıklılık sertifikasyonu şemalarının içerildiği üç farklı değerlendirmeyi önermektedir. Bunlar Uygunluk değerlendirmesi, siber dayanıklılık testi ve geliştirme sürecinin değerlendirilmesidir. Hedef sistem Endüstriyel Otomasyon ve Kontrol Sistemleridir [31].

Web güvenliği konusunda önemli çalışmalar yapan OWASP (Open Web Application Security Project - Açık Web Uygulaması Güvenlik Projesi) tarafından yayınlanan nesnelerin interneti projesi de Endüstri 4.0'da siber güvenlik alanında yapılan önemli çalışmalarındandır. Bu çalışma, üreticilerin, geliştiricilerin ve tüketicilerin Nesnelerin İnterneti ile ilgili güvenlik sorunlarını daha iyi anlamalarına yardımcı olmak ve kullanıcıların, IoT teknolojilerini oluştururken, dağıtırken veya değerlendirirken daha iyi güvenlik kararları almalarını sağlamak ve kullanıcılara yardımcı olmak için tasarlanmıştır. 2018 yılında

yayınlanan raporda IoT cihazlarında yer alan güvenlik zafiyetleri 10 başlık altında kritiklik seviyelerine göre belirtilmiştir. Rapora göre, IoT cihazlardaki en kritik zafiyetin zayıf ve tahmin edilebilir parolalar olduğu sistemlere yetkisiz erişimlerin bu parolaların kolayca tahmin edilmesi ve sistemdeki arka kapılar kullanılarak gerçekleştirildiği ifade edilmiştir. Cihazda ihtiyaç duyulmayan, güvensiz ağ servislerinin çalışıyor olması (özellikle internete açık olması) bilginin gizlilik, bütünlük ve erişilebilirliğini tehlikeye atan önemli zafiyet unsurları arasında yer almaktadır. Yaygın problemler arasında yer alan bir diğer unsur kimlik doğrulama, yetkilendirme, sistem ara yüzündeki giriş ve çıkışların filtrelenmesidir. Cihaz ve sistemlerin güvenli ve zamanında güncellenmemesi, cihaz ve sistemlerin tehlikeye girmesine izin verebilecek kullanımdan kalkmış, güvensiz yazılım bileşenleri ve kütüphanelerinin kullanılması da siber korsanlar tarafından sistemlerin hedef haline gelmesine neden olmaktadır. Kullanıcıların sistemlerde saklanan kişisel bilgileri, gizliliğin sağlanmasında sorun yaratmaktadır. Ekosistem içindeki hassas verinin depolama, transfer veya işleme süreçlerinde erişim kontrolü ve şifreleme eksikliği varsa güvenlik problemleri yaşanabilmektedir. Cihaz yönetimi eksikliğinin beraberinde getirdiği güvenlik problemlerinin yanı sıra, varsayılan ayarlar ve şifrelerle gönderilen cihaz ve sistemler kullanıcılar tarafından güvenlik önlemleri alınmadığı takdirde her zaman risk altındadır. Fiziksel güvenlik üzerinde sıkılaştırma yapmanın zor olması sebebiyle oluşan eksikliklerin sistemler için risk ortamı oluşturduğundan bahsedilen raporda, ayrıca bu durumun en düşük kritiklik seviyesinde olduğu da belirtilmiştir [32].

Endüstri 4.0'ın temel odak noktalarından biri de akıllı fabrikalardır. Akıllı fabrikalara yapılan saldırılar ise üretim, müşteriler, üreticiler ve ürünler üzerinde geniş çaplı zararlara sebep olmaktadır. Endüstri 4.0 için uzun değerli zincirler imalatla en büyük güvenlik kaygısı arasındadır. Endüstri 4.0 ile üretimde artan dijitalleşme benimsenirken, bu zorluğu kabul eden bir güvenlik yaklaşımının olmaması, gizliliğin, bütünlüğün ve üretim verilerinin kullanılabilirliğinin risk altında olduğu anlamına gelir. 4. Sanayi devrimi fırsatlar ve zorluklar anlamına gelmekle birlikte, bu devrim ile sunulan fırsatlardan uzun vadeli faydalar elde etmek amacıyla, imalat şirketleri akıllı fabrikalar için etkin ve verimli bir güvenlik yönetim sistemi belirlemek zorundadır [33]. Sadece dijital alanda değil, aynı zamanda fiziksel dünyada da, saldırıların üretime, müşterilere, üreticilere ve ürünlere yönelik etkileri daha geniş ve potansiyel olarak daha önemli bir şekilde büyüyebilir. Endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanılan cihazların kapalı ağlarda konumlandırılması sebebiyle üreticiler, cihaz düzeyinde bir güvenlik önlemi alma gereği duymamışlardır. Dördüncü sanayi devrimi sürecine girilmesi itibarıyla geleneksel güvenlik önlemleri bu cihazlar için yetersiz kalmıştır. Kritik altyapılarda kullanılan cihazların/sistemlerin güvenliğini artırmak için derinlemesine savunma yöntemleri geliştirilerek, bilgi varlığının üzerine çoklu kontrol ve denetim yöntemleri uygulanmalıdır [34]. Bu tür uygulamalarla saldırganların aşması gereken engellerin sayısı artırılmaktadır.

Endüstri 4.0 ile üretimin, yapay zeka kullanılarak farklı bir boyuta taşınması ve makinelerin akıllı bir şekilde programlanıp birbirleri ile iletişim halinde olması siber güvenlik problemlerine zemin hazırlamıştır. Bununla birlikte yapay zekanın farklı bir kullanım alanı olan, yapay zeka yöntemlerinin kullanılarak siber güvenlik ürünlerinin geliştirilmesi fikri son yıllarda popüleritesini artırmıştır. Birçok firma bu alanda çalışmalar yaparak ticari ürünler geliştirmiştir. Burada yapay zekanın güvenlik için bir risk faktörü mü yoksa bir çözüm yolu mu olduğu fikri doğmaktadır. Yapay zekanın kötü niyetli saldırganlar tarafından bir araç olarak kullanılmasının önüne geçilemeyeceği düşünülürse sistemlerin yapay zeka uygulamaları kullanılarak yapılan saldırılara karşı korunaklı olması gerekmektedir.

Bilginin önemine ve değerine odaklanan Bilgi Teknolojileri (BT) dallarının yanı sıra Endüstri 4.0'da asıl amaç güvenlikten önce üretim ve yönetme süreçleri olmuştur. Genel olarak, Bilgi Teknolojileri sistemlerinin Operasyon Teknolojisi (OT) sistemleriyle entegrasyonu, Endüstri 4.0'ın başarısı için çok önemlidir. Endüstri 4.0'da siber güvenlik ile ilgili karşılaşılan önemli engellerden biri, herhangi bir Endüstri 4.0 kuruluşunun paydaşları arasında entegrasyon ve işbirliği yapılamamasıdır. Endüstri 4.0 ortamları, birçok farklı konu uzmanları ile birçok disipline yayılmış çeşitli teknolojilerden oluşmaktadır. Üretim tarafında Operasyonel Teknoloji ve bu teknolojileri yöneten bir kesim varken, benzer şekilde, Bilgi Teknolojileri tarafında, sunucular ve yazılımlar gibi geleneksel BT ve BT varlıklarıyla çalışan sistem yöneticileri mevcuttur. Bu kapsamda, OT varlıklarını güvence altına alırken bir kontrol mühendisi çoğunlukla "görev güvencesi (mission assurance)" ile, bir BT sistem yöneticisi ise "bilgi

güvencesi” ile ilgilenmektedir. Sonuçta, OT ile BT ortak dilde anlaşamadıkları için her alanda olduğu gibi güvenlik alanında da öncelikler farklılaşmaktadır.

Endüstriyel sistemlerde nihayetinde izole ağ yapısından çıkarak, öncelikle intranet ve müteakiben internete bağlı oldukları için önceden belirlenmiş olan güvenlik standartlarına ve bunlar ile alakalı stratejilere sahip olmaları gerekmektedir. Üretim siber güvenliği, giderek artan dijital cihazlar tarafından yürütülen yeni üretim sistemlerinin ortaya çıkmasından önce bile önemli boşluklara sahipti. Çünkü kritik öneme sahip işlerin gerçekleştirildiği Endüstri 4.0’da öncelikli hedef sistemin her zaman kullanılabilir durumda olmasıdır. Bilgi teknolojilerinde ise sistemin gizliliği ön planda olup, erişiminin bir süreliğine kesilmesi ihmal edilebilir. Bilişim sistemlerinde siber güvenlik ve bilgi güvencesi üç geleneksel merkezi dayanak etrafında dönmektedir: gizlilik, bütünlük ve erişilebilirliktir. BT sistemlerinde bilgi güvenliği unsurları Gizlilik, Bütünlük ve Erişilebilirlik (Kullanılabilirlik) olarak sıralanırken, endüstriyel kontrol sistemlerinde Erişilebilirlik, Bütünlük ve Gizlilik olarak sıralanmaktadır (Şekil 3). Buradan anlaşılacağı üzere, endüstriyel kontrol sistemleri güvenlik önceliğinden ziyade her zaman sistemlerin sürekliliğini esas alan bir yaklaşım benimsemektedir [35]. Endüstriyel kontrol sistemlerini kullanan şirketler ise birkaç saniyelik dahi olsa erişilebilirliği kaybetmeyi göze alamazlar. Gizlilik unsurunun ihmal edildiği bu tür sistemlerde bilgi varlıklarının kaybı şirketler için sorunlar yaratabilmektedir. Bu nedenle, geleneksel siber güvenlik tedbirlerinin, mevcut durumlarıyla endüstriyel kontrol sistemlerine aktarılması mümkün olmayacak, kullanıldıkları endüstri sektörüne göre özelleştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Örneğin, bir siber saldırı meydana geldiğinde, etkilenen klasik kurumsal bilişim teknoloji sistemleri geçici olarak devre dışı bırakılabilir ve saldırı sonrası sistemler tekrar aktif edilebilmektedir. Ancak bu yaklaşım, erişilebilirliğin temel bir gereklilik olduğu endüstriyel kontrol sistemlerinde uygulanamaz [36].



Şekil 3. Endüstri 4.0'da Bilgi Güvenliği Unsurları

Gelişmiş dijital üretimin siber-fiziksel güvenliği için gereklilikler, geleneksel BT sistemlerinin güvenliğinden çeşitli yönleriyle farklılık gösterir. BT siber güvenliği, merkezi sunuculara odaklanırken, çevre birimlerine önem vermeyen bir katmanlı savunmaya dayalı güvenlik mimarisini benimser. Ancak, Nesnelerin İnternet'inin benimsenmesi ve yaygınlaşmasıyla bu teori geçerliliğini kaybetmeye başlamıştır [37]. Özellikle dijital imalatta, uzak imalat ekipmanını merkezi tasarım bilgisayarı kadar korumamız gerekir. Artan tehditler, endüstriyel kontrol sistemlerinin kötü niyetli siber izinsiz girişlerin hedefi haline geldiğini göstermektedir [38].

Endüstriyel üretim sistemlerinin en önemli hedefi, üretkenlik kaybı ve gelir kaybıyla sonuçlanan üretimde gereksiz gecikmeleri önlemek için kullanılabilirlik bileşenidir. Bu bileşen, siber fiziksel sistemlerin üretim sistemlerine yönelik hizmet reddi saldırılarına karşı korumayı içermektedir. Diğer bir temel hedef, fiziksel hasara veya insanlara zarar verebilecek herhangi bir sistem arızasını önlemektir. Bu amaca ulaşmak için IIoT sistemlerinin bütünlüğü korunmalıdır. Bu olgu, fark edilmeyen ürün kalitesi kaybına ve kaynakların artan kullanımına yol açabilecek sabotajlara karşı korumayı içermektedir. IoT tabanlı üretim sistemlerinin ve akıllı ürünlerin güçlü bağlanabilirliği, endüstriyel casusluğa ve

müşterilerin ve çalışanların gizliliğine karşı yeni güvenlik mekanizmaları geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, üretim sistemlerinin kod, veri ve konfigürasyonunun yanı sıra ürün taslaklarının gizliliği de önemli bir güvenlik gereksinimidir [39]. Çeşitli siber saldırılara maruz kalınan Endüstri 4.0 ortamında siber güvenlik politikasının oluşturulması için gerekli kavramların özet karşılaştırması Tablo 2'de verilmiştir [40].

Tablo 2. Siber saldırıların uygulanma şekillerine göre sınıflandırılması [40]

	Fiziksel- Trafik analizi	Fiziksel- Protokol Analizi	Fiziksel-Frekans Bozma	Siber-Bulanıklarlaştırma	Siber-Komut Enjekte Etmek	Siber-Durum Verisi Enjeksiyonu	Siber-Sürtücü Çöktürme	Fiziksel-Haberleşme Süresi	Siber- Geçici kod Enjeksiyonu	Siber- Hasım Komut Desteği	Siber-Yanlış Komut Yorumlama	Siber- Sistem Bileşen Uyarılarını	Siber-İşletim Sistemi Haberleşme	Siber- Fiziksel Bellek Okuma	Siber-Protokol Analizi	Fiziksel-Bellek Okuma (Silimekte)	Siber-Veri Yolu Haberleşme	Siber-Zararlı Kod Yoketme	Siber-Bağlı Cihazları Enfekte
Aldatmak					X	X											X		X
Hile Karıştırmak									X							X		X	X
İnkâr Etmek					X	X											X		
Bilgi İfşalamak	X	X		X						X				X	X		X		
Hizmet Reddi			X				X	X	X	X	X	X	X				X		
Ayrıcalık									X							X	X	X	X
Güvenilirlik									X	X	X	X				X	X	X	
Mahremiyet			X		X	X			X	X	X	X				X	X	X	
Sürdürülebilirlik												X				X		X	X
Kullanılabilirlik			X				X	X	X	X	X	X	X			X		X	
Bütünlük									X		X								
Gizlilik	X		X											X	X				
Kimlik Doğrulama									X	X						X	X		
Yetkilendirme									X	X						X	X		X
İnkâr Edilemezlik					X	X						X					X		
Siber-Fiziksel Sistemde Fiziksel Reaksiyon																			
Siber-Fiziksel Sistemde Çevresel Çarpışmalar					X	X													
Zamanlama	X						X												
Azaltılmış Yaşam Süresi									X	X	X								
Onarılamaz Hasar					X	X			X	X	X								
Hasar Çevreşeme									X	X	X								
Çevre Hasarı					X	X						X							

Güvenlikle ilgili olarak ele alınması gereken diğer konular aşağıdaki gibi sıralanabilir [41];

- *Saldırı etkisi:* Endüstriyel sistemlerin kritik yapısı nedeniyle başarılı siber saldırıların etkisi normalden çok daha yüksektir. Bu durum, endüstriyel sistemleri saldırganlar için çok popüler hedefler haline getirmektedir.

- **Güvenli iletişim:** Sistemde, IIoT cihazları arasında güvenli iletişim kanallarının sağlanması esastır. Sınırlı esnekliklerinin yanı sıra, cihazların çeşitliliğini de göz önünde bulundurarak, yazılım özelleştirme açısından, iletişim için güçlü şifreleme yaklaşımları uygulanmalıdır.
- **Kimlik Doğrulama / Yetkilendirme:** Dikkatle ele alınması gereken bir diğer önemli konu, kullanılan kimlik doğrulama ve yetkilendirme mekanizmalarıdır. İnsan müdahalesi olmadan çalışan IIoT cihazları arasında gerekli güven katmanını sağlamak için makineden makineye güçlü kimlik doğrulama teknikleri kullanılmalıdır.
- **Hesap Verebilirlik:** Güvenlikle ilgili olaylardan kaynaklanabilecek olası zararların büyüklüğü, sorunun kaynağını tespit edebilmenin çok önemli olduğunu göstermektedir. Kullanıcılar ve sistemin düğümleri arasındaki etkileşimlerin kaydedilmesi önem arz etmektedir.
- **Güven Yönetimi:** Birden fazla IIoT cihazının, yedekli çalışma amacıyla aynı hizmeti vermesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Tüm cihazların aynı şekilde çalışmadığı heterojen bir ortamda, işbirliği yapmak için hangi cihazın aktif olarak çalışacağını seçebilmek çok önemlidir.

IIoT cihazlarının, kontrol edilmesi ve hangi cihazlarla irtibat halinde olacağını sağlanması doğru bir güven yönetimi ile mümkün olacaktır. IoT cihazları batarya ile çalışması sebebiyle sınırlı hesaplama gücüne, işlemeye ve depolama kapasitesine sahiptirler. Bu sebeple, kablolu sistemlerde kullanılan güvenlik algoritmalarının doğrudan kullanılmasına uygun değildir [42, 43]. Ayrıca, IoT sistemlerinde sınırlı kaynakların olması sebebiyle 6LoWPAN, MQTT, CoAP gibi düşük güç tüketimine yönelik çok çeşitli protokoller ortaya çıkmıştır [44]. Yeni geliştirilen protokoller ile beraber IoT cihazları mevcut protokollerin güvenlik açıklıkları ile birlikte yeni açıklıklara karşıda hassas hale gelmiştir. Bu sonuç ise IoT güvenliğinde standart güvenlik protokolleri geliştirilmesini zorlaştırmış ve IoT cihazlarını saldırganların gözdesi haline getirerek, saldırılara daha açık hale getirmektedir.

Yukarıda belirtilen Endüstri 4.0' da karşılaşılan zorluklar dikkate alınarak, bu kapsamda ilgili kurum/organizasyonlar tarafından yapılması gereken öneriler Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3: Endüstri 4.0'ın Siber Güvenlik Bileşeninde Karşılaşılan Zorluklar ve Alınması Gereken Önlemler

KATE- GORİ	ZORLUKLAR	ÖNERİLER	İLGİLİ KURUM /ORGANİZASYON
KİŞİLER	1. Bilgi güvenliği farkındalığının eksikliği	1. Farkındalığın artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmalı	1. Akademi ve Ar-Ge Organları
	2. Endüstri 4.0'ın farklı alanlarda (Ağ Güvenliği, OT/IT Güvenliği, vb.) kapsamlı uzmanlık gerektirmesi ve kalifiye personel eksikliği	2. Şirketler ve kurumlar siber güvenlik eğitimlerine yatırım yapmalı	2. Düzenleyiciler
	3. Endüstri 4.0 çözümlerinin güvenli kullanımı için gereken yeni yetkinliklerden yoksun olunması	3. Okullar ve üniversitelerde ilgili programlar ve kurslar açılmalı	3. Endüstri 4.0 Güvenlik Uzmanları
	4. Endüstri 4.0'da siber güvenlik konusunda sınırlı eğitimlerin olması ve bu eğitimlerin pahalılığı		
	1. Organizasyonların politika eksikliği ve siber güvenliğe yatırım yapılmaması	1. Şirketlerin güvenli bir Endüstri 4.0 ekosistemine geçişini desteklemek için finansman sağlanmalı	1. Endüstri 4.0 Operatörleri (Çözüm Sağlayıcılar ve İmalatçılar
	2. Çalışanların güvenlikle ilgili rollerinin ve sorumluluklarının açıkça tanımlanmaması	2. İnovasyon ve AR-GE faaliyetleri teşvik edilmeli	2. Düzenleyiciler
	3. Siber güvenliğe sadece maliyet gözüyle bakılması	3. Endüstri 4.0 siber güvenliği için istikrarlı bir yasal ortam sağlanmalı	

SÜREÇLER	<ol style="list-style-type: none"> Endüstri 4.0'ın yaşam döngüsünde çok sayıda paydaş olması sebebi ile bir güvenlik olayı sonrasında sorumluluğun paylaşılmasının zorluğu Endüstri 4.0 cihaz üreticilerinin ürünlerde gerekli güvenlik işlevlerini yerine getirmemesi Endüstri 4.0 çözümlerinin uzun ömür ve uzun vadeli bakımları ile ilgili finansal taahhütlerin ağırlığı Endüstri 4.0 güvenlik standartları ve kılavuzlarında önerilen önerilerin uygulanması için sistematik tariflerin eksikliği 	<ol style="list-style-type: none"> Endüstri 4.0 operatörlerinin sorumluluklarının yasal yükümlülüklerinin açık bir şekilde belirtilmesi Siber sigorta poliçelerinin potansiyelinin değerlendirilmesi Endüstri 4.0 siber güvenlik gereksinimlerinin satın alma sırasındaki sözleşmelerde belirtilmesi Endüstri 4.0 güvenliği için mevcut standartlar üzerinde analizler yapılması Teknik standartların geliştirilmesinde fikir birliği sağlamak için Endüstri 4.0 aktörleri arasında diyalogların geliştirilmesi 	<ol style="list-style-type: none"> Endüstri 4.0 Operatörleri (Çözüm Sağlayıcılar ve İmalatçılar) Düzenleyiciler
	<ol style="list-style-type: none"> Farklı ulusal yasama çerçevelerine tabi tedarik zinciri aktörlerinin sayıca fazlalığı Tedarik zincirinin herhangi bir noktasında bir güvenlik ihlalinin nihai ürünün güvenliği üzerinde olumsuz etkisi 	<ol style="list-style-type: none"> Tedarik zinciri risklerini tanımlamak için periyodik aralıklarla risk değerlendirmesi yapılmalı Her tedarikçiye duyulan güven miktarı tanımlanarak devam eden ve ortaya çıkan tehdit ortamı izlenmeli Ürünleri, tanınmış güvenlik standartlarına ve sertifikasyon programlarına uyan tedarikçiler ile çalışılmalı 	<ol style="list-style-type: none"> Düzenleyiciler Standardizasyon Topluluğu
TEKNOLOJİLER	<ol style="list-style-type: none"> Farklı üreticilerin cihazlarının ve platformlarının kullanılması durumunda, birlikte çalışabilirliğin sağlanması problemi Platformlar, cihazlar ve protokoller arasında ortak bir güvenlik temeli sağlamanın zorluğu Tüm unsurlar üzerinde birleştirici ortak bir siber güvenlik katmanının sağlanmasının getirdiği problem 	<ol style="list-style-type: none"> Endüstri 4.0 bileşenleri için ortak bir protokol kullanımının teşvik edilmesi İşbirliği ortakları ve tedarik zincirindeki şirketler arasında, üç siber güvenlik yönünü (insanlar, süreçler ve teknolojiler) de kapsayacak şekilde belirli güvenlik düzeylerinin belirlenmesi Birlikte çalışabilirliğin testi için laboratuvar ve testbed ortamlarının oluşturulması 	<ol style="list-style-type: none"> Düzenleyiciler Standardizasyon Topluluğu Endüstri 4.0 Operatörleri (Çözüm Sağlayıcılar ve İmalatçılar) Akademi ve Ar-Ge Organları Endüstri 4.0 Güvenlik Uzmanları

5. SONUC

Endüstri 4.0 hala gelişmekte olan bir kavram olmasına rağmen, tüm dünyada ve özellikle Avrupa ülkelerinde varlığı oldukça hissedilmektedir. Yaşanan gelişmelerde bu devrimin durdurulamayacağını göstermektedir. Siber dünya ile olan etkileşim/bağlantı, bilişim teknoloji cihaz ve arayüz sayıları ne kadar fazlaysa, siber saldırılar için potansiyel saldırı yüzeyi o kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle, bu riskleri teknik ve örgütsel düzeyde en aza indirmek için mutlaka gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu tedbirlerden en önemlileri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Çalışanların ve yöneticilerin, siber güvenlik farkındalığının artırılmasına yönelik eğitim verilmesi,
- Güvenlik duvarı, sanal özel ağ kullanımı, saldırı önleme/tespit sistemleri, antivirüs yazılımları gibi teknik çözümlerin kullanılması,
- Bilişim teknoloji cihazları ve kullanıcılarının tüm aktivitelerinin kayıt edilmesi ve bunların sürekli olarak izlenmesi,

- Siber saldırıları üzerine çekerek, asıl sistemleri saldırganlardan uzak tutmak için “bal küpleri” kullanılması.
- Politika (Siber güvenlik uygulamalarının hayata geçirilmesi amacıyla, farklı kullanım durumları için çeşitli yönergeler hazırlanmalı ve uygulanmalıdır.)

Endüstri 4.0 üretim sürecinin yukarıda belirtilen 9 bileşen üzerinde uyumlu bir şekilde çalışması ve üreticiye fayda sağlaması için siber güvenlik esas alınmalıdır. Siber güvenlik iş sürekliliğinin devamı için koruyucu bir mekanizma olarak düşünülmelidir. Endüstri 4.0 sürecine geçiş öncesinde ilgili siber güvenlik tehditlerinin tam olarak tespit edilip farkında olunması ve güvenlik çözümlerinin tüm bu süreçte geçiş öncesinde ele alınması gerekmektedir.

Düzenli bakım ve sürekli yenilenen bir güvenlik planı uygulanarak tüm sistemler kontrol altında tutulmalıdır.

Siber güvenlik, Endüstri 4.0’ın kurumlar tarafından benimsenmesinin önündeki en büyük engellerden biri olmuştur. Endüstri 4.0’da siber güvenliği tek bir boyutta düşünmemek gerekir. Her sistemin risk değerlendirmesi yapılarak, sistemlere özel derinlemesine bir güvenlik yaklaşımı ortaya koyulmalıdır. Yalıtılmış ortamlarda başarılı olması amaçlanarak tasarlanan endüstriyel cihazlar, Endüstri 4.0 ile başlangıçta tasarlandıkları amaçlarının sınırlarının dışına çıkabilir ve daha önce var olmayan yeni tehditlerin ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu sıkıntılı durumun aşılması adına, doğru bir varlık ve risk yönetimi bu yeni tehditlere karşı koruma sağlamak için bir basamak olacaktır.

Hayata geçirilecek siber güvenlik yazılım ve donanımlarının, mutlaka gerçekçi bir test yatağında önceden kontrol edilmesi gerekmektedir. Aynı süreç, gömülü yazılım ve güvenlik güncelleştirmeleri içinde uygulanması gerçek sistemler üzerinde yaşanacak aksaklıkların önüne geçilmesini sağlayacaktır. Kamu veya özel sektörlere ait kritik altyapılara gerçekleştirilen siber saldırıların sonuçlanması veya girişim aşamasında kalması durumlarında dahi elde edilen tecrübeler mutlaka ortak bir platformda belirli gizlilik ilkelerine uyarak paylaşılması gerekmektedir.

İmalat ve endüstrideki siber güvenlik bilinci ticari sistemler ve özellikle savunma sanayii kadar gelişmemiştir. Ancak endüstriyel casusluk ve bilgi ifşası başta olmak üzere gerçekleştirilecek siber saldırılar sonucunda çok ciddi maddi kayıplarla karşılaşılabilir. Bu nedenle, Endüstri 4.0 sürecinin getirdiği verimlilik, otomasyon, sürat, işlerlik gibi potansiyelleri etkin kullanabilmek için siber güvenlik boyutuna yeterli önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] H.S. Kang, , J. Y. Lee, S. Choi, H. Kim, J. H. Park, J. Y. Son & S. Do Noh, "Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions" *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology* vol.3, no.1, pp. 111-128, 2016.

[2] A. Soylu, “Endüstri 4.0 ve girişimcilikte yeni yaklaşımlar.” *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c.32, ss.43-57, 2018.

[3] A. Yıldız, “Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar.” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.22, s.2, s.s.546-556, 2018.

[4] M. ÖZKAN, A. L. Arzu ve S. Yavuz, “Uluslararası politik ekonomi açısından dördüncü sanayi-endüstri devrimi’nin etkileri ve Türkiye.” *International Journal of Political Science and Urban Studies*, c.6, s.2, ss.1-30, 2018.

[5] M. A. K. Bahrin, M. F. Othman, N. H. N. Azli, & M. F. Talib, “Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic.” *Jurnal Teknologi*, vol.78, pp.6-13, 2016.

- [6] A. Gilchrist, "The Technical and Business Innovators of the Industrial Internet," *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Berkeley, CA, Apress, 2016 pp. 37, 58.
- [7] G. Li, W. Zhu, H. Dong & Y. Ke, "Stiffness-oriented performance indices defined on two-dimensional manifold for 6-DOF industrial robot," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol.68, pp.1-9, 2021.
- [8] S. ÇELEN, "Sanayi 4.0 ve simülasyon," *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c.1, s.1, ss.9-26, 2017.
- [9] V. Alcácer, C. Rodrigues, H. Carvalho, & V. Cruz-Machado, "Tracking the Maturity of Industry 4.0: The Perspective of a Real Scenario," *Research Square*, Preprint, 2021.
- [10] L. Da Xu, W. He, & S. Li, "Internet of things in industries: A survey," *IEEE Transactions on industrial informatics*, vol.10, no.4, pp.2233-2243, 2014.
- [11] Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025. (2021, 13 March). [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>
- [12] Internet of Things. (2021, 13 March). [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/se/internet-of-things/at-a-glance-c45-731471.pdf?dtid=ossdc000283>.
- [13] E. Oztemel, S. Gursev, "Literature review of Industry 4.0 and related technologies," *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127-182, 2020
- [14] K. Zhou, T. Liu, L. Zhou, "Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges," *12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD)*, August 2015, pp. 2147-2152.
- [15] N. Benias, & A. P. Markopoulos, "A review on the readiness level and cyber-security challenges in Industry 4.0," *South Eastern European Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM)*, September 2017, pp.1-5.
- [16] İ. Akben, "3 Boyutlu Yazıcılar ve Tedarik Zincirine Etkiler," *International Journal of Academic Value Studies (Javstudies)*, c.3, s.10, ss.20-35, 2017.
- [17] G. Erboz, "How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0," *How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0 at Szent Istvan University, Gödöllő*, November 2017, pp.1-9.
- [18] D. J. Horst, C. A. Duvoisin, & R. de Almeida Vieira, "Additive manufacturing at Industry 4.0: a review," *International journal of engineering and technical research*, vol.8, no.8, pp.3-8, 2018.
- [19] T. Masood, J. Egger, J. "Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol.58, pp.181-195, 2019.
- [20] M. Rüßmann, M. Lorenz, P. Gerbert, M. Waldner, J. Justus, P. Engel & M. Harnisch, "Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries," *Boston Consulting Group*, vol.9, no.1, pp.54-89, 2015.
- [21] İ. İlhan, M. Karaköse, "Requirement Analysis for Cybersecurity Solutions in Industry 4.0 Platforms," *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, September 2019, pp. 1-7.

- [22] S. Yin, O. Kaynak, "Big data for modern industry: challenges and trends [point of view]," *Proceedings of the IEEE*, vol.103, no.2, pp.143-146, 2015.
- [23] Ö. Tuttokmağ, A. Kaygusuz, A. "Smart Grids and Industry 4.0," *International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)* September 2018, pp.1-6.
- [24] Definition of cybersecurity, (2021, 13 March), [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com17/Pages/cybersecurity.aspx>
- [25] A. Corallo, M. Lazoi, M. Lezzi, "Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts," *Computers in industry*, vol.114, pp.1-15, 2020.
- [26] S. Ozawa, T. Ban, N. Hashimoto, J. Nakazato, J. Shimamura, J. "A study of IoT malware activities using association rule learning for darknet sensor data," *International Journal of Information Security*, vol.19, no.1, pp.83-92, 2020.
- [27] M. Lezzi, M. Lazoi, A. Corallo, A. "Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework," *Computers in Industry*, vol.103, pp.97-110, 2018.
- [28] M. Kiss, L. Muha, L. "The cybersecurity capability aspects of smart government and industry 4.0 programmes," *Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS*, vol.16, no.3-A, pp.313-319, 2018.
- [29] Addressing the SANS TOP 20 critical security controls for effective cyber defense. (2021, 13 March). *A trend Micro Whitepaper*, [Online]. Available: https://resources.trendmicro.com/rs/945-CXD-062/images/sans_top20_csc_trendmicro2016.pdf
- [30] A. Corallo, M. Lazoi, M. Lezzi, M. "Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts," *Computers in industry*, 114, 103165, 2020.
- [32] OWASP Internet of Things. (2021, 13 March). [Online]. Available: https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project
- [33] E. Casalicchio, G. Gualandi, G. "ASiMOV: A self-protecting control application for the smart factory," *Future Generation Computer Systems*, vol.115, pp.213-235, 2021.
- [34] M. T. Rahman, M. S. Rahman, H. Wang, S. Tajik, W. Khalil, F.Farahmandi & M. Tehranipoor, "Defense-in-depth: A recipe for logic locking to prevail," *Integration*, vol.72, pp.39-57, 2020
- [35] S. GÖNEN, "PLC ile Kontrol Edilen Mikro Tip Akıllı Şebeke Sistemlerde Bilgi Güvenliğinin Sağlanması," Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2018.
- [36] A. R. Sadeghi, C. Wachsmann, M. Waidner, "Security and privacy challenges in industrial internet of things," *52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)*, June 2015, pp. 1-6.
- [37] M. Indri, A. Grau, M. Ruderman, "Guest editorial special section on recent trends and developments in industry 4.0 motivated robotic solutions," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.14, no.4, pp.1677-1680, 2018.
- [38] G. Culot, F. Fattori, M. Podrecca, M. Sartor, "Addressing industry 4.0 cybersecurity challenges," *IEEE Engineering Management Review*, vol.47, no.3, pp.79-86, 2019.
- [39] H. Mouratidis, V. Diamantopoulou, "A security analysis method for industrial Internet of Things," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.14, no.9, pp.4093-4100, 2018.



- [40] A. A. Süzen, "A Risk-Assessment of Cyber Attacks and Defense Strategies in Industry 4.0 Ecosystem," *International Journal of Computer Network & Information Security*, vol.12, no.1, pp.1-12, 2020.
- [41] A. Hassanzadeh, S. Modi, S. Mulchandani, "Towards effective security control assignment in the Industrial Internet of Things," *IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, December 2015, pp.795-800.
- [42] Z. S. M. Attarbashi, Y. Fazea, "Investigation on 6LoWPAN Data Security for Internet of Things," *2nd International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS)*, October 2020, pp. 1-5.
- [43] S. Chakraborty, A. Majumder, A. "6LoWPAN Security: Classification, Analysis and Open Research Issues," *International Journal of Computational Intelligence & IoT*, vol.1, no.1, pp.8-12, 2019.
- [44] S. Sharma, S. Kumar, "A Review on IoT: Protocols, Architecture, Technologies, Application and Research Challenges," *10th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, January 2020, pp. 559-564.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

Günümüz Teknolojileri Çerçevesinde Çimento Dünyasındaki Gelişmelerin Araştırılması

 Nusret BOZKURT^{a,*},  Nursima SAYIN^b

^a İnşaat Bölümü, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, TÜRKİYE

^b İnşaat Bölümü, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nursimasayin1996@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.891254

ÖZ

Bu çalışmada insanoğlunun her geçen gün artarak ilerleyen hayat standartlarıyla beraber artan altyapı, üstyapı ve konut gibi ihtiyaçlarına cevap veren başlıca yapı malzemesi olan çimento dünyası ve çimento üretimindeki gelişmeler detaylı olarak incelenmiştir. Çimentonun keşfedilmesine kadar geçen süreçte insanoğlu taş, kil ve ağaç parçalarını çeşitli bağlayıcılarla bağlayarak barınma ihtiyacını karşılamaya çalışmıştır. Ardından keşfedilen çimentoyla beraber konutlaşmalarda artış meydana gelmiş ve hem diğer dünya ülkelerinde hem de ülkemizde çimento üretimine başlanmıştır. Çimento üretimi, beraberinde çimento teknolojilerinin gelişmesine olanak sağlamıştır. Ancak artan çimento üretimiyle beraber çevreye verilen zararlar da artmıştır. Bu zararların önlenmesi için de çeşitli teknolojiler geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam edilmektedir. Gelişen teknolojilerin başında atık ısısı geri kazanım sistemlerinin kurulması, karbon dioksit emisyonunu azaltacak sistemlerin ve alternatif yakıtların kullanılması ve alternatif hammaddelerin çimento ile ikame edilmesi gelmektedir. Bunların yanında yenilenebilir enerji kaynaklarını da kullanarak hem çevreci hem de sürdürülebilir üretim sağlanmaya çalışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Çimento Üretimi, Sürdürülebilirlik, Yenilenebilir Enerji.

The Investigation of The Developments in The Cement World on The Frame of Today's Technologies

ABSTRACT

In this study, the developments in the cement-world and cement production, which are the main building materials that meet the increasing needs of human beings such as infrastructure, superstructure and housing with increasing life standards, have been examined in detail. During the process until the discovery of cement, human beings tried to meet the need for shelter by connecting stone, clay and wood pieces with various binders. Afterwards, with the discovered cement, an increase in housing has occurred and cement production has started both in other countries of the world and in our country. Cement production has also enabled the development of cement technologies along with it. However, the damage to the environment has also increased with increasing on the cement production. Various technologies have been developed and continue to be developed to prevent these damages. Establishment of waste heat recovery systems, the use of systems and alternative fuels to reduce carbon dioxide emissions, and the replacement of alternative raw materials with cement are among the leading technologies. In addition to these, efforts are made to provide both environmentally friendly and sustainable production by using renewable energy resources.

Keywords: Cement, Cement Production, Sustainability, Renewable Energy.

I. GİRİŞ

İnsanoğlunun var oluşundan itibaren günümüze kadar duyduğu en temel ihtiyaçlardan birisi barınma ihtiyacı olmuştur. İlk buzul çağlarında barınma ihtiyacı mağaralarla karşılanırken buzulların erimesiyle insanoğlu mağaradan çıkarak yeni yerler keşfetmeye başlamıştır. Bu da insanoğlunu göçebe hayata yönlendirmiştir [1].



Şekil 1. Ağaç yaprakları, dallar ve çamurla yapılmış bir barınak [2].

Göçebe hayatta sürekli değişen coğrafyayla beraber iklim koşulları ve yer şekilleri de değişim göstermiştir. Bu da insanoğlunu mevcut koşullarına uygun, yeni ve yaşanılabilir konutlar yapmaya zorlamıştır. Bu yönelim yeni malzemelerin bulunmasına da hız kazandırmıştır. Ormanların bol olduğu yerlerde bağlayıcı ve yalıtım malzemesi olarak çamur kullanılarak dallardan ve odunlardan kulübeler yapılmaya başlanmıştır. Şekil 1’de insanların ağaç yaprakları ve dallarını çamur ile bağlayarak inşa ettikleri ilk barınaklardan biri gösterilmiştir. Ayrıca her coğrafyada da ormanların yoğunluğundan bahsedilememekle birlikte, bu kadar çok yapının inşa edilmesiyle artan ahşap kullanımı ormanların azalmasına sebep olmuştur. Bu yüzden insanoğlu yeniden doğaya yani taş ve sağlam kayalara yönelmiştir [1]. Sağlam kayaları yontarak ya da taş ve bağlayıcı olarak da çamur kullanarak birçok yapı inşa edilmiştir. Hatta inançlarına göre birçok tapınak inşa etmiş ve tanrılarına görkemli ve ölümsüz eserler armağan etmişlerdir. Şekil 2 ve 3’te gösterilen Mısır piramitleri, Roma ve Yunan tapınakları bu duruma verilebilecek örneklerden sadece birkaçıdır [1,3].



Şekil 2. Mısır Piramitleri [4].

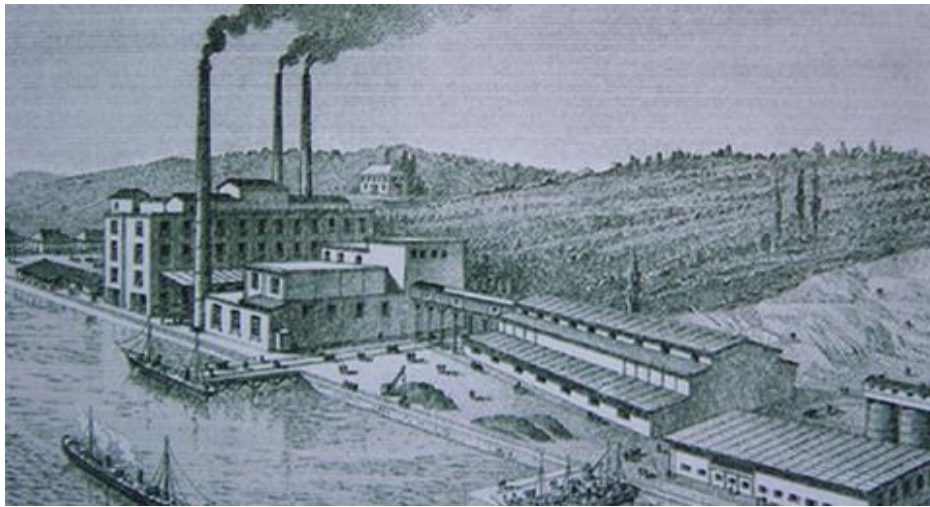


Şekil 3. Antik Yunan Tapınağı [5].

Ormanların çok olmadığı coğrafyalarda bazen taş bile bulmak pek mümkün olmayınca daha farklı yapı malzemelerine ihtiyaç duyulmuştur. Suyla birleşince yarı akışkan kıvamda olan ve sertleştiğinde şeklini koruyabilen killi topraklar da yeni birer yapı malzemesi olmuştur [1]. Ayrıca yapılan araştırmalarda killi

topraklardan inşa edilen yapılarda kille beraber saman saplarının da kullanıldığı görülmüştür. Saman saplarının kullanımı, daha o zamanlarda bile kilde oluşabilecek çatlakları önlemeye yönelik olduğunu gözler önüne sermektedir. Çatalhöyük'teki evlerin duvarları ve Babil'deki duvar elemanları bu şekilde killi topraklarla inşa edilmiştir [6]. Pişmiş kilin kullanılmaya başlanması ise tamamen bir tesadüf üzeredir ki yine bir doğa olayı sonucunda ortaya çıkmıştır. M.Ö. 3000'li yıllarda Fırat Nehri kıyısında yaşayan insanoğlu bir yıldırım düşmesi sonucu çıkan yangında pişen kilin daha sert ve daha dayanıklı olduğunu görmüştür. Böylece yeni, daha sert ve daha sağlam bir bağlayıcı elde etmek için kil basit fırınlarda pişirilerek kullanılmaya başlanmıştır [1,3]. Bağlayıcı olarak kullanılan kireç ve alçı halihazırda iyi birer malzeme olarak görünse de, suya karşı dirençsiz olmaları hem dayanıklılıklarını düşürmüş hem de kullanım alanlarını da kısıtlamıştır [1]. Bu nedenle sürekli bir arayış içinde olan insanoğlu yeni bir yapı malzemesi aramaya da devam etmiştir. Aynı zamanda kirece, volkanik tüfler, pişmiş tuğla ve kiremit tozları gibi puzolan görevi görebilecek malzemeleri ekleyerek hem suya karşı direncin hem de dayanımın arttırılmasına çalışılmıştır [6].

İnsanoğlunun arayışları hız kesmeden devam ederken, 1824 yılında bir duvarcı ustası olan Joseph Aspdin tarafından insanlığın barınma ihtiyacının bugününe ve geleceğine yön verecek yeni bir malzeme keşfedilmiştir [6]. Bu duvarcı ustası tamamını doğal killi kalkerden oluşturmak yerine 3 birim kalker 1 birim de kil kullanarak ve bu karışımı yüksek sıcaklıktaki fırınlarda pişirdikten sonra öğüterek dayanım ve dayanıklılığı oldukça yüksek gri renkli bir bağlayıcı keşfetmiştir [1]. Yeni keşfedilen bağlayıcının rengi Portland yarımadasındaki doğal killi kalkere benzediği için 'Portland Çimentosu' olarak adlandırılmış ve 21.10.1824 tarihinde 5022 nolu patenti alınmıştır [3,7]. Aynı zamanda ilk çimento fabrikası da 1848 yılında İngiltere'de kurulmuştur. Ancak İngiltere böylesine büyük bir buluşa ev sahipliği yaparken, Türkiye'nin çimento sektörüne girmesi, Osmanlı'nın çöküş döneminde olmasından ve yeterince su kireci imal edilememesinden dolayı yaklaşık 34 yıl kadar gecikmeli de olsa bir özel sektör girişimiyle 1910 yılında olmuştur [3,8]. Şekil 4'te gösterilen, Darıca'da üretime başlayan ilk çimento fabrikası, tek fırınla 20.000 ton/yıl kapasiteyle hizmet vermiştir. 1950'li yıllara kadar çeşitli illerde yeni çimento fabrikaları açılmış, sektörde yer edinmeye çalışan Türkiye, yeterli üretimi sağlayamadığı ve kendi çimento ihtiyacını bile karşılayamadığı için 1970'li yıllara kadar çimento ithalatına devam etmiştir. 1970'lerden sonra kentleşmenin artmasıyla altyapı ve üst yapı çalışmalarında birçok artış meydana gelmiştir. Bu yapılanmayla birlikte artan çimento ihtiyacı, çimento üretiminin artmasına ve sektörde yeni yatırımların yapılmasına da katkı sağlamıştır. Son yıllarda yeni projelerle büyüyen inşaat sektörünün çimento ihtiyacı kendi kaynaklarımızdan sağlanmakta olup, çimento sektörü ihracatta da önemli bir pay edinmiştir. Günümüzde yeniden yapılanmakta olan Libya ve Irak gibi ülkelerle beraber Rusya ve ABD gibi gelişmiş ve gelişmekte olan yaklaşık 90 ülkeye ihracat yapılmaktadır. Bugün ülkemiz mevcut çimento ihtiyacını karşılamakla birlikte, çimento sektöründe dünyanın en büyük ihracatçıları listesinde yer almaktadır [3,9].

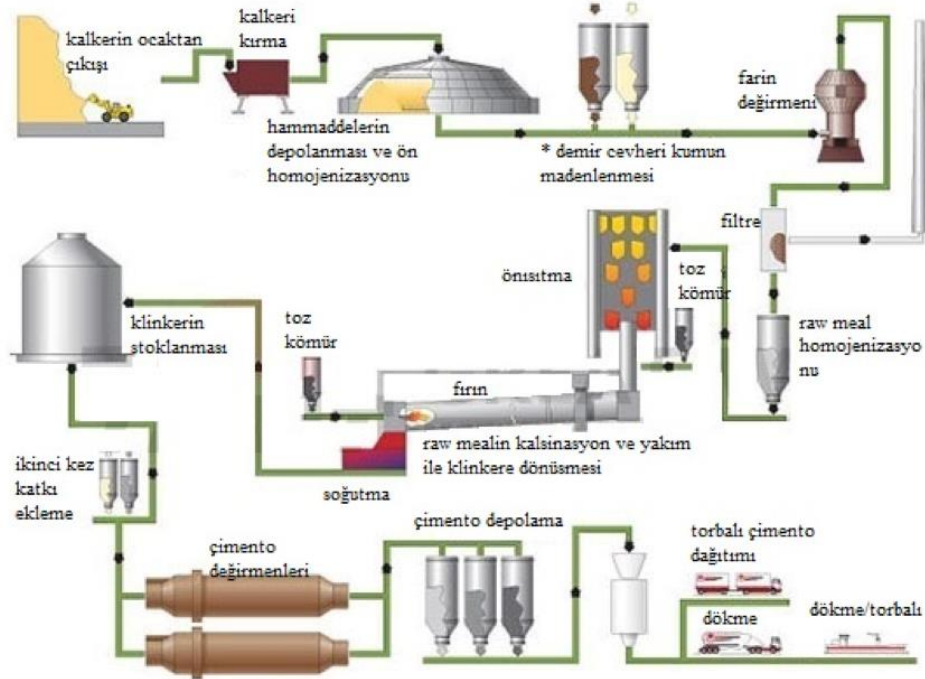


Şekil 4. Türkiye'de açılan ilk çimento fabrikası: Arslan Çimento (Darıca) [10].

II. TÜRKİYE’DE VE DÜNYADA ÇİMENTO ENDÜSTRİSİ

Çimento, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince “caementum” sözcüğünden türetilmiş ve daha sonra ‘bağlayıcı’ anlamında kullanılmıştır [6]. Portland Çimentosu, kalker ve kil karışımından oluşan hammaddelerin, yüksek dereceli fırınlarda döndürülerek pişirilmesi sonucu oluşan klinkerin, az miktarda alçı taşı ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bir bağlayıcıdır. Hidrolik bağlayıcılar su ile birleştiğinde (hidratasyon) bağlayıcılık özelliği kazanan ve sertleştikten sonra suda erimeyen bağlayıcılardır [11]. Çokça gelişmeye ve değişmeye açık olan çimento sektörü, günümüze gelene kadar birçok gelişme göstermiş olup gelişmeye de devam etmektedir. İlk olarak çimento içerisinde kullanılan puzolanlarda değişim meydana gelmiştir. Puzolanik malzeme olarak yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı kullanılmaya başlanırken, bazı mineraller ve kimyasal katkıları da çimento içerisinde yer almaya başlamıştır [1].

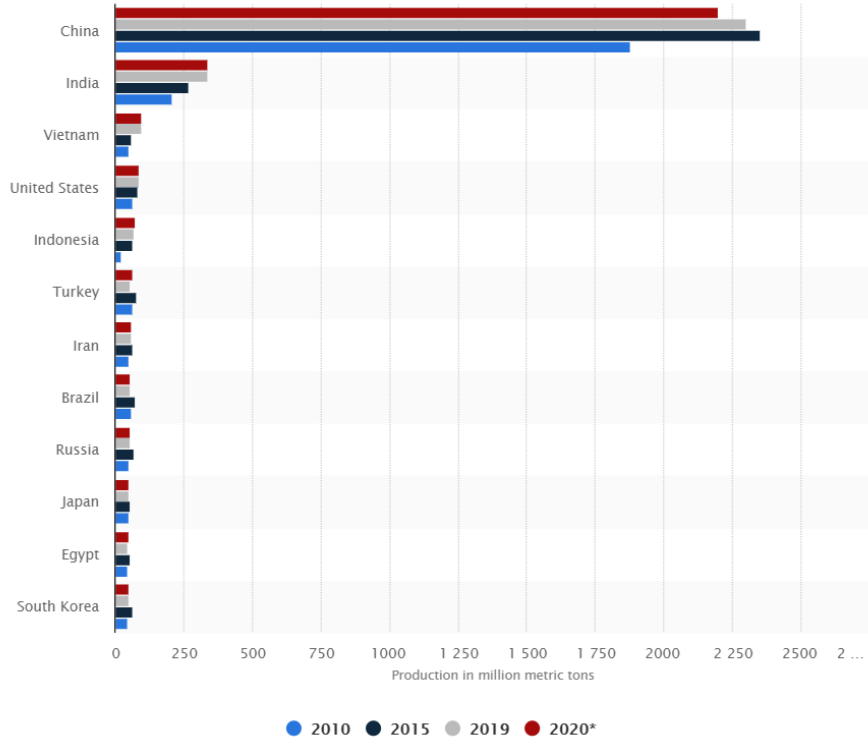
Çok kompleks bir üretim aşaması olmasa da çimentonun üretim aşamaları çimentonun özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. Üretime kalker ve kilden oluşan hammaddenin döner fırında pişirilmesiyle başlanır. Çimento üretiminin en önemli aşaması hammaddelerin pişirilme aşamasıdır. Çünkü pişirilme aşamasında hammadde sıcaklığın etkisiyle hem ayrıştırır hem de ayrılan bileşenler arasında yeni kimyasal olaylar meydana gelir. Bu ayrışma ve reaksiyonlar sonucunda oluşan ana bileşenlerin ve oksitlerin oranları betonun priz alması sırasında, erken ve nihai dayanımında çeşitli karakteristik özellikler göstermesini sağlamaktadır. Yüksek sıcaklıklara kadar ısınabilen bu fırına döner fırın denmesinin sebebi ise, belirli bir periyotta ve hızda kendi eksenini etrafında dönmesidir. Döner fırına bırakılan hammaddeler, hem kendi içerisinde karışarak hem de ısınarak, yaklaşık %3-4 eğime sahip olan fırının alt ucuna doğru ilerlemektedir. Fırın alt ucundan 1500 °C dolaylarında püskürtülen sıcaklık toz kömür, fuel oil ve doğal gaz gibi yakıtların yakılmasıyla sağlanmaktadır. Sürekli hareket halinde olan hammadde ilerleme sağladıkça ısınmakta yani pişmektedir. Artık pişmiş olan hammadde fırından çıktıktan sonra klinker olarak adlandırılmakta ve bir müddet soğutulmaktadır. Soğutma işleminden sonra klinker bir miktar kalsiyum sülfat ile öğütülerek artık paketlemeye hazır çimento halini almaktadır [1,11,12]. Şekil 5’te çimento üretim aşamaları kısaca gösterilmiştir.



Şekil 5. Çimentonun üretim ve dağıtım aşamaları [13].

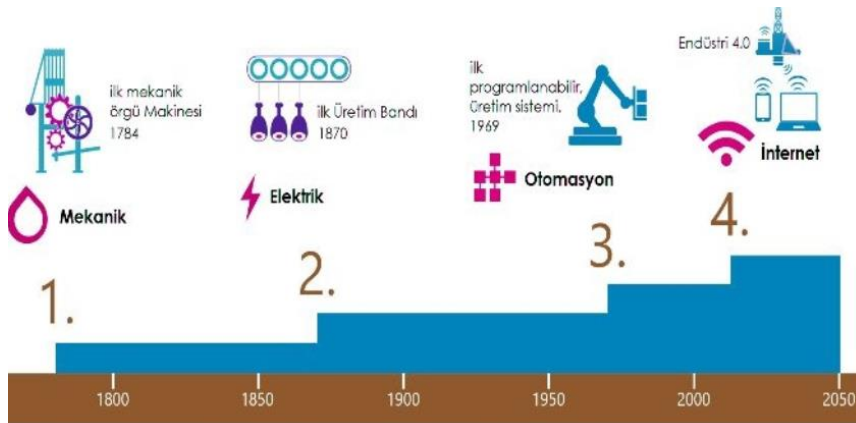
Gelişmekte olan ülkelerde nüfus artışının görülmesi kaçınılmazdır. Nüfus artışının yanı sıra gün geçtikçe yükselen hayat standartları insanların taleplerinin de artmasına sebep olmaktadır. Artan taleplerin karşılanmasına ilk olarak altyapıyla başlandığı bilinmektedir. Ardından konutlaşma ve sanayileşme, taleplerin karşılanması için ortaya çıkan diğer faktörlerdir. Artan konutlaşmayla birlikte gelişme gösteren ilk sanayi sektörlerinin çimento, beton ve çelik gibi sektörlerin olması kaçınılmazdır. Her ne kadar çimento üretimine geç başlamış bir ülke olsak da, kısa sürede kendi ihtiyaçlarımıza cevap vermekle kalmayıp ihracata başlamıştır. İlk yıllarda hem fabrika sayısının az olması, hem hammadde eksikliğinden kaynaklı ithalatlar yapılmış olsa da günümüzde ülkemiz çimento ihracatında ilk beşin içerisinde yer almaktadır. Aslında çimento sektörünün sermayesi oldukça yüksek ve enerji tüketimi diğer sektörlerle oranla daha fazladır. Ayrıca 200-300 km'den uzak mesafelere taşıma maliyeti oldukça yüksek bulunmaktadır. Tüm bu dezavantajlara rağmen düşük iş gücüne sahip olması ve uzun vadede sermayesinin kat kat fazlasını kazandıran bir sektör olması sebebiyle ülkemizde kısa sürede yaygınlaşan bir sektör olmuştur [14]. Bugün Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne (TMÇB) üye olarak faaliyet gösteren 68 çimento fabrikası vardır [15]. TMÇB'nin 2020 yılı istatistiklerine göre ülkemizde yaklaşık 94 bin ton klinker, 145 bin ton çimento üretim kapasitesi vardır. Klinker kapasitesinin yaklaşık %83'ü, çimento kapasitesinin ise yaklaşık %53'ü kullanılmaktadır [16]. Yine TMÇB'nin 2020 yılı istatistiklerine göre ülkemiz 72.299.054 ton çimento üreterek dünya literatüründe çimento üretiminde ilk sıralardaki yerini korumaktadır [17].

Türkiye çimento sektörüyle dünyada hatırı sayılır bir yer edinse de, dünyadaki gelişmeler de hız kesmeksizin devam etmektedir. Artan nüfusun yanı sıra, gelişmekte olan ülkelerde büyüyen ekonomiler sanayi sektörlerindeki gelişmelerin de önünü açmaktadır. Artan yapılanmayla birlikte çimento sektörü de gelişen ve gelişmeye devam eden sektörler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Çimento tüketiminin artmasıyla birlikte çimento fabrikalarının sayısı da artış göstermektedir. Dünyanın en iyi çimento markalarının başında LafargeHolcim gelmektedir [18]. Yaklaşık 90 ülkede faaliyet gösteren fabrika İsviçre'de bulunmakta, çimento ile birlikte agrega ve hazır beton üretimi de yapmaktadır [18]. Çimento sanayisi üretim, kapasite kullanımı, satış ve pazarlama gibi etmenlere bağlı olduğundan bu fabrikalar gelecek hedeflerine ulaşmak için müşterilerine kaliteli hizmet ve çimento sunmalıdır [19]. Bunun gibi birçok marka bulunmakla beraber [18,19] birçoğu Çin'e ait fabrikalardır. Son yıllarda Çin'de artan çimento tüketimiyle beraber üretim de artış göstermektedir. Şekil 6 sunulan grafikte de görüldüğü üzere son yıllarda çimento üretiminde diğer birçok ülkeyi açık ara geride bırakarak dünyada üretilen çimentonun yarısını üreten Çin ilk sırada yer almaktadır [20]. Oldukça artan güçlü konut talebiyle 2020 yılında Çin'de çimento üretiminde yaklaşık %1-2 artış olması beklenmektedir [21,22]. Çin'in hemen arkasından gelen Hindistan'da, çimento tüketimi ekonomik nedenler ve azalan altyapı yatırımlarıyla keskin bir şekilde düşüş sergilese de, 2020 yılında %4-5'lik bir artış göstermesi beklenmektedir [21,22]. Cement 2020 Raporu'ndaki verilere göre 2020 yılında Orta Doğu hariç tüm dünyada çimento talebinde artış beklenmektedir [21]. Global Data'ya göre Türkiye hükümeti ekonomik büyümeyi 2023 yılına kadar arttırmayı hedefleyerek ulaşım, altyapı ve konut gibi birçok alanda çimento talebinin ve dolayısıyla üretiminin artması beklenmektedir [21,22].



Şekil 6. 2010-2020 yılları arasında çimento üretiminde dünya ülkeleri grafiği [20].

Son yıllarda neredeyse tüm sanayi sektörlerinin gündemine oturan Endüstri 4.0 hedefi, 4. sanayi devrimi sayılabilecek yeni bir oluşumdur. Şekil 7’de de görüldüğü üzere ilk sanayi devrimi mekanik üretim tesisleriyle başlamıştır. Ardından elektrik ve iş bölümünün devreye girdiği ikinci sanayi devrimi gerçekleştirilmiştir. Gelişen elektronik ve bilgi teknolojilerinin kullanılmasıyla üçüncü sanayi devrimi ‘dijital devrim’ olarak ortaya çıkmıştır. Dijitalleşmenin getirdiği taleplerle birlikte internet altyapısıyla sağlanan yüksek hızlı bağlanabilirlik, tüketicilerinin gereksinimlerini değiştirerek üreticileri yeni teknolojileri en iyi şekilde kullanmaya sevk etmiştir. Endüstri 4.0 teknolojisiyle birlikte bilişim teknolojileri ve endüstrinin birleşmesi sağlanmıştır. Bu sayede makineler birbirleri ile iletişime geçerek veri analizi yapabilecek ve insan kaynaklı hatalar en aza indirilmiş olacaktır. Ayrıca sistem daha az maliyetle çalışacak ve daha çabuk üretim yapılarak zamandan tasarruf edilmiş olacaktır. Bu sebeplerle günümüzde Endüstri 4.0 ile birlikte endüstrinin her alanında sistemlerin daha küçük ancak daha güvenilir olacağı beklenen bir gerçektir [23,24]. Bu gelişmelerle beraber çimento sektörü de her geçen gün artarak devam eden teknolojilere uyum sağlayarak, etkin kaynak kullanımını ve verimliliğin artmasını amaçlayan Çimento 4.0 dönüşümünü gerçekleştirecektir.



Şekil 7. Endüstri 4.0’a kadar gelişen sanayi devriminin evreleri [23].

III. ÇİMENTO SEKTÖRÜNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK, **YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE GERİ** **DÖNÜŞÜM ÜRÜNLERİ**

İlk çimento fabrikasının kurulduğu günden bugüne kadar süregelen çimento sektörü, insanoğlunun en önemli ihtiyaçlarına cevap verirken, öte yandan da oluşturduğu atıklar, harcanılan enerji, yüksek oranda havaya salınan karbon dioksit gazı gibi sebeplerle, insanoğlunun her zaman muhtaç olduğu ve olacağı doğaya ve çevreye de birçok zararlar vermektedir. Verdiği zararları görmezden gelebilsek bile sarf edilen enerjinin çokluğu göze çarpan önemli bir detay olmaktadır. Çimento üretimi esnasında fabrikalarında kullanılan elektrikten, döner fırında kullanılan yakıtlara kadar enerji sarf edilen birçok aşaması mevcuttur. Yukarıdaki bölümlerde verilen bilgiler ışığında çimento üretiminin yıldan yıla artış gösteriyor olması hayatımızda beton kullanım oranının gün geçtikçe artmış olduğunu göstermektedir. Beton, çimento esaslı inşaat malzemelerinin en çok talep görenidir [25]. 2017 yılı verilerine göre dünyada yaklaşık 10 milyar metreküp hazır beton üretilmiştir. Bu da dünyada kişi başına düşen beton miktarının yaklaşık 1.5 metre küp (yani 3.5 ton) olduğunu gözler önüne sermektedir. Bu istatistikler dünyada betonun sudan sonra en çok tüketilen malzeme olduğunu ispatlar niteliktedir. Beton üretmek için kullanılan genel malzemeler çimento, su ve agregadır. İyi bir beton üretmek için gereken agrega oranı %70-80 arasında olmalıdır. Yani 10 milyar metreküp hazır beton üretmek için gereken agrega miktarı, ortalama yüzde %72 agrega eklendiğini varsayılarak 7.2 milyar metre küp olarak hesaplanabilir. Çimento, betonun yaklaşık %10'unu oluşturmaktadır. 10 milyar metre küp hazır beton üretimi için 1 milyar metre küp (yaklaşık 3 milyar ton) çimento kullanılır. Eklenmesi gereken su miktarı ise 1.8 milyar metre küptür [26,27]. İstatistiklere bakıldığında giderek artan hazır beton üretimiyle beraber artan çimento üretimi ve su tüketimindeki artış da göze çarpmaktadır.

Son yıllarda giderek gündeme oturan su ayak izi, bir malın ya da hizmetin ortaya konması için harcanan toplam tatlı su miktarı olarak ifade edilmektedir [28]. İnşaat sektöründe ise su ayak izi birçok kaleme karşımıza çıkmaktadır. Tablo 1'deki verilere bakıldığında 1 m³ beton üretmek için gereken çimento, agrega ve kimyasal katkıların üretimi için gereken toplam su miktarı yaklaşık 250 litredir [29]. Giderek artmakta olan hazır beton üretimiyle birlikte beton ve çimentonun su ayak izi her geçen gün artmaktadır. Aslında su ayak izi demek, ihtiyacımız olan tatlı su kaynakları demektir. Bu nedenle her sektörde olduğu gibi çimento sektöründe de su ayak izini azaltabilmek için çalışmalar yürütülmektedir. Atık suların geri dönüşümü sağlanarak yeniden beton üretiminde kullanılmasına ilişkin çalışmalar mevcuttur [30]. Su, beton üretiminde hem karışım suyu hem de kür suyu olarak tüketilir. Ancak atık suların yeniden beton üretiminde kullanılabilmesi için zararlı kimyasallardan arındırılması zorunludur [30]. Çünkü içerisindeki zararlı kimyasallar, çimento hamurunda istenmeyen reaksiyonlar gösterebilir ve bu durum beton dayanımını istenmeyecek şekilde değiştirebilir.

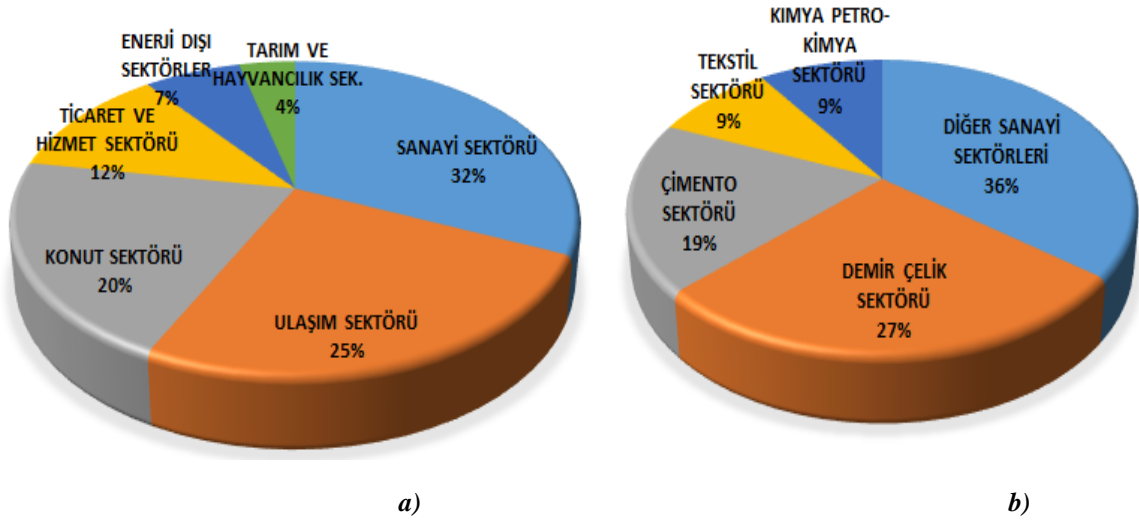
Görüldüğü gibi çimento ve beton üretiminde su kullanımı oldukça yüksektir. Artan küresel ısınma ve tükenmekte olan su kaynakları da göz önüne alındığında, suyun verimli kullanılması da yapılması gereken en önemli yatırımlardan olmaktadır. Ayrıca tüketilen suyun çokluğu bir kenara bırakılsa bile, hızla artan betonarme yapılar, beraberinde artan beton ve çimento üretimini getirmektedir. Bu da çevreye zarar vermekle beraber, insanları yaşam alanlarının betonarmeden ibaret olacağı bir geleceğe sürüklemektedir.

Tablo 1: 1 m³ hazır beton üretiminde kullanılan malzemelerin üretimi için gereken su miktarları [29].

Bileşen	Miktar (Kg/m ³)	Su İçeriği (Litre/Ton)
Çimento	290	1000
Agrega	1900	1000
Su	175	1000
Kim. Katkı	4,5	650
Toplam	2369,5	3650

Sürdürülebilirlik anlam olarak üretkenliğin devamlılığını sağlayarak daimi olma yeteneğini koruma anlamına gelmektedir [31]. İlk olarak 1987 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Kalkınma Komisyonu'nun hazırladığı bir raporda değinilmiş bir madde olarak yaşantımıza girmiştir. Bu madde ile insanoğlu günlük ihtiyaçlarını karşılarken, hem gelecek nesillerin ihtiyaçlarını ihmal etmeyerek hem de “kalkınmayı sürdürülebilir hale getirebilir” denilerek, sürdürülebilirlik kavramı, birçok sektörde karşımıza çıkmak üzere hayatımızda önemli bir yer edinmiştir [32]. Sürdürülebilirliğin ilk olgusu elbette ki dengedir. Çünkü insanlık ihtiyaçlarını temin ederken, mevcut kaynakları tamamen tüketmeden gelecek nesillere aktarımı da göz önüne almalıdır, bu da ancak denge ile olur. Dengeli tüketim ve üretim mantığıyla kullanılan kaynakların tüm ihtiyaçlara tam anlamıyla cevap vermesi sağlanmış olmakla beraber geleceğe aktarımı da sağlanmış olur. Sürdürülebilirliğin bir diğer olgusu da doğal yaşamdır. Tüketim ve üretim doğrultusunda meydana gelecek her türlü olay, çevremizi de etkilemektedir. Yani insanoğlu sektörlerde sürdürülebilirliği sağlarken çevreye duyarlılığını da arttırmakla yükümlüdür. Çünkü gelecek nesillere aktarılacak en önemli şey tartışmasız daha yaşanılabilir bir çevredir. Bu kapsamda günümüzdeki hemen her sektörde sürdürülebilirlik sağlamak adına birçok çalışma yürütülmektedir. Yine çimento sektörü de sürdürülebilirliği sağlamak adına çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı, çimento sektöründe ele alındığında, çevreci üretim, üretim sırasında kullanılan kaynakların ve oluşan atıkların çevre üzerindeki etkisi, maliyet-kâr oranı, risk oranı, rekabet, etik ve yönetim gibi birçok başlıkta karşımıza çıkmaktadır. Çimento, kaynaklarını doğadan alan bir sektör olduğu için yapılan yatırımlar genellikle çevreyi koruma temelli olmaktadır. Bunun için sektörde yapılan çevreci ve sürdürülebilirliği sağlama çalışmalarının başında doğaya salınan zararlı gazların azaltılması gelmektedir. Salınımı azaltmak adına alternatif hammadde ve alternatif enerji kaynağı araştırmaları her geçen gün artarak devam etmektedir. Bununla birlikte enerjinin verimli kullanılması ve çeşitli geri kazanım sistemleriyle kullanılmayan enerjinin yeniden kullanıma katılmasını sağlamaya çalışmak da önemli çalışmalardan biridir.

Aslında çimento üretimi yapılırken amaç minimum enerji ve minimum çevre zararıyla maksimum verim, tasarruf ve sürdürülebilirlik elde etmek olmalıdır. İşin bu kısmı çok ütöpik görünse de bu üretim çok da uzak bir gelecekte değildir. Gerek fabrikaların gelişme ve geliştirme çabaları olsun gerek akademik ve bilimsel çalışmalar olsun, çimento sektörünü her geçen gün daha ileriye taşımayı hedeflemektedir. Hemen hemen her sektörde olduğu gibi çimento sektöründe de ileriye hedeflemek için mevcut ihtiyaçları optimum şartlarda ve yüksek verimde karşılarken, öte yandan da en önemli parçamız olan doğaya verilen zararı en düşük seviyeye çekmek gerekmektedir. Bunun için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin çimento fabrikalarında en çok elektrik tüketen ‘proses fanlarının’ verimliliğini arttırarak hem elektrik kullanımını düşürmek hem de doğaya salınan karbon dioksit oranını azaltmak için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir [33,34]. Bazı çimento fabrikalarında ise alternatif yakıt ve hammadde kullanımıyla enerji tasarrufu sağlanıp bununla birlikte sürdürülebilir verimlilik sağlanmaya çalışılmaktadır [35]. Elbette bu tasarrufla birlikte doğaya salınan karbon dioksit oranının ciddi oranda azalması ise çevreci çimento üretimine katkı sağlamaktadır.



Şekil 8. (a) 2017 yılı sektörel enerji tüketimi (BİN TEP) grafiği, (b) 2017 yılı sanayi alt dallarının toplam sanayi enerji tüketimindeki dağılımları (%) grafiği [36].

Şekil 8'deki grafiklerde de görüldüğü üzere sanayi sektörü, elektrik tüketimi konusunda sektörler arasında ilk sırada yer almaktadır. Sanayi sektöründe ise en çok elektrik tüketen sektörler sıralamasında çimento sektörü ikinci sırada yer almaktadır. Çimento üretiminde tüketilen elektrik enerjisi miktarı, bu sektörde kullanılan enerjinin yaklaşık %10-15'ini oluşturmaktadır. Aslında çok küçük bir yüzde gibi görünse de, maliyet açısından oldukça büyük bir oran oluşturmaktadır [34]. Bu da sektörde enerji tasarrufu ve sürdürülebilirlik sağlamak için yeni çalışmaların yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmalardan biri de atık ısı geri kazanımıdır. Çimento sektörü ve diğer üretim aşamalarında ısı kullanımı gerektiren sektörlerde, genellikle ısının tamamı kullanılmamakta ve kullanılmayan kısım farklı yollarla ya da gaz bacalarıyla doğaya salınmaktadır. Ancak bu durum, çevreye verdiği zararın yanı sıra ciddi ölçüde bir enerji kaybına sebep olmaktadır. Atık ısı geri kazanımı (Waste Heat Recovery) tesisleriyle, kullanılmayan ve doğaya salınan ısının, yeniden bir üretim döngüsüne sokulması sağlanmakta ve bu döngü sonucunda elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu döngünün başlıca aşamaları atık ısının buhar kazanlarına enerji olarak girmesini sağlamak ve üretilen buharı türbinlere yollamaktır. Buhar enerjisiyle dönen türbinlerde üretilen enerji jeneratörlere aktarılarak, elektrik üretimi gerçekleştirilir [36,37].



Şekil 9. Atık Isı Geri kazanım Akış Şeması [37].

Şekil 9’da üretim aşamaları gösterilen atık ısı geri kazanımı tesisleriyle çimento üretim aşamasında kullanılan elektriğin %25’i üretilebilmektedir. Aynı zamanda bu üretim sırasında yakıt kullanılmaması kaynak tasarrufu sağlarken, yakıt kullanımından kaynaklı sera gazlarının salınımı da engellenmektedir. Bu üretimle hem tasarruf hem de sürdürülebilirlik sağlanmaktadır. Artan güç ve yakıt maliyetleri, karbon dioksit emisyonunun azalması ve sürdürülebilirliği sağlama çabaları son yıllarda birçok şirketin gündemini oluşturmaktadır [34]. Bu yüzden atık ısı geri kazanım sistemleri oldukça ilgi görmektedir. Sistemin güvenli olması da yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır [34]. Atık ısı geri kazanım tesislerinin ülkemizdeki fabrikalarda kullanımına 2019 yılı temmuz ayı itibariyle devreye alınan 14 fabrika ve 23 hatta devam edilmektedir. Bu yatırımların artırılması için çeşitli teşvik, destekleme ve yatırım çalışmaları sektörle alakalı çeşitli birlikler tarafından yapılmaktadır [36]. Bunların yanı sıra çimento sektöründe atık malzemelerin ve yeni teknolojilerin kullanımları ile ilgili birçok akademik çalışma da mevcuttur [38-41]. Birçok çalışma çimentonun ikamelerinin özelliklerinin incelemesi üzerine iken, yine birçoğu ise alternatif hammadde ve yakıt arayışına yöneliktir. Yani bütün çalışmaların ortak paydası çevreci çimento üretimi ve sürdürülebilirliktir.

Çimento üretiminde sürdürülebilirliğin ötesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının da etkilerini görmek mümkündür. Aslında sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji kaynakları birbirine çok uzak başlıklar da değildir. Çünkü sürdürülebilirliği sağlamak için sürdürülebilir üretime yani kaynaklara dolayısıyla yenilenebilir kaynaklara ihtiyaç vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması son yıllarda birçok farklı sektörde yaygınlaşmaya başlamıştır. Sanayi sektörlerinde hızla yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, hem tasarruf açısından hem de çevreye verilen zararların azaltılması açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bazı sektörlerde kullanılmaya başlanan rüzgar türbinleri ya da güneş enerjileriyle elektrik enerjisinden ciddi miktarlarda tasarruf sağlanması amaçlanmaktadır [42-45]. Hâlihazırdaki bazı çimento fabrikaları da güneş ve rüzgar türbinleri kullanıp kendi elektrik enerjilerini üreterek, hem enerji yatırımlarından tasarruf sağlamış olup hem de çeşitli sera gazlarının salınımının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır [46-49]. Sanayi sektörlerinde alternatif enerji kaynaklarının kullanıma başlanmasıyla beraber, TÜİK verilerine göre 1970’li yıllarda yaklaşık %70 oranlarında tüketilen elektrik enerjisi, 2017 yılında %46,8’lere kadar düşmüştür [50].

Çimento sektöründe kullanılan yakıtlardan oluşan gazın çevreye salınmasından birçok canlı zarar görmekte ve küresel ısınmaya da negatif yönde katkı sağlamaktadır. Bu durumdan en çok zararlı çıkacak olan elbette ki başta insanlar olmak üzere tüm canlılardır [51]. Zararlı gazların başında karbon dioksit gelmektedir. Karbon dioksit bitkiler gibi bazı canlıların vazgeçilmezi iken insanlar ve hayvanlar gibi canlıların ise hem nefesini kirleterek hem de küresel ısınmaya katkı sağlayarak çözülmesi gereken başlıca sorunlardan biri olmaktadır [52]. Karbon dioksit emisyonunu azaltmak için birçok çalışma yapılmaktadır [34,52-54,]. Atık ısı geri kazanım sistemleri, alternatif hammadde ve yakıtlar bunların başında gelmektedir. Çimento üretiminde kömür, linyit, fuel oil, petrokok gibi fosil yakıtlar kullanılmaktadır [32,55]. Bu yakıtlar maliyet açısından üreticiye yük teşkil etmekle beraber, çevreye verdiği zararlar da azımsanmayacak kadar büyüktür. Çimento üretimindeki yakıt kullanımı, tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %35-45’ini oluşturmaktadır [55]. Çimento sektöründe alternatif yakıt arayışları sonucunda kullanılmakta olan bazı alternatif yakıtlar şunlardır: ömrünü tamamlamış lastikler, atık yağlar, endüstriyel plastikler, atık kâğıtlar, arıtma çamuru, tekstil atıkları ve bitki kabukları [25,32,55]. Kullanılan bu alternatif yakıtlar sayesinde havaya salınan karbon dioksit salınımının azaltılması sağlanmış olmaktadır. Aynı zamanda kaynak kullanımını azalttığı için sürdürülebilirliğe de katkı sağlamaktadır [32,55]. Alternatif yakıtların kullanılmasıyla gereken enerjinin yaklaşık %30’u karşılanmış olmaktadır. Bu da maliyet açısından ciddi tasarruflar sağlar ve atıklar yeniden değerlendirilerek üretime katılmış olur [55]. Birçok ülkede hâlihazırda uygulanan alternatif yakıt teknolojisi bazı ülkelerde %70 ikame oranlarına ulaşmaktadır [25].

Son yıllarda geri dönüşüm ürünlerinin de çimento sektöründe kullanılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Geri dönüşüm sonucunda yeniden değerlendirilme imkânı olan atık ürünlerin çeşitli kimyasal işlemlerden geçirilerek yeniden kullanıma kazandırılması sağlanmaktadır [8]. Kâğıt, cam, demir, çelik, bakır, plastik ve ömrünü tamamlamış lastikler gibi birçok madde geri dönüşüme katılabilmektedir. İnşaat sektöründe kullanılan geri dönüşüm ürünlerinin başında, inşaat yıkıntılarında çıkan beton yığınlarının içerisindeki donatıdan ayrılarak ve ilgili makinalarla küçük parçalara ayrılarak yeni üretilecek beton içerisinde agrega olarak kullanılması gelmektedir. Ayrıca ahşap, tuğla, cam, asfalt ve yalıtım malzemeleri gibi inşaat ürünlerinin de geri dönüşümü sağlanarak hem inşaat sektöründe hem de diğer birçok alanda yeniden kullanıma kazandırılması sağlanmaktadır [56]. Çimento sektörünün temelinde doğal kaynakların bulunması, özünde pahalı bir üretimin olduğunu göstermektedir. Ancak geri dönüşüm yoluyla kullanılacak ürünler, yeni kaynak üretiminden tasarruf sağlayarak ekonomik olarak ciddi tasarruflar sağlamaktadır. Ayrıca doğaya yani insana verilen zararlar minimize edilmeye çalışılıp, sürdürülebilirliğe katkı sağlanmaktadır. Örneğin pulverize kömür, çimento üreticilerini yeni kaynak maliyetinden kurtaracak önemli malzemelerden biridir. Termik santrallerde pulverize kömürün yakılmasıyla baca fitrelerinde atık olarak biriken kül, uçucu kül olarak adlandırılır ve çimento ikamesi olarak kullanılmaktadır [57]. Bu sayede hem hava kirliliğinin önüne geçilmiş olup hem de kaynak maliyetinden tasarruf sağlanmaktadır. Bununla birlikte pirinç kabuğu külü, testere tozu külü, hurma yağı yakıt külü, hindistan cevizi kabuğu gibi çeşitli tarımsal atıklar agrega ya da çimento ikamesi olarak kullanılmaya başlanmıştır [51]. Bunların geri dönüşüme kazandırılarak yeniden işlenebilmesi hem atıkların bertaraf edilmesi için gereken maliyeti düşürür hem de atıkların depolandığı alanlardan tasarruf edilmektedir. Ancak en önemli avantajı ise çevre kirliliğinin önüne geçerek yeşil (çevreci) üretime katkı sağlamaktır [51].

IV. SONUC

İnsanoğlu, varoluşundan itibaren öncelikle karnını doyummuş ardından yaşayabilmek için kendini güvende tutabileceği yerler aramıştır. İlk çağlardan bugüne gelene kadar sürekli değişen iklim koşulları ve göçebe hayatla değişen yerleşim yerleri, insanları hep yeni şartlara uygun, güvenli yapılar inşa etmeye itmiştir. Kaya parçaları, taşlar, ağaç dalları ve yapraklar kullanılmaya çalışılırken bağlayıcı görevini çamur ve killi topraklar üstlenmiştir. Daha sonra bir duvarcı ustasının buluşuyla hayatımıza giren çimento, sadece bir bağlayıcı malzeme olarak kalmayıp hem bulunduğu çağa, hem günümüze hem de uzak geleceğe hızla yön vermektedir. Her ne kadar ülkemiz çimento üretimine geç başlamış olsa da, çimento piyasasındaki yerini çabuk edinmiştir. Günümüzde kendi ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayan Türkiye, dünyaya çimento ihraç etmektedir.

Çimentonun çok karmaşık bir üretim aşaması olmasa da üretim basamaklarında meydana gelen reaksiyonlar betonun dayanım özellikleri üzerinde oldukça etkilidir. Ayrıca enerji temelli bir üretimi olduğundan enerji tasarrufu sağlamak adına birçok çalışma yapılmaktadır. Ulaşım, alt yapı, üst yapı, konut gibi birçok alanda insanlığa hizmet eden çimento, birçok ülkede artarak üretime devam etmekte ve oldukça fazla tüketilmektedir. Küresel ekonomide pazar payı oldukça yüksek olan çimento sektöründe Türkiye, dünya literatüründe hem üretimde hem de ihracatta oldukça iyi bir yer edinmiştir. Son yıllarda duraklama yaşadığı görülen çimento sektörünün ilerleyen yıllarda yeniden canlanacağı beklenmektedir. Ayrıca hemen her sanayi sektöründe karşımıza çıkan endüstri 4.0 çağı, çimento sanayiinde de kullanılmaya başlanacak ve hem hızlı hem de sürdürülebilir üretim sağlanmaya çalışılacaktır.

Halihazırda sudan sonra en çok tüketilen malzeme olan beton ve dolayısıyla çimento, kullanılmaya başlandığı günden itibaren çevreye dostça yaklaşabilen bir malzeme olmamıştır. Gerek üretiminde

kullanılan su ve diğer kaynakların tüketimi olsun gerek oluşturduğu atıkların çevreye verdiği zararlar olsun çimentonun dezavantajlarını, avantajlarının arkasına saklayamamıştır. Elbette ki çevre dostu çimento üretmek artık günümüz teknolojileri ile mümkündür. Yeşil binaların imarının artmasıyla birlikte yeşil üretimler de hız kazanmıştır. Çimento fabrikalarına yapılan yatırımlar, kurulan geri kazanım sistemleri, alternatif yakıt ve kaynaklar, yenilenebilir enerji kaynakları, geri dönüşüm ürünleri ve dahası yeşil ve sürdürülebilir üretimin adımlarıdır.

Çimento, yeni yüzyılda hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Ancak görünen odur ki yakın gelecekte artan çimento üretimi ve tüketimiyle beraber, betonarmeden ibaret olan bir dünyada yaşamak zorunda olunacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Yeğınobalı, Çimento ‘Yeni Bir Çağın Malzemesi’, Türkiye: Demo Reklamcılık ve Bilişim Hizmetleri Ltd. Şti., 2003.
- [2] Ertegun A. (2019, 15 Aralık). *İnsanoğlunun Barınma İhtiyacı*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://slideplayer.biz.tr/slide/2290483/>
- [3] Türkiye Çimento Sanayicileri Birliğı. (2019, 11 Kasım). *Çimento Üretiminin Tarihçesi*. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.tcma.org.tr/tr/cimento_uretiminin_tarihcesi
- [4] Ertuğrul E. (2019, 17 Aralık). *Mısır Piramitlerinin 20. Yüzyıl Başında Çekilmiş 9 Fotoğrafi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://arkeofili.com/misir-piramitlerinin-20-yuzyil-basinda-cekilmis-9-fotografi/>
- [5] Çimen G. (2019, 17 Aralık). *Dünya Çapında Görülmesi Gereken 10 Antik Yunan Tapınağı*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://arkeofili.com/dunya-capinda-gorulmesi-gereken-10-antik-yunan-tapinagi/>
- [6] Sim Beton. (2019, 8 Aralık). *Betonun Tarihi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.simbeton.com.tr/p25-betonun-zamanı>
- [7] O. Şimşek, Beton ve Beton Teknolojisi, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2009.
- [8] Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı. (2019, 24 Aralık). *Geri Dönüşüm*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.pagcev.org/geri-donusum>
- [9] Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı. (2019, 17 Aralık). *Çimento Sektör Raporu 2015*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.dogaka.gov.tr/dokuman-merkezi/arastirma-ve-planlama/cimento-sektor-raporu-2015/>
- [10] Aslan Çimento. (2019, 20 Aralık). *İlk Çimento Fabrikası*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.aslancimento.com.tr/tr/hakkimizda/aslan-cimento-hakkında>
- [11] T. Y. Erdoğan, Beton, Türkiye: Hermes Tanıtım Ofset Baskı Hiz. Ltd. Şti., 2013.
- [12] M.S. Güner, Malzeme Bilimi – Yapı Malzemesi Beton Teknolojisi, Türkiye: Bakanlar Medya Ltd. Şti. 2012.
- [13] Crc Rota. (2019, 10 Aralık). *Çimento Nasıl Üretilir?* [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.crcrota.com/tr/cimento/>

- [14] T.C. Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı. (2020, 7 Ocak). *Çimento Sanayi İçin Mevcut En İyi Teknikler (Met) Ulusal Kılavuzu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ippc/icerikler/ulusal-met-kilavuzu-20180425132410.pdf>
- [15] Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği. (2020, 7 Ocak). *Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği Hakkında*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tcma.org.tr/tr/hakkimizda>
- [16] Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği. (2020, 15 Ocak). *Çimento Üretim Kapasitesi İstatistikleri*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tcma.org.tr/tr/istatistikler/kapasite>
- [17] Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği. (2020, 15 Ocak). *Çimento Üretiminde Aylık İstatistikler*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tcma.org.tr/tr/istatistikler/aylik-veriler>
- [18] Mutegi J. (2020, 10 Şubat). *Dünyanın En Büyük 10 Çimento Ş* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.constructionkenya.com/5390/largest-cement-companies-world/>
- [19] Bhasin H. (2020, 10 Şubat). *Dünyanın En İyi Çimento Markaları*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.marketing91.com/top-cement-brands-in-the-world/>
- [20] Garside M. (2021, 1 Nisan). *2010'dan 2020'ye Dünya Çapında Çimento Üretiminde Başlıca Ülkeler*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/>
- [21] Thomas E. (2020, 10 Şubat). *2020 Vizyonu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.worldcement.com/special-reports/15012020/2020-vision/>
- [22] Thomas E. (2020, 10 Şubat). *2020'de Küresel İnşaat Piyasaları*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.worldcement.com/special-reports/04022020/global-data-provides-an-overview-of-global-construction-markets-in-2020/>
- [23] Anonim. (2020, 15 Şubat). *Endüstri 4.0 Nedir?* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.stendustri.com.tr/endustri-40-uygulamalari/endustri-40-nedir-h95384.html>
- [24] İ. Ertuğrul ve G. Deniz, “4.0 Dünyası: Pazarlama 4.0 ve Endüstri 4.0,” *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 7, s. 1, ss.143-170, 2018.
- [25] M.S. Imbabi, C. Carrigan ve S. McKenna, “Trends and developments in green cement and concrete technology,” *International Journal of Sustainable Built Environment* vol. 1, no. 2, pp. 194-216, 2012.
- [26] Türkiye Hazır Beton Birliği. (2019, 17 Aralık). *Dünyada Sektör*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.thbb.org/sector/dunyada-sektor/>
- [27] Engin Y. (2020, 17 Aralık). *Hazır Beton Üretimi ile İlgili Sıra Dışı Veriler*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.betonvecimento.com/beton-2/hazir-beton-veriler>
- [28] Anonim. (2020, 6 Ocak). *Su Ayak İzi Nedir?* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.canlibilimi.com/su-ayak-izi-nedir/>
- [29] Engin Y. (2020, 6 Ocak). *Su Ayak İzi ve Hazır Beton*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://www.betonvecimento.com/beton-2/su-ayak-izi-ve-hazir-beton>

- [30] A. Sivakrishna, A. Adesina, P.O. Awoyera ve K. Rajesh Kumar, "Green concrete: A review of recent developments," *Materials Today: Proceedings* vol. 27, no.1, pp. 54-58, 2020.
- [31] Bozdemir M. (2019, 24 Aralık) *Sürdürülebilirlik Nedir?* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.bilgiustam.com/surdurulebilirlik-nedir/>
- [32] Y. Engin, M. Tarhan ve S. Kumbaracıbaşı, "Çimento Endüstrisinde Sürdürülebilir Üretim," Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [33] Anonim. (2019, 10 Aralık). *Çimento Fabrikalarında Proses Fanlarının Verimliliğinin Arttırılması*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/cimento-fabrikalari-proses-fanlarinda-verimlilikin-arttirilmesi/21267#ad-image-0>
- [34] M. Schneider, "Process Technology For Efficient And Sustainable Cement Production," *Cement and Concrete Research*, vol. 78, pp. 14-23, 2015.
- [35] Anonim. (2019, 10 Aralık). *Sektörde Geline Son Durum*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://cementurk.com.tr/teknolojik-yenilikleri-yakindan-takip-eden-cimko-cimento-teknik-operasyonlar-direktoru-fatih-aktas-ile-2019-yili-yatirimlerini-ve-sektorde-gelinen-son-durumu-konustuk/>
- [36] Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği. (2019, 19 Aralık). *Atık Isı Geri Kazanımı*. [Çevrimiçi]. Erişim: https://www.tcma.org.tr/tr/atik_isi_gerikazanimi
- [37] M. E. Alpan, "Çimento Sektöründe Atık Isı Geri Kazanımı Sistemleri Kullanımı," 3. Sanayi Şurası, Ankara, Türkiye, 2013.
- [38] Y. Koçak , "Tras İkame Oranının Portland Çimentosunun Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi," *Engineering Sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 564-572, 2010.
- [39] M. Karimaei, F. Dabbaghi, A. Sadeghi-Nik ve M. Dehestani, "Mechanical performance of green concrete produced with untreated coal waste aggregates," *Construction and Building Materials*, vol. 233, pp. 1-12, 2019.
- [40] O. Sallı Bideci , K. Mercanoğlu ve A. Bideci , "Öğütülmüş Cam Elyaf Takviyeli Beton (Grc) Atıklarının Çimento İkame Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği", *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 198-206, 2018.
- [41] L. Tostia, A. Zomeren, J. R. Pelsb ve R.N.J. Comansa, "Technical and environmental performance of lower carbon footprint cement mortars containing biomass fly ash as a secondary cementitious material," *Resources, Conservation & Recycling* vol. 134, pp. 25-33, 2018.
- [42] Anonim. (2020, 15 Ocak). *Fabrikalarda Rüzgar Enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://bestdergisi.com.tr/bolumler/dosya/ruzgar-tribunule-kendi-enerjisini-ureten-fabrika/>
- [43] Anonim. (2020, 15 Ocak). *Fabrikalarda Rüzgar Enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/ilk-ruzgar-turbini-fabrikasi-kasim-sonunda-devreye-girecek/1636954>
- [44] Anonim. (2020, 15 Ocak). *Fabrikalarda Rüzgar Enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://ticaret.gov.tr/blog/sector-haberleri/siemens-gamesa-yakinda-turkiyedeki-fabrikasinda-ruzgar-turbini-motor-besigi-uret>

- [45] Arçelik A.Ş. (2020, 15 Ocak). *Enerji Verimliliği*. [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.arcelikas.com/sayfa/209/Arcelik_te_Enerji_Verimliliği
- [46] Anonim. (2020, 15 Ocak). *Fabrikalarda Rüzgar Enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.borsatek.com/akcansaya-ruzgar-enerjisi-6459h.htm>
- [47] Tabakoğlu S. (2020, 15 Ocak). *Fabrikalarda Güneş Enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.yenienerji.com/adana-cimento-gunes-enerjisi-santrali>
- [48] Anonim. (2020, 15 Ocak). *Fabrikalarda Güneş Enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.enerjiatlas.com/gunes/adana-cimento-gunes-enerji-santrali.html>
- [49] Anonim. (2020, 15 Ocak). *Fabrikalarda Güneş Enerjisi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.haberler.com/mersin-fabrika-elektrigini-gunes-enerjisinden-6885143-haberi/>
- [50] TÜİK. (2020, 10 Ocak). *Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=Net%20Elektrik%20T%C3%BCketiminin%20Sekt%C3%B6rlere%20G%C3%B6re%20Da%C4%9F%C4%B1m%C4%B1>
- [51] V. Vishwakarma ve D. Ramachandran, “Green Concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives – A review,” *Construction and Building Materials*, vol. 162, pp. 96-103, 2018.
- [52] J. G. Jang, G. M. Kim, H. J. Kim ve H.K. Lee, “Review on recent advances in CO2 utilization and sequestration technologies in cement-based materials,” *Construction and Building Materials*, vol. 127, pp. 762-763, 2016.
- [53] V. M. John, M. Quattrone, P.C.R.A. Abrão ve F.A Cardoso, “Rethinking cement standards: Opportunities for a better future,” *Cement and Concrete Research*, vol. 124, pp. 1-18, 2019.
- [54] W Schmidt, M. Alexander ve V. John, “Education For Sustainable Use of Cement Based Materials,” *Cement and Concrete Research*, vol. 114, pp. 103-114, 2017.
- [55] Ş. Ordu ve E. Öztürk, “Çimento Fabrikalarında Alternatif Hammadde ve Yakıt Kullanımı: Örnek Çalışma,” *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 87-92, 2017.
- [56] Özdemir A. (2019, 24 Aralık). *Geri Dönüşüm ve İnşaat Sektöründeki Yeri*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.aykutozdemir.com.tr/insaat/geri-donusum-ve-insaat-sektorundeki-yeri.html>
- [57] Ares Çimento. (2020, 7 Ocak). *Geri Dönüşüm*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.arescimento.com.tr/geri-donusum/>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bazı *Orchis* Taksonlarında Labellum Mikromorfolojisi

 Mehmet AYBEKE^{a,*}

^a Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Balkan Yerleşkesi, 22030, Merkez, Edirne, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mehmetaybeke@trakya.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.857774

ÖZ

Çalışmada 9 farklı *Orchis* taksonunununa [*Neotinea tridentata* (Scop.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase (*Syn. O. tridentata* Scop.), *O. punctulata* Stev. ex Lindl., *O. purpurea* Huds., *O. simia* Lam., *Anacamptis morio* (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (*Syn. O. morio* L. subsp. *morio*), *Orchis picta* Raf. (*Syn: O. morio* L. subsp *picta* (Lois.) K.Richt., *Anacamptis papilionacea* (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (*Syn: O. papilionacea* L. var. *papilionacea*), *Anacamptis laxiflora* (Lam.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (*Syn: O. laxiflora* Lam.), *Himantoglossum robertianum* (Loisel.) P. Delforge (*Syn: O. fragrans* Pollini)] ait örneklerde labellum mikromorfolojisi Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) yöntemi ile incelenmiş ve sonuçlar teşhis anahtarı halinde sunulmuştur. Örnekler, araziden toplandığı sırada %70 alkole alınmış, bir kısmı da herbaryum kurallarına göre kurutulmuş ve teşhisleri yapılmıştır. Alkolden çıkarılan labellum örnekleri, bisturi ve iğnelerle stereomikroskop altında kesip ayrılarak doğrudan, üzeri çift taraflı yapışkan bantlar bulunan ve SEM cihazına ait çelik aparatlara yerleştirilmiştir. Bir gece kadar bekletilerek alkolü tamamıyla uçurulan bu örnekler, doğrudan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve labellum mikrofotografı çekilmiştir. Bulgularımıza göre; *O. fragrans*, *O. papilionacea*, *O. purpurea* taksonlarının diğer tüm incelenen taksonlardan oldukça farklı olduğu, diğerlerinde genelde kendilerine özgü değişik türevlerde konikal papilla oluşumlarının bulunduğu, bazı türlerde (*O. punctulata*, *O. purpurea*, *O. simia*, *O. laxiflora*, *O. fragrans*) uç ve/veya mahmuz bölgelerinin dikkat çekici farklılıklara sahip olduğu görülmüştür. Söz konusu papillaların özellikleri ve labellum yüzeyindeki bölgesel örtüşü, bazı taksonlar için ayırt edici olmuştur. Bilhassa uç bölgesindeki epidermal hücrelerin papilla içerip içermemesi, hücrelerin düz veya farklı yüzey morfoloji (skulptür) özellikleri, hücrelerin düzenli ya da düzensiz olması, yanak çeperlerinin özellikleri taksonlar arasında önemli farklılıkları oluşturmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Orchidaceae*, *Orchis*, Çiçek, Labellum, Morfoloji, Petal

Labellum Micromorphology in Some *Orchis* Taxa

ABSTRACT

In the study, the micromorphology of labellum in samples belonging to 9 different *Orchis* taxa [*Neotinea tridentata* (Scop.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase (*Syn. O. tridentata* Scop.), *O. punctulata* Stev. ex Lindl., *O. purpurea* Huds., *O. simia* Lam., *Anacamptis morio* (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (*Syn. O. morio* L. subsp. *morio*), *Orchis picta* Raf. (*Syn: O. morio* L. subsp *picta* (Lois.) K.Richt., *Anacamptis papilionacea* (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (*Syn: O. papilionacea* L. var. *papilionacea*), *Anacamptis laxiflora* (Lam.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase (*Syn: O. laxiflora* Lam.), *Himantoglossum robertianum* (Loisel.) P. Delforge (*Syn: O. fragrans* Pollini)] were examined by Scanning Electron Microscopy (SEM) method and the results are presented as a diagnostic key. While the samples were collected from the field, they were taken to 70% alcohol, some of them were dried according to the herbarium rules and identified. The labellum samples extracted from alcohol were dissected under the stereomicroscope with a scalpel and needles and placed directly on the iron apparatus of the SEM device with double-sided adhesive tapes. These samples, whose alcohol was completely

evaporated by waiting for one night, were examined directly with Scanning Electron Microscope (SEM) and labellum microphotographs were taken. According to our findings; *O. fragrans*, *O. papilionacea*, *O. purpurea* are quite different from all other examined taxa, others generally have conical papillae formations in different derivatives peculiar to them, In some species (*O. punctulata*, *O. purpurea*, *O. simia*, *O. laxiflora*, *O. fragrans*) apex and / or spur regions were found to have remarkable differences. The features of these papillae and the regional overlap on the labellum surface were distinctive for some taxa. Especially, whether the epidermal cells in the apex area contain papillae, the cells' flat or different sculptural features, the regular or irregularity of the cells, the characteristics of their lateral walls have created important differences among taxa.

Keywords: *Orchidaceae, Orchis, Flower, Labellum, Morphology, Petal*

I. GİRİŞ

Orkidelerde labellum, petal olarak diğer petallerden renk ve şekil, doku ve / veya koku bakımından önemli ölçüde değişmiştir [1]. İlaveten labellum, tozlaşma sırasında böcekleri çekimleme sürecinde en dikkat çekici organdır; bu böcek ve bitki odaklı ortak evrimsel hipotezlerin oluşturulmasında da önem arz eder [1]. Örneğin *Ophrys*'de labellum spekulumunun ve labellum 3 boyutlu ayrıntılı görünüşünün, dışı böceğin koku ve duruşuna benzetilmesi nedeniyle tozlaşmada erkek böcekleri cezbetmede çok önemlidir [1].

Orkidelerde labellum renk ve şekil varyasyonları oldukça geniş yelpazede görülür; bu nedenle bazı taksonların teşhisi çok zordur veya mümkün değildir. Dolayısıyla halen birçok sistematik problem çözülmeyi beklemektedir [2-3]. Çevre şartlarındaki farklılıkların, orkide varyasyonlarını oldukça arttırdığı bilinmektedir [4-5]. Bundan ötürü labellumun mikromorfolojik yönden araştırılması, aşağıda sunulduğu gibi değişik çalışmalarda odak noktası olmuştur:

Maxillaria cinsi üyelerinden 75 takson incelenerek labellum mikromorfolojisi bakımından papilla özellikleri, tüy karakterleri ve dağılımının morfolojik tanımlamada kısmen faydalı olduğu sonucuna varılmıştır [6]. Bradshaw ve ark. [1] 32 değişik *Ophrys* taksonunda labellum spekulumu, epidermal hücre özellikleri, tüy karakterleri ve epidermal hücrelerin TEM mikroskopunda ince yapılarını araştırmıştır [1]. Hatta labellum mikromorfolojisi üzerinden filogenetik analizlere de rastlanmıştır. Diğer bir araştırmada *Platanthera* Rich., *Gymnadenia* R. Br., *Dactylorhiza* Neck. ex Nevski, *Anacamptis* Rich., *Orchis* Tourn. ex L. cinslerine ait 21 taksonda sadece mahmuz mikromorfolojisi dikkate alınmıştır [7]. Burada özellikle mahmuz abaksiyal epidermisi nektar üretmektedir [8] ve bu nedenle çalışma bulguları, polinatör böceklerin tozlaşma esnasındaki davranışlarının ortaya çıkarılması ve yorumlanması açısından da önem arz etmektedir [9]. Farklı bir diğer araştırmada *Ophrys fusca* Link ve *O. lutea* Cav. türlerinde labellum mikromorfolojisi olarak trikomların, papilla ve epidermal hücrelerin karakterleri üzerinden farklılıkları, ince ayrıntılar olarak sunulmuştur [10]. Yine orkidelerden 4 farklı *Serapias* taksonunda ayrıntılı olarak labellum mikromorfolojisi incelenmiş ve bulguların taksonomik ayırmada önemli olduğu gibi ilaveten labellum yüzey karakterlerinin (tüy, hücre, papilla) tozlaştırıcı böceklerin seçiminde ve cezbedilmesinde etkili olabileceği ifade edilmiştir [11].

Bu örnek çalışmalar ışığında, labellum mikromorfolojisinin orkide filogenisi ve üreme biyolojisi açısından çok önemli ipuçlarına sahip olduğu anlaşılmaktadır [11].

Orchis Tourn. ex L. cinsi, Orchidaceae ailesindedir ve bir bazal rozet ve çeşitli boyutlarda resupinat çiçeklerden dallanmamış bir çiçek durumu ile teşhis edilir. Bu cins, Türkiye'de 25 tür ile temsil edilmektedir [12] ve farklı *Orchis* taksonları arasında morfolojik, anatomik, ekolojik, filogenetik çalışma mevcuttur [13-21]. Yapılan filogenetik çalışmalara göre *Orchis* cinsinin, Orchidaceae familyası, Asparagales ordosu, Orchidoideae alt familyası, Orchidinae alt oymağına ait olduğu tespit edilmiştir [22]. Türkiye'de bu konuda *Orchis anatolica* Boiss. türünün *O. italica* Poir., *O. anthropophora* All., *O. simia* Lam., *O. purpurea* Huds., *O. militaris* Sm., *O. adenocheila* Czerniak, *O. pallens* L., *O. mascula* Crantz, *O. mascula* (L.) L. subsp. *pinetorum* Boiss. & Kotschy ve *O. spitzelii* Saut. ex W. D. J. Koch türleri ile ITS tabanlı filogenetik ilişkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda ITS dizisinin tamamının

çalışılan *Orchis* taksonları arasında yeterli seviyede ayırım yapabildiği ve bu cins içerisinde yapılacak daha detaylı çalışmalar için kullanılmaya elverişli olduğu sonucuna varılmıştır [23]. Dizkırıcı ve ark. [24] bazı *Orchis* taksonlarında ITS bazlı moleküler filogenetik çalışmada incelenen 11 *Orchis* taksonlarının bir kısmının, *Orchis* ve *Neotinea* alt cinslerine bir kısmının da *Anacamptis* alt cinsine ait olduğunu belirtmişlerdir.

Türkiye’de labellum mikromorfolojisi konusunda 2 çalışmaya rastlanılmıştır: Söğüt Şeker ve ark. [25] tarafından yapılmış araştırmada 14 farklı orkide taksonunda labellum mikromorfolojisini ayrıntılı olarak çalışmışlardır. Şenel ve ark. [26], 36 adet *Anacamptis*, *Cephalanthera*, *Dactylorhiza*, *Orchis*, *Serapias* taksonlarında morfolojik, anatomik ve mikromorfolojik özellikleri incelemiş ve bulguların filogenetik ve taksonomik sorunları çözümünde kullanılabilirliği test edilmiştir. Literatür taramalarımızda halen birçok Orchidinae taksonlarının labellum mikromorfolojisinin bilinmediği anlaşılmıştır. Ayrıca değişik Orchidinae üyeleri üzerinde korolojik, morfolojik, anatomik, embiyolojik, karyolojik incelemeler mevcuttur [27-40].Yapılan bu değişik çalışmalarda türlerin ayırımında çok önemli bulgulara ulaşılmış ve tayin anahtarları oluşturulmuştur. Dolayısıyla farklı yönleriyle incelenen bu ve yakın *Orchis* taksonlarının, labellum mikromorfolojisinin incelenmesi, morfolojik özellikleri daha kesinleştireceği gibi ayrıca bu taksonların filogenisine ve üreme biyolojisine katkıda bulunmuş olacaktır. Bu çalışmada söz konusu bu boşluğu doldurmak üzere; bazı *Orchis* taksonlarının labellum mikromorfolojisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. MATERYAL

Çalışmada, 2001-2004 yılları arasında Trakya Bölgesi’nden toplanan 9 adet taksonun örnekleri, EDTU Herbariyumu’nda (Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü) muhafaza edilmektedir. Çalışmada kullanılan materyal listesi Tablo 1’de verilmiştir:

Tablo 1. İncelenen Orchis taksonlarının listesi

Herb. No*	Takson**	Lokalite
8223	<i>Neotinea tridentata</i> (Scop.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (<i>Syn. O. tridentata</i> Scop.)	Kırklareli, Çukurpınar
8368	<i>O. punctulata</i> Stev. ex Lindl.	Edirne, Keşan, Mecidiye
8189	<i>O. purpurea</i> Huds.	Edirne, Keşan, Seydiköy
8193	<i>O. simia</i> Lam.	Çanakkale, Gelibolu, Fındıklı
8192	<i>Anacamptis morio</i> (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (<i>Syn. O. morio</i> L. subsp. <i>morio</i>)	Tekirdağ, Şarköy
8220	<i>O. picta</i> Raf. [<i>Syn. O. morio</i> L. subsp. <i>picta</i> (Lois.) K.Richt.]	Kırklareli, Dereköy
8196	<i>Anacamptis papilionacea</i> (L.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (<i>Syn: O. papilionacea</i> L. var. <i>papilionacea</i>)	Çanakkale, Eceabat, Seddülbahir
8201	<i>Anacamptis laxiflora</i> (Lam.) R. M. Bateman, Pridgeon & M. W. Chase (<i>Syn: O. laxiflora</i> Lam.)	İstanbul, Çatalca
8433	<i>Himantoglossum robertianum</i> (Loisel.) P. Delforge (<i>Syn: O. fragrans</i> Pollini)	Çanakkale, Eceabat, Arıburnu

*: *Herbaryum no (EDTU)*; **: *Güncel isimlendirmeler, sinonimleri ile birlikte verilmiştir.*

B. YÖNTEM

Bitki örnekleri, Trakya Bölgesi'nin farklı bölgelerinden toplandıktan sonra % 70 alkolde fikse edilmiş, bazıları da preste kurutulularak teşhisleri yapılmıştır (Tablo 1) [2-4]. Bitkilerin teşhisinde labellumun tek parça veya loplolu olması, lopların duruşu, orta lobun yanal loplara göre uzunluğu, lopların birbirine göre konumu, labellum genel rengi ve varsa loplar arasındaki renk farklılıkları, benekli olup olmaması, labellum kenarlarının şekli (undulat vs.), labellum ucunun şekli (akuminat, mukronat vs.), mahmuz şekli (konikal, linear vs.), mahmuzun ovaryuma göre uzunluğu, mahuz ucu şekli (akuminat vs.) ve mahmuz ucunun yassı olup olmaması gibi karakterler önem taşımaktadır [41-44].

Alkolden çıkarılan çiçekler birkaç saat laboratuvar koşullarında bekletilerek yarı nemli hale getirilmiştir ve sonrasında çiçeklerden alınan labellum, bisturi ve iğnelerle Olympus SZ 71 stereomikroskop altında disekte edilerek doğrudan, üzeri çift taraflı yapışkan bantlar bulunan SEM cihazına ait çelik aparatlara yerleştirilmiştir. Alkolün tamamıyla uçurulması için örnekler, bir gece laboratuvar koşullarında bekletilmiş ve Trakya Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUTAGEM) bünyesindeki Zeiss Evo LS 10 Scanning Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenerek mikrofotografı çekilmiştir. Mikrofotografılardan labellum yüzey morfolojik özellikleri, Bojnanský ve Fargašová [45]'ya göre adlandırılmış ve bulgular teşhis anahtarı (Tablo 2) ile birlikte ayrıntılı olarak sunulmuştur.

III. BULGULAR

İncelenen *Orchis* taksonlarına ait labellum mikromorfolojik özellikleri aşağıda özetlenmiş ve ayrıca Tablo 2'de ayrıntılı bir teşhis anahtarı sunulmuştur.

O. fragrans; tüm (taban (= bazal), orta (= medyan), yanal (= lateral) ve uç (= apeks) bölgeleri genişlemiş, yassı papillalıdır (mahmuz hariç). *O. laxiflora*; taban ve uç bölgeleri konikal papillalı olup subapikal bölge ise düz yüzeyli ve ağısı görünümlü hücrelidir (Şekil 1a-d).

O. morio subsp. *morio* ve *O. morio* subsp. *picta* taksonlarında hemen hemen tüm alanlar konikal papilla ile kaplıdır; sadece *O. morio* subsp. *picta* taksonunda köşegen ve yüzeyi çizgili olan hücreler vardır (Şekil 1e-f).

O. papilionacea var. *papilionacea* taksonunda tüm labellum alanlarında çeperler yüzeyden yukarı doğru dik, yüzey yoğun ince çıkıntılı olup bu çıkıntılar zikzak oluklarla ayrılmıştır ve hücreler düzensizdir (Şekil 2a).

O. punctulata ve *O. simia* taksonlarında taban bölge konikal papillalıdır. Ayrıca *O. simia* türünde hemen hemen her yer konikal papillalıdır. *O. purpurea* türünde bazal ve medyan bölgede konikal papilla ve tübül çıkıntılar vardır. *O. punctulata* ve *O. purpurea* taksonlarının ayırımı, uç bölgenin sadece *O. punctulata* türünde yüzeyin değişken boyutta kaba ve buruşuk olması ile ayrılır. *O. simia* türü ise konikal papillalı uç bölge ile *O. punctulata* ve *O. purpurea* taksonlarından daha farklıdır (Şekil 2b-f).

O. tridentata ise her bölgesi konikal papilla ile kaplıdır. Bu özelliği ile *O. morio* subsp. *morio* taksonuna büyük oranda benzemektedir (Şekil 3a-b).

Mahmuz özellikleri bakımından incelendiğinde; genellikle düzensiz hücreli olmakla birlikte *O. fragrans* ve *O. morio* subsp. *picta* taksonlarında uzunlamasına hücreli, *O. fragrans* türünde çizgili (Şekil 1b), *O. punctulata* türünde ise mahmuz hücreleri değişken boyutta kaba ve buruşuktur. Bunun dışında diğer taksonlarda düz yüzeylidir (Şekil 3b).

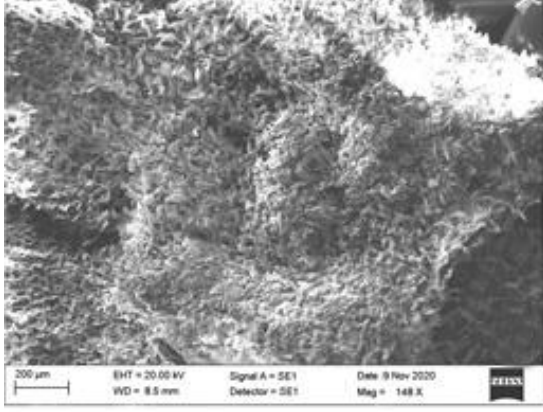
Tablo 2. İncelenen taksonlarında labellum yüzey mikromorfolojik özelliklerine göre teşhis anahtarı

1. Papilla yok, labellum uç, orta ve taban kısmında tek tip yüzey morfolojisi var (çeperler yüzeyden yukarı doğru dik, yüzey yoğun ince çıkıntılı olup bu çıkıntılar kabartılı zikzak oluklarla ayrılmıştır, hücreler düzensiz)	→ <i>O. papilionacea</i> var. <i>papilionacea</i>
2. Papilla konikal değil, labellum ucunda genişlemiş ve yassı	→ <i>O. fragrans</i>
3. Papilla konikal	
a. konikal papilla, labellum tabanında	→ <i>O. punctulata</i>
b. konikal papilla, labellum tabanı ve ucunda yaygın	→ <i>O. laxiflora</i>
c. konikal papilla, labellum tabanında ve orta kısımlarında	
i. labellum orta kısmındaki konikal papillalı hücreler köşegen ve yüzeyi çizgili	→ <i>O. morio</i> subsp. <i>picta</i>
ii. labellum taban ve orta kısmındaki konikal papillalı hücreler, tübular çıkıntılarla birlikte	→ <i>O. purpurea</i>
d. konikal papilla, labellumda mahmuz hariç her yerde	
i. uç bölgeden yanlara doğru uzanan lopların ucu düz yüzeyli, onun dışında her yerde konikal papillalı	→ <i>O. simia</i>
ii. mahmuzda epidermal hücreler, eksene uzunlamasına dizili ve düz yüzeyli	→ <i>O. morio</i> subsp. <i>morio</i>
iii. mahmuzda epidermal hücreler düzensiz hücreli, düz yüzeyli çeperler yüzeyden yukarı dik duruşlu	→ <i>O. tridentata</i>

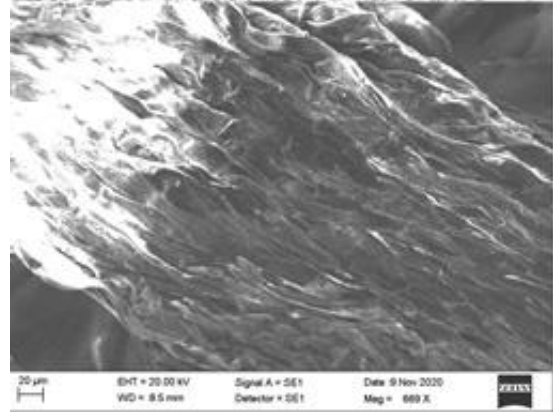
IV. TARTIŞMA

Çalışmada 9 farklı *Orchis* taksonuna ait örnekte labellum mikromorfolojisi incelenmiştir. İncelenen taksonların genel olarak karşılaştırılmasında; *O. fragrans*, *O. papilionacea* ve *O. purpurea* türlerinin, diğer tüm incelenen taksonlardan oldukça farklı olduğu, diğerlerinde genelde kendilerine özgü değişik türlerde konikal papilla oluşumlarının bulunduğu, bazı türlerde (*O. punctulata*, *O. purpurea*, *O. simia*, *O. laxiflora*, *O. fragrans*) uç ve/ veya mahmuz bölgelerinin dikkat çekici farklılıklara sahip olduğu görülmüştür.

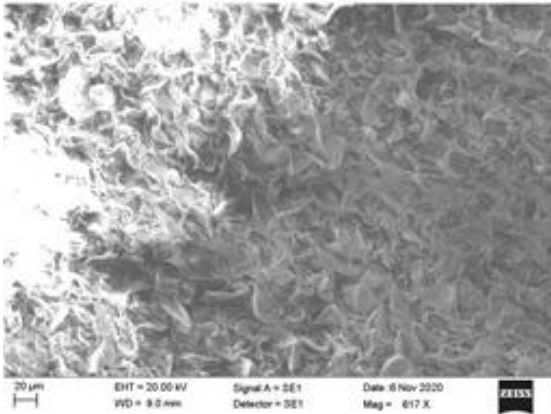
Papillaların *O. fragrans* taksonunda, diğerlerinden daha farklı olarak genişlemiş ve yassı olduğu, konikal papillaların ise *O. laxiflora* türünde labellum tabanı ve ucunda yaygın olduğu, *O. morio* subsp. *morio*, *O. simia*, *O. tridentata* taksonlarında her yerde (mahmuz hariç), *O. punctulata* türünde tabanda, *O. purpurea* taksonunda taban ve orta bölgelerde olduğu, ayrıca *O. purpurea* türünde konikal papilla ile birlikte tübular çıkıntılarının olduğu görülmüştür. Söz konusu papillaların özellikleri ve labellum yüzeyindeki bölgesel örtüşü, bazı taksonlar için ayırt edici olmuştur. Bilhassa uç bölgesindeki epidermal hücrelerin papilla içerip içermemesi, hücrelerin düz veya farklı yüzey morfoloji özelliklerine (skulptür) sahip olması, hücrelerin düzenli ya da düzensiz olması, yanal çeperlerinin özellikleri taksonlar arasında önemli farklılıkları oluşturmuştur. Benzer çalışmalarda da *Orchis papilionacea* var. *papilionacea* taksonunda geniş tabanlı, derin çizgili orta boy konik papilla, tüm labellum yüzeyinde bulunmuştur [9,25]. *Maxillaria* cinsi üyelerinde yapılan bir çalışmada kolumna ve anter başlığının genellikle konik, obpyriform veya villus şeklinde papiller taşırken, stigmatik yüzey ve anterin tabanındaki papillaların genellikle daha büyük ve şişkin olduğu ayrıca *M. rufescens* üyelerinde şişkin uçlu klavat papilla oluşumu ve bazı türlerde papilloz trikomların varlığı ile papilla yapısının türe özgü bir karaktere sahip olduğu tespit edilmiştir [6].



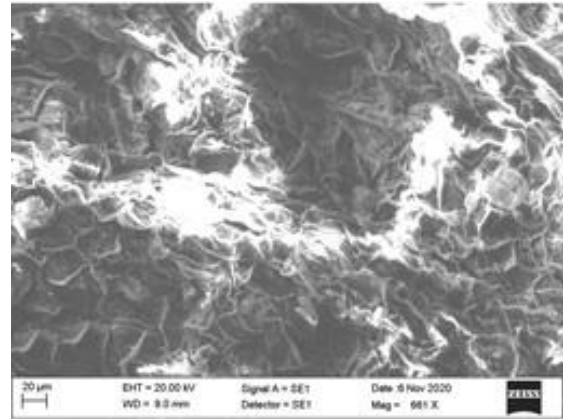
(a)



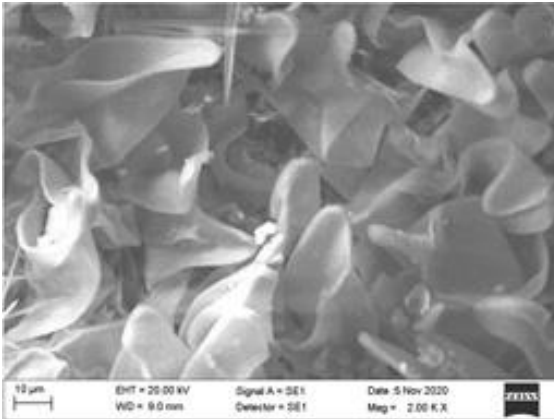
(b)



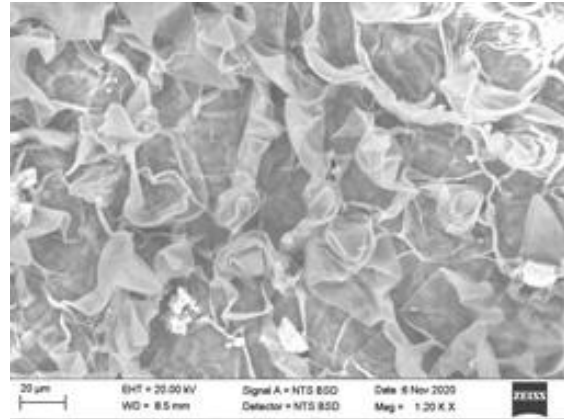
(c)



(d)



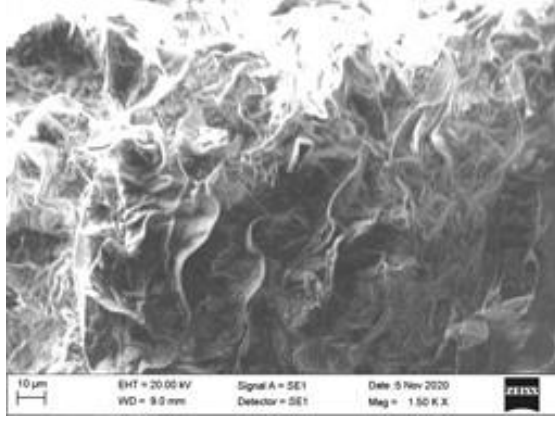
(e)



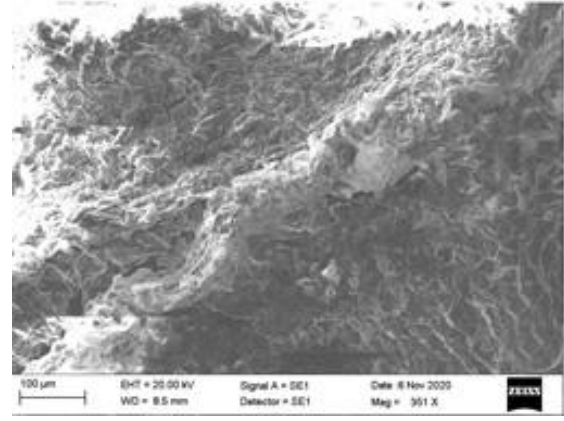
(f)

Şekil 1. Labellum mikromorfolojik özellikleri. *O. fragrans*: (a) orta lop, taban bölge, (b) mahmuz (büyütülmüş halde); (c) *O. laxiflora*: taban bölge (büyütülmüş halde), (d) taban bölge yan kısımları (büyütülmüş halde); *O. morio subsp. morio*: (e) orta bölge; *O. morio subsp. picta*: (f) orta bölge.

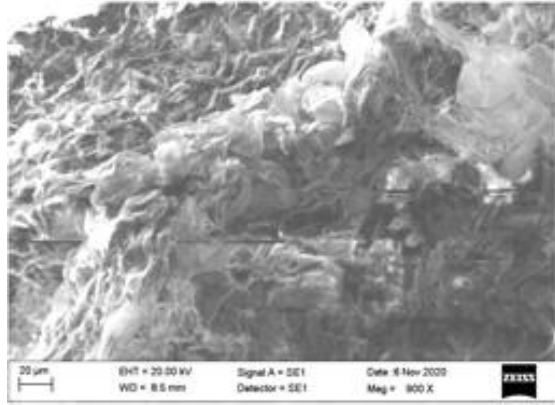
Örneğin; *O. fragrans* türünde uça genişlemiş-yassı papilla varlığı, *O. laxiflora* türünde uç bölge konikal papillalı iken, subapikal bölgede düz yüzeyli, dik yanal çeperli, ağsı görünümlü ve yüzeyde çok az noktalı ve neredeyse pürüzsüz haldeki (= pustikulat) çıkıntılı hücrelerin bulunması (uç / subapikal bölge farklılıkları), *O. punctulata* türünde düzensiz hücreli, (buruşuk) değişken boyutta kaba, kör çıkıntılarla kaplı (= rugose) yüzeyli, *O. purpurea* türünde düzensiz hücreli fakat düz yüzeyli hücrelerin sadece uç bölgede varlığı, farklılıkların tespitinde yeterli olmuştur.



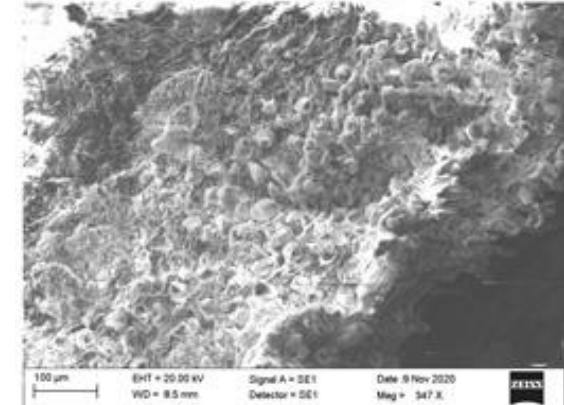
(a)



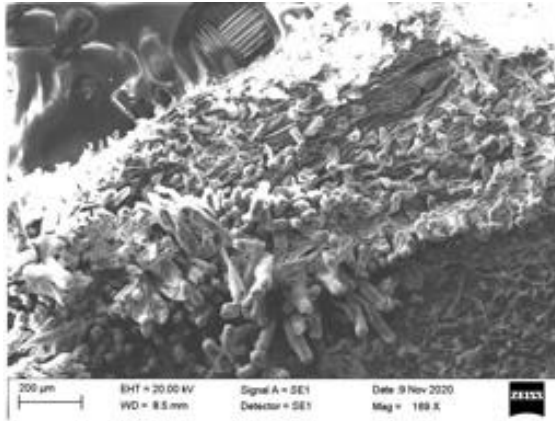
(b)



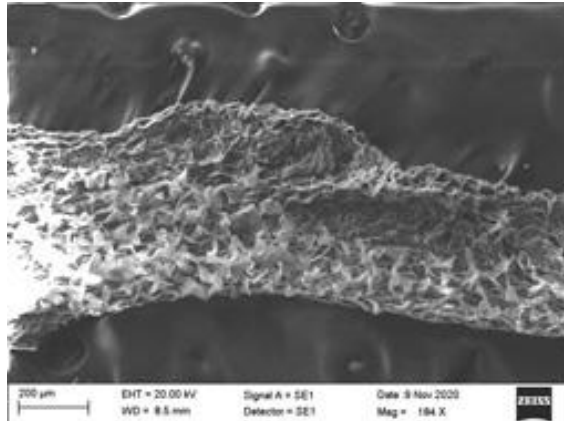
(c)



(d)



(e)



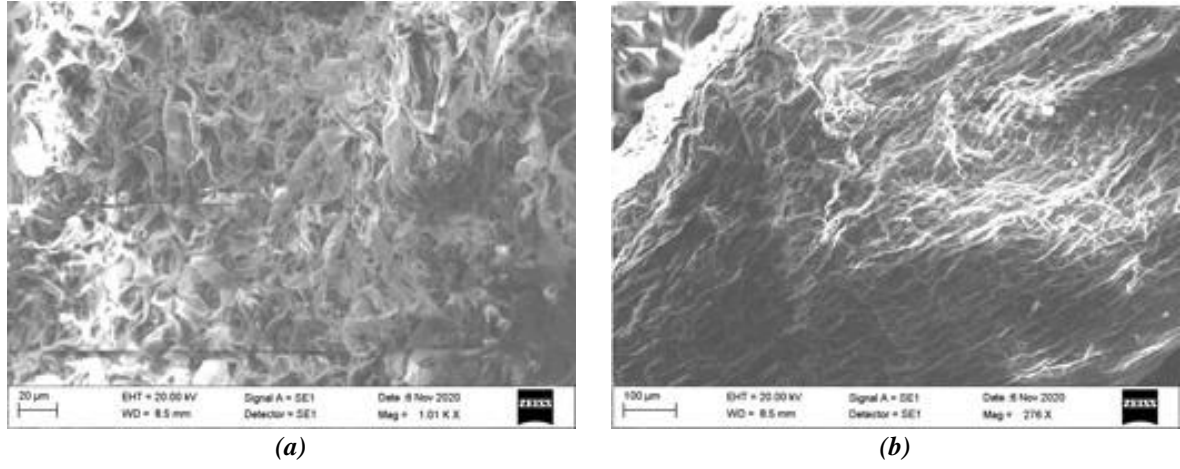
(f)

Şekil 2. Labellum mikromorfolojik özellikleri. *O. papilionacea* var. *papilionacea*: (a) yan lop büyütülmüşü; *O. punctulata*:(b-c) taban bölge ve büyütülmüşü; *O. purpurea*:(d) stigmaya yakın taban bölge, (e) orta bölge; *O. simia*:(f) uç bölge yan lop.

Çalışmada mahmuz özellikleri de incelenmiştir. Çünkü, mahmuz, tozlaştırıcı böceklerin davranışlarına rehberlik etmede önemli bir role sahiptir ve orkidelerde tür zenginliğinin ana nedenlerinden biri olarak önem kazanmaktadır [9,46].

Mahmuz özelliklerine göre; *O. fragrans*, *O. laxiflora*, *O. morio*, *O. purpurea*, *O. simia* ve *O. tridentata* taksonlarında hücre yüzeyleri düz olurken, *O. punctulata* türünde rugose, *O. fragrans* türünde çizgilidir. Ayrıca *O. morio* ve *O. fragrans* taksonlarında hücreler, diğerlerinden farklı olarak uzunlamasına dizilidir. İlaveten *O. punctulata*, *O. purpurea* ve *O. tridentata* taksonlarında yanıl çepeler, yüzeyden

yukarı doğru dik duruşludur. Dolayısıyla sözkonusu bu taksonlar, ince ayrıntılı apeks ve mahmuz özelliklerine göre ve konikal papillaların labellumdaki kendilerine özgü dağılımlarına göre birbirlerinden farklılık göstermişlerdir.



Şekil 3. Labellum mikromorfolojik özellikleri *O. tridentata*:(a) lateral lop, (b) mahmuz.

Sadece *O. fragrans* kendine özgü genişlemiş yassı papillaları, *O. purpurea* konikal papilla ve tübüler çıkıntılarının varlığı, bu 2 türün diğerlerinden farklı olmasında dikkat çekicidir. *O. papilionacea* ise incelenen diğer tüm *Orchis* taksonlarından her yönüyle farklıdır: Bu taksonda labellum taban, orta ve yanal bölgelerinde epidermal hücreler düzensiz ve yüzeyi yoğun ince çıkıntılı olup bu çıkıntılar zikzak oluklarla ayrılacak şekilde kabartılıdır. Sonuçta labellum mikromorfolojisi, incelenen taksonların ayırımında önemli ipuçlarını gündeme getirmiştir.

Literatür taramalarımıza göre aynı veya yakın taksonlardaki sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Süngü Şeker ve ark. [47] tohum morfolojisinin, yakından ilişkili cinsler olan *Orchis*, *Anacamptis* ve *Neotinea* arasında önemli farklılıklar oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Özellikle testa hücrelerinin yüzeyi, tohum şekli, testa hücrelerinin periklinal çeper yapıları, tohum boyutu, embriyo boyutu, testa hücrelerinin boyutu, tohum veya embriyo hacmi gibi morfolojik ve morfometrik karakterlerin cinsler arasında ayırt edici olduğu vurgulanmıştır.

Şenel ve ark. [26] labellum morfolojisi ile ilgili yaptıkları bir araştırmada; *Anacamptis laxiflora*, *Neotinea tridentata*, *Orchis pallens* labellum yüzeyinin geniş tabanlı, konik veya uzun silindirik gibi çeşitli şekil ve boyutlarda papiller yapılarla kaplandığını, papillerin çoğunlukla labellumun tabanında yoğunlaştığını ve loblara doğru daha az sayıda olduğunu belirtmişlerdir. Ancak labellum yüzeyinin tamamının *Orchis simia*, *Anacamptis palustris* ve *Neotinea tridentata* türlerinde papilloz yapılarla kaplandığı tespit edilmiştir. İlâveten; mahmuz epidermal hücrelerinin incelenen *Orchis* ve *Dactylorhiza* taksonlarında uzunlamasına poligonol olduğu ifade edilmiştir. Bizim bulgularımız, Şenel ve ark. [48]'nin yukarıda ifade ettikleri bulgularla büyük oranda örtüşmektedir; fakat bu çalışmanın mahmuz karakterleri, özellikle *Orchis morio* subsp. *picta* hariç diğer incelenen tüm taksonlar bakımından Şenel ve ark. [26] bulgularından keskin farklılıklar göstermektedir. Bizim görüşümüze göre, böceklerle tozlaşan bu orkidelerin farklı coğrafik, habitat ve çevre koşullarında çiçek varyasyonlarının, melezleşme yeteneklerinin detaylı incelenmesi ile tozlaşmada çok önemli bir yere sahip olan labellum-mahmuz ikilisinin fonksiyonel morfolojisi daha iyi anlaşılabilir olacaktır. Çünkü labellum ve tohum mikromorfolojisi, filogenetik analizler ve üreme biyolojisinde vazgeçilmez karakterleri taşımaktadır [26].

Bell ve ark.'na [7] göre; *O. fragrans* ve *O. morio* taksonlarında çizgilenme az, *O. punctulata* taksonunda ise seyrek çizgilenme görülmüştür. Süngü Şeker ve ark. [25] *O. papilionacea* var. *papilionacea* taksonunda epidermal hücreleri derin çizgili, geniş tabanlı orta boy konik papillalı olarak belirtmişlerdir.

Söz konusu farklılıkların muhtemelen değişen çevre koşullarından ve özellikle tozlaştırıcı davranışlarına bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. Zira Bell ve ark. [7], labellumda nektar üretiminin epidermal papilla özellikleri ve epidermal çizgilenme özellikleri ile alakalı olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca değişik *Maxillaria* türlerinde labellar papilla yapısının konikal, obpyriform, villiform, fusiform veya klavat şekillerinde olduğu gibi büyük bir çeşitlilik gösterdiği ve bunların dağılımının önemli olduğu vurgulanmıştır [6]. Papilla / tüy morfolojileri ve bunların labellum üzerindeki dağılımları, bu çalışmada da kısmen görülmüştür. İlâveten papilla şeklinin, onun altında muhakkak bir fizyolojik görevle alakalı olduğuna dair bilgiler de mevcuttur [6]. Sonuç olarak; bu çalışmada elde edilen bulgular ve diğer araştırmacıların yukarıda özetlenen bulguları ve yorumları ışığında, labellum mikromorfolojisinin incelenen orkide taksonlarının sistematik ayırımına, evrimsel üreme biyolojisine ve filogenisine katkıda bulunacağına inanılmaktadır. Bilhassa Tablo 2’de sunulan teşhis anahtarında detaylı bir labellum mikromorfolojik inceleme ile en yakın taksonların bile ayırt edilebileceği apaçık bir şekilde ispatlanmıştır.

V. SONUC

O. fragrans, *O. papilionacea*, *O. purpurea* taksonlarının, diğer tüm incelenen taksonlardan oldukça farklı olduğu, diğerlerinin ise kendilerine özgü değişik konikal papilla yapılarına sahip olduğu, bazı türlerde (*O. punctulata*, *O. purpurea*, *O. simia*, *O. laxiflora*, *O. fragrans*) uç ve/ veya mahmuz bölgelerinin dikkat çekici farklılıklara sahip olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu sonuçlara göre; papilla özellikleri ve bunların labellum üzerindeki bölgesel dağılımları, apeks bölgesindeki epidermal hücrelerin papilla içerip içermemesi, hücrelerin düz veya farklı morfolojik (skulptür) özellikleri, hücrelerin düzenli ya da düzensiz olması, yanal çeperlerin özellikleri taksonlar arasında önemli farklılıkları oluşturmuştur.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma, Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2020/94).

VI. KAYNAKLAR

- [1] E. Bradshaw, P. J. Rudall, D. S. Devey, M. M. Thomas, B. J. Glover & R. M. Bateman, “Comparative labellum micromorphology of the sexually deceptive temperate orchid genus *Ophrys*: diverse epidermal cell types and multiple origins of structural colour,” *Botanical Journal of Linnean Society*, vol. 162, pp. 504–540, 2010.
- [2] P. Delforge, *Guide des orchidees d’Europe, d’Afrique du Nord et du Proche Orient*, Paris, France: Delachaux et Niestle, 2005.
- [3] E. Sezik, *Orkidelerimiz, Türkiye’nin Orkideleri*, İstanbul, Türkiye: Sandoz Kültür Yayınları, 1984.
- [4] T. G. Tutin, V. H. Heywood, N. A. Burges, D. M. Moore, D. H. Valentine, S. M. Walters, & D. A. Webb, *Flora Europaeae, Alismataceae to Orchidaceae (Monocotyledones)*, vol. 5, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1968.
- [5] W. Rossi, B. Corrias, P. Ardurino, R. Cianchi, & L. Bullini, “Gene variation and gene flow in *Orchis morio* (Orchidaceae) from Italy,” *Plant Systematic and Evolution*, vol. 179, pp. 43-58, 1992.
- [6] K. L. Davies & M. P. Turner, “Morphology of floral papillae in *Maxillaria* Ruiz. & Pav. (Orchidaceae),” *Annals of Botany*, vol. 93, pp. 75-86, 2004.

- [7] A. K. Bell, D. L. Roberts, J. A. Hawkins, P. J. Rudall, M. S. Box, & R. M. Bateman, "Comparative micromorphology of nectariferous and nectarless labellar spurs in selected clades of subtribe Orchidinae (Orchidaceae)," *Botanical Journal of Linnean Society*, vol. 160, pp. 369-387, 2009.
- [8] M. Stpiczynska, "Nectar resorption in the spur of *Platanthera chlorantha* (Custer) Rchb. Orchidaceae: structural and microautoradiographic study," *Plant Systematics and Evolution*, vol. 238, pp. 119-126, 2003.
- [9] M. S. Box, R. M. Bateman, B. J. Glover & P. J. Rudall, "Floral ontogenetic evidence of repeated speciation via paedomorphosis in subtribe Orchidinae (Orchidaceae)," *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 157, pp. 429-454, 2008.
- [10] L. Ascensao, A. Francisco, H. Cotrim & M. S. Pais, "Comparative structure of the labellum in *Ophrys fusca* and *O. lutea* (Orchidaceae)," *American Journal of Botany*, vol. 92, no. 7, pp. 1059-1067, 2005.
- [11] M. R. B. Lumaga, G. Pellegrino, F. Bellusci, E. Perrotta, I. Perrotta, & A. Musacchio, "Comparative floral micromorphology in four sympatric species of *Serapias* (Orchidaceae)," *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 169, pp. 714-724, 2012.
- [12] N. Güler, "Orchis," *A Checklist of the Flora of Turkey (Vascular Plants)*, İstanbul, Türkiye; Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, 2012, pp. 630-652.
- [13] E. Altundag & E. Sevgi, "Vegetative anatomy of *Orchis italica* Poiret. (Orchidaceae) in Turkey," *XIII OPTIMA Meeting*, Antalya, Türkiye, 2010, pp. 22-26.
- [14] E. Sevgi, E. Altundağ, O. Kara, O. Sevgi, H. B. Tecimen & I. Bolat, "Morphological and Ecological studies on some *Orchis* (Orchidaceae) taxa of Mediterranean region, Turkey," *Journal of Environmental Biology*, vol. 33, pp. 343-353, 2012.
- [15] C. Durmuşkahya, Y. Akyol & C. Özdemir, "Ecology, anatomy and morphology of *Orchis spitzelii* in Turkey," *Journal of Environmental Biology*, vol. 36, pp. 177-184, 2015.
- [16] C. Durmuşkahya, C. Ozdemir, B. Bozdog & M. Ozturk, "Studies on the Morphology, Anatomy and Ecology of *Ophrys lutea* Cav. subsp. *minor* (Guss.) O. Danesch & E. Danesch ex Golz & H.R. Reinhard (Orchidaceae) in Turkey," *Pakistan Journal of Botany*, vol. 46, pp. 81-88, 2014.
- [17] S. Aceto, P. Caputo, S. Cozzolino, L. Gaudio & 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, pp. 67-76, 1999.
- [18] S. Aceto, P. Caputo, L. Gaudio, R. Nazzaro & S. Cozzolino, "Molecular approach to the identification and characterization of natural hybrids between *Orchis pauciflora* and *Orchis quadripunctata* (Orchidaceae)," *Botanica Helvetica*, vol. 110, pp. 31-39, 2000.
- [19] S. Cozzolino, S. Aceto, P. Caputo, R. Nazzaro & L. Gaudio, "Phylogenetic relationships in *Orchis* and some related genera: an approach using chloroplast DNA," *Nordic Journal of Botany*, vol. 18, pp. 79-87, 1998.
- [20] S. Cozzolino, S. Aceto, P. Caputo, A. Widmer & A. Dafni, "Speciation processes in eastern Mediterranean *Orchis* s.l. species: molecular evidence and the role of pollination biology," *Israel Journal of Plant Sciences*, vol. 49, pp. 91-103, 2001.

- [21] G. Sramko, V. A. Molnar, J. A. Hawkins & R. M. Bateman, "Molecular phylogeny and evolutionary history of the Eurasiatic orchid genus *Himantoglossum* s.l. (Orchidaceae)," *Annals of Botany*, vol. 114, pp. 1609-1626, 2014.
- [22] W. T. Jin, A. Schuiteman, M. W. Chase, J. W. Li, S. W. Chung, T. C. Hsu & X. H. Jin, "Phylogenetics of Subtribe Orchidinae s.l. (Orchidaceae; Orchidoideae) Based on Seven Markers (plastid matK, psaB, rbcL, trnL-F, trnH-psba, and nuclear nrITS, Xdh): implications for Generic Delimitation," *BMC Plant Biology*, vol. 17, no. 1, 2017, Art no. 222, doi:10.1186/s12870-017-1160-x.
- [23] K. Hürkan, "Anadolu Orkidesi'nde (*Orchis anatolica* Boiss.) Ribozomal DNA'nın Transkripsiyonu Yapılan İç Ara Bölgelerinin (ITS) Özellikleri," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 1117-1127, 2019. DOI: 10.21597/jist.489021
- [24] A. Dizkırıncı, S. Isler, O. Yığıt, "Molecular phylogenetics of some *Orchis* species (Orchidaceae) native to Turkey using nuclear and chloroplast DNA sequences," *Gazi University Journal of Science*, vol. 30, no. 2, pp. 35-43, 2017.
- [25] Ş. Süngü Şeker, M. K. Akbulut & G. Şenel, "Labellum micromorphology of some orchid genera (Orchidaceae) distributed in the Black Sea region in Turkey," *Turkish Journal of Botany*, vol. 40, pp. 1-14, 2016.
- [26] G. Şenel, Ş. Süngü Şeker, M. Kemal Akbulut & Ö. E. Akçin, "An integrative anatomical, morphological, micromorphological and molecular approach to Turkish epidendroid and orchidoid species (Orchidaceae)," *Nordic Journal of Botany*, 2018, Art no. e01700, doi: 10.1111/njb.01700.
- [27] M. Aybeke, "Edirne çevresindeki *Ophrys* L. (Orchidaceae) türleri üzerinde morfolojik, karyolojik ve palinolojik araştırmalar," Yüksek Lisans tezi, Biyoloji Anabilim Dalı, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 1997.
- [28] M. Aybeke, "Trakya bölgesi'nde yetişen bazı orkide türleri üzerine anatomik araştırmalar," Doktora tezi, Biyoloji Anabilim Dalı, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye, 2004.
- [29] M. Aybeke, "The Pollen and Seed Morphology of some *Ophrys* L. (Orchidaceae) Taxa," *Journal of Plant Biology*, vol. 50, no. 4, pp. 387-395, 2007.
- [30] M. Aybeke, E. Sezik, G. Olgun, "Vegetative anatomy of some *Ophrys*, *Orchis* and *Dactylorhiza* (Orchidaceae) taxa in Trakya region of Turkey," *Flora*, vol. 205, no. 2, pp. 73-89, 2010.
- [31] M. Aybeke, "Anther wall and pollen development in *Ophrys mammosa* L (Orchidaceae)," *Plant Sys Evol*, vol. 298, no. 6, pp. 1015-1023, 2012.
- [32] M. Aybeke, "Comparative anatomy of selected rhizomatous and tuberous taxa of subfamilies Orchidoideae and Epidendroideae (Orchidaceae) as an aid to identification," *Plant Sys Evol*, vol. 298, no. 9, pp. 1643-1658, 2012.
- [33] M. Aybeke, "Morphological and histochemical investigations on *Himantoglossum robertianum* (Loisel.) P. Delforge (Orchidaceae) seeds," *Plant Sys Evol*, vol. 300, pp. 91-97, 2014.
- [34] M. Aybeke, "Embryo and protoplast isolation from *Barlia robertiana* seeds (Orchidaceae)," *American Journal of Plant Sciences*, vol. 4, pp. 1-8, 2013.
- [35] M. Aybeke, "*Ophrys heldreichii*, *Orchis punctulata*" in *New Floristic Records in The Balkans*, 5, Phytologica Balcanicae, vol. 13, Sofia, Bulgaria: Bulgarian Academy of Sciences, 2007, no. 2, pp. 263-264.

- [36] M. Aybeke, "Cephalanthera, Serapias and Spiranthes spp. (Orchidaceae)," in *New Floristic Records in The Balkans*, 30, Phytologica Balcanicae, vol. 22, Sofia, Bulgaria: Bulgarian Academy of Sciences, 2016, no. 2, pp. 260.
- [37] M. Aybeke, "Edirne Çevresindeki *Ophrys* L. (Orchidaceae) türleri üzerinde Karyolojik Araştırmalar," *Sistemik Botanik Ot Dergisi*, c. 7, s. 1, ss. 187-196, 2000.
- [38] M. Aybeke, "In vitro germination experiments on granular pollens and polliniums in orchids," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 15, no. 1, pp. 71-80, 2002.
- [39] M. Aybeke, "Vessel anatomy studies in orchids (Orchidaceae)," *Acta Biologica Turcica*, vol. 30, no. 4, pp. 89-93, 2017.
- [40] M. Aybeke, "*Orchis mascula* subsp. *pinetorum*'un (Orchidaceae) yumru anatomisi," 22. *Ulusal Biyoloji Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 2014, s. 533.
- [41] J. Renz, G. Taubenheim, "*Orchis* L., Orchidaceae" in *The Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, vol. 8, Edinburgh, UK: Edinburgh University Press, 1984, pp. 516-535.
- [42] V. J. A. Kreutz, "Orchidaceae", in *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, Suppl. 2, Edinburgh, UK: Edinburgh University Press, 2000, pp. 274-305.
- [43] N. Güler, İ. G. Deniz, "Orchidaceae," *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*, 1. baskı, İstanbul, Turkey: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayınları, 2012, ss. 630-652.
- [44] C. A. J. Kreutz & A. H. Çolak, "*Türkiye Orkideleri [Orchids of Turkey]*," İstanbul, Türkiye: Rota Yayınları, 2009.
- [45] V. Bojnanský, A. Fargašová, "*Atlas of Seeds and Fruits Of Central And East-European Flora, The Carpathian Mountains Region*," Dordrecht, Netherlands: Springer, 2007.
- [46] P. J. Rudall & R. M. Bateman, "Roles of synorganization, zygomorphy and heterotopy in floral evolution: the gynostemium and labellum of orchids and other lilioid monocots," *Biological Reviews*, vol. 77, pp. 403-441, 2002.
- [47] Ş. Süngü Şeker & G. Şenel, "Comparative seed micromorphology and morphometry of some orchid species (Orchidaceae) belong to the related *Anacamptis*, *Orchis* and *Neotinea* genera," *Biologia*, vol. 72, no. 1, pp. 14-23, 2017, doi: 10.1515/biolog-2017-0006a.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

3B Yazıcı Teknolojilerindeki Kullanılan Yöntemler ve Gelişmeler Üzerine Bir Derleme

 İdris KARAGÖZ^{a,*},  Ayşe DANIŞ BEKDEMİR^b,  Özlem TUNA^c

^a Polimer Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Yalova, TÜRKİYE

^b Bilgisayar Destekli Tasarım ve Animasyon Bölümü, Plato Meslek Yüksekokulu, İstanbul Ayyansaray Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^c Kimya Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Yalova Üniversitesi, Yalova, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: idris.karagoz@yalova.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.877423

ÖZ

Günümüzün umut vadeden teknolojisi olarak eklemeli imalat (Eİ) veya 3B yazıcı teknolojileri farklı alanlarda kullanılabilir ürünlerin/parçaların üretilmesi konusunda dikkatleri üzerine çekmektedir. 3B yazıcı teknolojileri ile farklı malzemeler kullanılarak istenilen mekanik ve yapısal özelliklere sahip parçalar üretilmektedir. Bu teknolojiler geleneksel üretim yöntemlerine göre parça tasarımında esneklik, üretim sürecinde ise malzeme, enerji ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bu çalışmada, 3B yazıcı teknolojileri, Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) tarafından yapılan sınıflandırma temel alınarak yedi ana başlık altında sınıflandırılmıştır. Eİ yöntemleri çalışma prensibi ve kullanılan malzeme türü dikkate alınarak anlatılmış ve 3B yazıcılar ile yapılan çalışmalar incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, 3B yazıcı teknolojilerinde polimerler, metal ve alaşımları, seramikler ve kompozit malzemelerin hammadde olarak kullanılabilirliği ve baskı sonrası ikincil işlemler ile oldukça yüksek mekanik özelliklere sahip parçaların üretilbildiğini göstermektedir. Diğer yandan, 3B baskı teknolojilerinin otomotiv, savunma, havacılık ve demiryolu taşımacılığı da dahil olmak üzere çok çeşitli endüstriyel sektörlerde kolayca prototip oluşturma ve bileşenlerin üretiminde yeni ufuklar açacağı beklenmektedir. Ancak 3B teknolojilerinde kullanılan malzeme sayısı şu an için oldukça sınırlıdır ve çalışmalar bu teknolojilerde kullanılabilir yeni malzemelerin araştırılması üzerine yoğunlaşmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, 3B yazıcılar, 3B teknolojisi, Yenilikçi malzemeler

A Review of Used Methods and Developments in 3D Printer Technologies

ABSTRACT

Additive manufacturing (AM) or 3D printer technologies, as today's promising technique, has been drawn attention to the production of innovative products/parts that can be used in various fields. It can produce materials with desired mechanical and structural properties with 3D technologies. As compared to traditional production methods, the promising technology provides flexibility in product design, and contributes to increase material, energy, and cost efficiency in manufacturing system. Herein, 3B printer technologies are divided into seven different groups according to the American Society for Testing and Materials (ASTM) classification. AM methods are explained by considering working principles, and the type of material, as well as studies conducted with 3B printers using these methods were examined. This study shows that in 3D printer technologies, polymers, metals and alloys, ceramics and composite materials can be utilized as raw materials and post-printing

secondary processes promote to produce parts with excellent mechanical properties. On the other hand, the technologies have been expected to open new horizons for easily creating prototypes and production of components using plastics, metals, metal alloys and ceramic materials used in a wide range of industrial sectors, including automotive, defence, aerospace, and rail transport. Nowadays, the number of raw materials for 3D technologies are limited and, recent studies should be directed to investigate new materials.

Keywords: Additive manufacturing, 3B printer, 3B technology, Innovative materials

I. GİRİŞ

3B (Üç Boyutlu) yazıcılar günümüz teknolojisinin en önemli mühendislik ürünlerinden biridir. İlk kez 1984 yılında Dr. Charless Hull tarafından geliştirilen 3B yazıcı teknolojisi, 2006 yılına kadar yalnızca hızlı prototipleme alanında kullanılmıştır [1]. 2006 yılında Reprap ve Fab@home projesi ile tekrar gündeme gelmiş, endüstri 4.0, bilgisayar destekli tasarım programları ve malzeme bilimindeki gelişmelerle birlikte yöntem kullanım açısından daha geniş kitlelere ulaşmıştır [2],[3].

3B yazıcı teknolojisinin temel mantığını, CAD/CAM (Bilgisayar Destekli Tasarım/Bilgisayar Destekli Üretim) programları kullanılarak sanal ortamda üç boyutlu tasarlanmış olan objelerin, amaca uygun farklı tür malzemelerin kullanılmasıyla iki boyutlu bir düzlem üzerinde üst üste ince katmanlar şeklinde yığılarak somut bir obje haline getirilmesi oluşturmaktadır. CAD/CAM programlarında tasarlanan parçalar “.stl” (stereoligrafi) uzantısıyla dışa aktarılır ve Şekil 1’de gösterildiği gibi 3B yazıcılarda değeri olan bir ürüne dönüştürülürler [3],[4]. Ürüne son şeklini vermek için, kullanılan 3B yazıcı teknolojisi ve malzemeye göre veya istenilen ürün özelliğine göre (renklendirme, parlatma, mukavemet arttırma, yüzey düzeltme, gerilim giderme vb.) imalat sonrası ek işlemler uygulanabilir [5]. 3B yazıcılarla yapılan üretim eklemeli imalat (Eİ) teknolojileri olarak da isimlendirilmektedir. Eİ yöntemiyle üretilmiş bir parçada, talaşlı imalat, döküm, kaynak [6],[7] vb. diğer geleneksel yöntemlerle yapılan üretime oranla hammaddeden %90 oranında tasarruf yapılabilmektedir [2].



Şekil 1. 3B yazıcılarla tasarım ve üretim [6]

3B yazıcı teknolojileri, üretim paradigması ve üretim imkanları açısından endüstriyel anlamda, yeni tasarımların pazara daha hızlı sürülmesi, üretim sürelerinin ve maliyetlerinin azaltılması, müşteri talebinin daha hızlı karşılanması gibi yeni fırsatlar sunmaktadır [9]. Son yıllarda pek çok şirketin 3B yazıcı teknolojilerini benimsediği ve sunduğu avantajlardan faydalanmaya başladığı bilinmektedir. Wohlers tarafından 2014 yılında yayınlanan bir rapora göre; 2013 yılında dünya çapında 3,07 milyar dolarlık bir pazara sahip olan Eİ teknolojilerinin 2021 yılında 25 milyar doların üzerine çıkması beklenmektedir [10]. Bu konuda çalışan uzmanlar; Eİ yöntemlerinin gelecekte geleneksel üretim süreçlerinin yerini alacağını düşünmüyor ancak bu süreçleri tamamlayıcı bir unsur olarak görüyorlar. Gelişen teknolojiyle birlikte, Eİ yöntemlerinin son zamanlardaki uygulamalarının günlük yaşamdaki pek çok şeyi kökten değiştireceği görüşünde birleşiyorlar [5]. Özellikle firmaların ekonomik bir şekilde az adetlerde, kişiselleştirilmiş özel ürünler yapmasına imkân vermesi, gelecekte üretim açısından çok farklı teknolojileri ve lojistik gereksinimleri de ortaya çıkaracaktır [4]. Günümüzde 3B yazıcılar havacılık, otomotiv, medikal ve tıp uygulamaları, kalıpcılık uygulamaları, nano kompozit üretimi, enerji sektörü, inşaa sanayi, tekstil, gıda sanayi, eğitim, sanat ve hobi uygulamalarına kadar çok

geniş bir alanda kullanılmaktadır [11],[12]. 2020 yılında Amerikan şirketlerinin %42'sinin üretimde 3D yazıcıları kullandığı tahmin edilmektedir [13].

Eİ teknolojileri kullanılmaya başlandığı ilk yıllara oranla 2006 yılından itibaren çok daha hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir [2],[13]. Kişiselleştirilmiş özel ürünlerin ve karmaşık geometrideki parçaların üretilmesi, daha özgün tasarımların ortaya çıkması ve bunların dijital olarak paylaşılabilmesi, tasarımın farklı üretimin farklı yerlerde/ülkelerde yapılabilmesi, ürün iyileştirmelerinin hızlandırılabilmesi, daha hızlı teslimat ve daha az stok tutulması, tasarım serbestliği sağlanması, atık malzeme miktarını azaltması, geri dönüştürülebilir malzeme kullanılması, lojistiği kolaylaştırması, tasarım ve üretim arasındaki uyum, kalıba ihtiyaç duyulmaması, üretim öncesi ürün maliyetlerinin üretim süresi ve kullanılan malzeme miktarına bağlı olarak hesaplanabilmesi, zaman ve maliyet tasarrufu sağlanması Eİ yöntemlerinin en büyük avantajlarıdır [12],[13],[14].

Eİ yöntemlerinin sahip olduğu bu benzersiz avantajların yanında bazı dezavantajları ve zorlukları da mevcuttur. Eİ yöntemiyle üretilmiş parçalardaki mekanik anizotropi, homojen olmayan mikro yapı, parçanın üretimi esnasında ısıtma ve soğutmaya bağlı oluşan ve parça performansını etkileyen iç gerilmeler, bazı Eİ yöntemlerinde üretim sonrası parça yüzeylerine ek yüzey işlem uygulama gereksinimi, işlem hızının kritik olması, Eİ yöntemlerinin dezavantajlarından bazılarıdır. Eİ yönteminde kullanılan teknolojiye bağlı olarak henüz tam olarak çözülemeyen bazı sınırlılıklar da söz konusudur. Bu sınırlılıklar; (i) malzeme, renk ve yüzey özellikleri açısından seçeneklerin sınırlı olması, (ii) üretilen parçaların sıcaklık, nem ve kırılma dayanımının az olması, (iii) 3B yazıcıda üretilen parça boyutu büyüdükçe parça maliyetinin katlanarak artması, (iv) talaşlı imalat vb. diğer üretim yöntemlerine oranla boyutsal hassasiyetin daha düşük olması ve orijinal boyutlarda üretim zorluğu, (v) 3B yazıcı fiyatlarının yüksek olması, (vi) CAD dosyalarının/tasarımların izinsiz çoğaltılma ihtimali şeklinde ifade edilebilir [11],[14].

3B yazıcılarla birlikte polikarbonat (PC), akrilonitril-bütadien-stiren (ABS), poli(fenilen sülfon) (PPSU), PC-ABS karışımları, polilaktik asit (PLA), poliamid (PA), polipropilen (PP), polistiren (PS), ultraviyole (UV) ile sertleşen reçineler, vakslar, köpük ve toz şeklindeki polimerler, karbon fiber, alüminyum (Al) katkılı PA, paslanmaz çelik, Al, bakır (Cu), demir (Fe), nikel (Ni) ve kobalt (Co) bazlı alaşımlar, seramik tozları, silika, kum, grafit, Al₂O₃, alçı vb. malzemeler halihazırda kullanılmaktadır. Son yıllarda 3B yazıcılar için malzeme geliştirme konusunda yapılan çalışmalarla birlikte, parça üretiminde kullanılan malzeme sayısı giderek artmaktadır [11]. 3D yazıcılar için filament üretimi yapan firmalar, kullanım oranları, maliyetler, talep sıklığı gibi durumları dikkate alarak çok kullanılan belirli renkleri stoklarında tutmaktalar. Bu da farklı renk isteyen kişi ya da şirketler için bir sınırlılık oluşturmaktadır. Gelecekte 3B yazıcı fiyatlarının ucuzlaması ve bireysel kullanımın/parça üretiminin yaygınlaşmasıyla birlikte daha fazla sayıda renk seçeneğinin kullanıcıya sunulacağı ve bu sınırlamanın da kalkacağı düşünülmektedir. Ancak 3B yazıcılarda bireysel kullanımın artması fikri mülkiyet haklarındaki ihlalleri de arttıracaktır. Fikri mülkiyet haklarındaki bu ihlallerin, 3B yazıcılarla parça üretiminde yeni yasal düzenlemeleri de beraberinde getireceği ön görülmektedir.

Üretilen ürüne ve kullanılan teknolojiye bağlı olarak ürün/parça üretiminde çok farklı Eİ yöntemleri ve malzemeler kullanılmaktadır. Bu durum şirketler ve bireysel kullanıcılar için Eİ yöntemi seçiminde yeni bir zorluk seviyesi oluşturmaktadır. Parça geometrisinin karmaşıklığı, yöntemde kullanılan malzemelerin seçimi, 3B yazıcı ve CAD modellerinin uyumu ve hala çözüm bekleyen diğer teknik konular derinlemesine bir çalışmayı gerektirmektedir [15]. Yukarıda bahsedilen çalışmalardan da anlaşılacağı gibi, elektrik-elektronik, otomotiv, inşaat, taşımacılık, uzay ve havacılık uygulamalarından, doku ve yapay organ üretimine kadar çok farklı alanlarda 3B teknolojisi kullanılarak üretilmiş ürünlerin gelecekte daha yoğun bir şekilde kullanılacağı ve üretimde 3B teknolojilerini kullanan firmalara çok büyük avantajlar sağlayacağı görülmektedir. Ülkemizde 3B teknolojilerindeki son gelişmeleri ele alan ve inceleyen yeterli sayıda çalışma yoktur. Genellikle çalışmalar belli alanlara yoğunlaşmakta ve spesifik olarak kalmaktadır. İmalat yöntemleri, gelişen yeni teknolojilere bağlı olarak çok hızlı bir değişim göstermektedir. Bu nedenle son gelişmelerin ele alındığı, bu konuda çalışan ve konuya ilgi duyanlar için bir kaynak olarak bu çalışmanın yapılması, bu

konuda kaynak anlamında bir eksikliğin giderilmesine katkı sağlayacaktır.

Gündelik hayatta 3B yazıcı terimi Eİ yöntemleriyle aynı anlamda kullanılmaktadır [12]. Eİ yönteminde kullanılan makine ve malzemeye göre uygulanan prosesler ve Eİ yöntemlerinin çalışma prensipleri farklılık göstermektedir. Bu çalışmada; 3B yazıcı teknolojilerindeki son gelişmeler mevcut çalışmalar doğrultusunda gözden geçirilecek ve kullanılan proses, malzeme ve teknolojiye göre yöntemler sınıflandırılacaktır. Bu çalışma ile 3B yazıcı teknolojilerindeki kullanılan yöntemlerin ve son gelişmelerin incelenerek Türkçe bir kaynak oluşturulması amaçlanmaktadır.

II. GÜNÜMÜZDE YAYGIN KULLANILAN 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Literatürde 3B yazıcı teknolojileriyle ilgili olarak çok farklı sınıflandırma yöntemleri mevcuttur [16]. 3B yazıcı teknolojilerindeki proses farklılıkları, kullanılan makine ve malzemelere bağlı olarak Amerikan Test ve Malzeme Derneği (ASTM) tarafından, 2010 yılında Tablo 1'dekine benzer şekilde; 1- Fotopolimerizasyon, 2- Malzeme ekstrüzyonu, 3- Malzeme püskürtme, 4- Yapıştırıcılarla katmanlı imalat, 5- Toz yataklı eritme, 7- Yönlendirilmiş enerji biriktirme ve 6- Levha/Sac laminasyonu olmak üzere yedi ana kategoride bir sınıflandırma yapılmıştır [17]. Bu çalışmada ASTM tarafından yapılan sınıflandırma temel alınmıştır.

Tablo 1. Ekleme imalat yöntemlerinin sınıflandırılması [1],[18]

S. No	Tip	Proses	Teknoloji	Malzeme
1	Fotopolimerizasyon	Lazerle sertleştirme	Stereolitografi (SLA)	-UV ile sertleşen reçineler -Vakslar -Seramikler
		Projektörle sertleştirme	Dijital ışık işleme (DLP)	
		LED ve oksijenle sertleştirme	Aralıksız dijital ışık işleme (CDLP)	
2	Malzeme ekstrüzyonu	3B Yazıcı	Eriyik yığma modelleme (FDM)	-Termoplastikler -Vakslar
		UV ışıkla ile sertleştirme	Malzeme püskürtme (MJ)	-UV ile sertleşen reçineler
3	Malzeme püskürtme	Isı ile sertleştirme	Nanopartikül püskürtme (MPJ)	-Metaller
		Kesici ile şekillendirme	DOD (İstek üzerine bırakma)	-Vakslar
4	Yapıştırıcılarla katmanlı imalat	Bağlayıcı madde ile birleştirerek	Yapıştırıcı ile katmanlı imalat (BJ)	-Alçı -Kum -Metaller
5	Toz yataklı eritme	Madde ve enerji ile eritme	Multijet eritme (MJF)	-Termoplastikler
		Lazer ile sertleştirme	Seçici lazer sinterleme (SLS)	-Metaller
		Elektron ışınıyla eritme	Direkt metal lazer sinterleme (DMLS) Seçici lazer sinterleme (SLM)	
6	Yönlendirilmiş enerji biriktirme	Lazer ile eritme	Lazer toz şekillendirme (LENS)	-Metaller
		Elektron ışınıyla eritme	Elektron ışın eklemeli imalat (EBAM)	

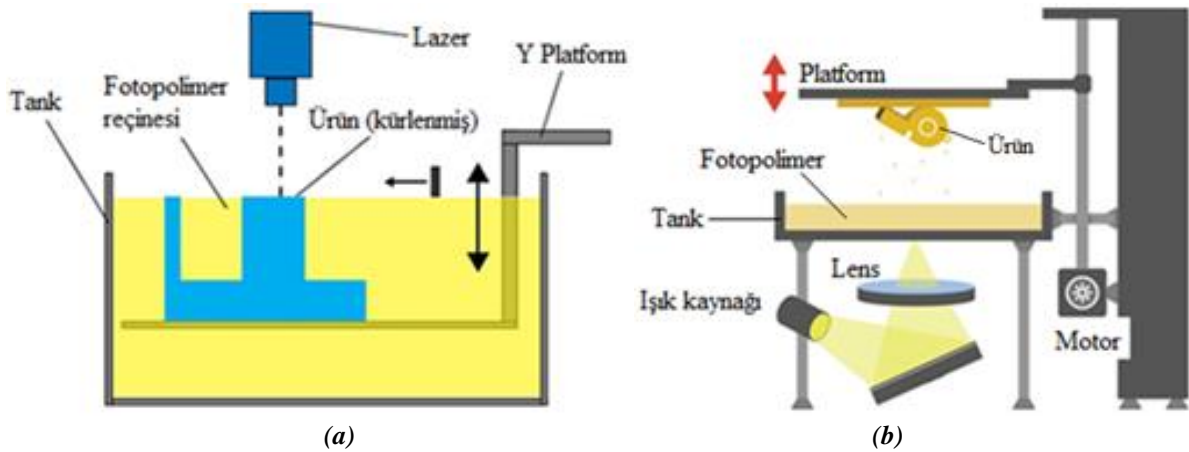
Tablo 1 (devam). Eklemeli imalat yöntemlerinin sınıflandırılması [1],[18]

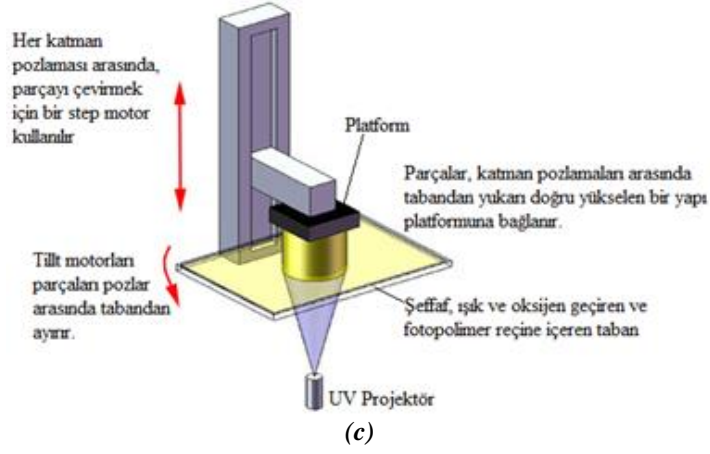
7	Levha/Sac laminasyonu	Tabakalı obje üretimi (LOM)	-Termoplastikler -Kompozitler -Kâğıt
---	-----------------------	-----------------------------	--

A. FOTOPOLİMERİZASYON (VAT PHOTOPOLYMERIZATION)

Fotopolimerizasyon prosesinde sıvı, radyasyonla kürlenene reçineler ve fotopolimerler birincil malzemeler olarak kullanılmaktadır. Çoğu fotopolimer malzemeler, UV dalga boyunda radyasyona tepki verir. Benzer şekilde bazı ışık kaynakları da bu amaçla kullanılmaktadır. Işınlama ile bu malzemeler kimyasal reaksiyona girerek katı hale gelirler. Bu reaksiyona fotopolimerizasyon denir [19]. Fotopolimerizasyon yöntemi ilk kez Charless Hull tarafından 1984 yılında stereolitografi yöntemi (SLA) kullanılarak geliştirilmiştir [1]. Fotopolimerizasyon yönteminde, stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve aralıksız dijital ışık işleme (cDLP) olmak üzere, Şekil 2'de gösterildiği gibi üç farklı teknik kullanılmaktadır.

SLA yönteminde modeli katman katman inşa eden bir sıvı fotopolimer reçinesi kullanılmaktadır. Gerektiğinde reçineyi iyileştirmek veya sertleştirmek için bir ultraviyole lazer ışık kullanılmaktadır. Oluşturulan katmanlar, sonrasında parça tamamlanıncaya kadar kürlenmektedir. Şekil 2a'da gösterildiği gibi; sistemde bir platform her yeni katman kürlendikten sonra, oluşturulan modeli sonraki katman için aşağıya doğru hareket ettirmektedir [20]. Kalan reçine tekrar kullanılabilir. Bu nedenle proses tamamlandığında, reçinenin kirlenmemesi için model reçineden çıkartılmalı ve fazla reçine tanktan boşaltılmalıdır. SLA yönteminde, saatte 1-3 cm katman oluşturacak şekilde üretim hızı yüksektir. Minimum tabaka kalınlığı sertleşme derinliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Tabaka kalınlığı, kürlenme süresi vb. proses parametreleri üretilen parçanın mekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır [21]. Proses parametrelerinin optimizasyonu veya reçineye nano dolguların eklenmesiyle üretilen parçaların mekanik özellikleri iyileştirilmektedir. Weng ve ark. [22] tarafından SLA reçinesine yüzeyi modifiyeli nano dolgular ilave edilmiştir. Araştırmacılar ağırlıkça %5 SiO₂ ilavesinin sertleşme hızını arttırdığı ve parçanın mekanik özelliklerini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, SLA yöntemiyle nano kompozitlerin üretilebileceğini göstermiştir. Onuh ve Han [23] çalışmalarında parametre optimizasyonu ile yapılan üretimlerde, parçaların daha hızlı bir şekilde üretilebileceği, üretim maliyetlerinin azalacağını ve çok iyi yüzey kalitesine sahip ürünler elde edilebileceğini belirtmişlerdir.



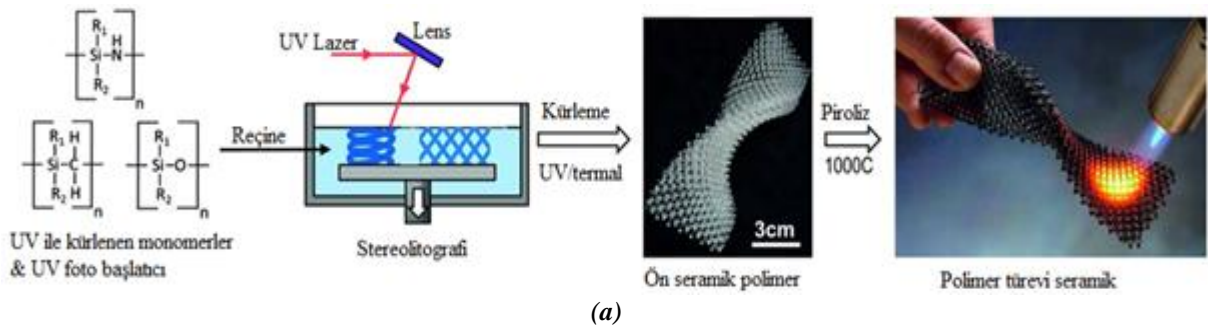


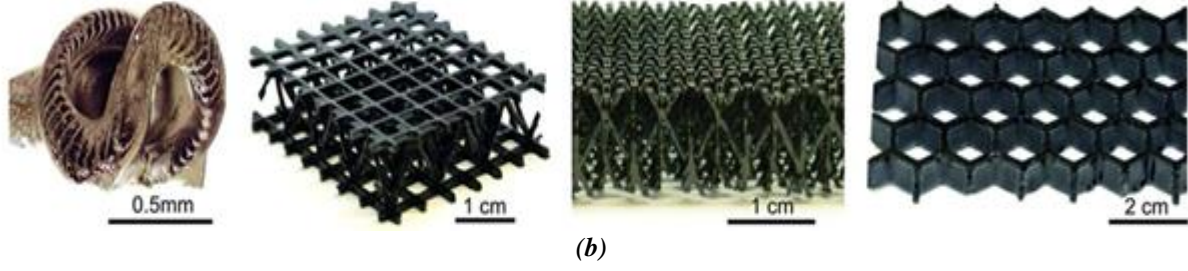
Şekil 2. Fotopolimerizasyon prosesleri, (a) SLA [20], (b) DLP [24], (c) cDLP [25]

SLA yöntemiyle üretilen ürünlerin yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı oldukça iyidir. West ve ark. [26] göre; üründe istenen yüzey kalitesi, boyutsal ve geometrik toleranslarının elde edilmesinde, parça oryantasyonu, tabaka kalınlığı, z-seviyesi bekleme süresi, tarama süresi, taramaların (ince çizgilerin) aşırı kürlenmesi ve parçanın tamamının aşırı kürlenmesi gibi altı temel proses değişkeni etkili olmaktadır. Araştırmacılar, bu proses parametrelerinin doğru bir şekilde ayarlanmasının istenilen amaca ulaşmada kilit faktör olduğunu belirtmişlerdir.

SLA yönteminde, modeli oluşturmak için sıvı malzeme kullanıldığından, toz esaslı yöntemlerin aksine, üretim esnasında malzemeye yapısal bir destek yoktur [1]. SLA yöntemiyle üretilmiş parçaların yapısal uygulamalarda kullanılabilmesi için, modele destek yapılar eklenmeli ve post kürlenme işlemi yapılmalıdır [20]. Ancak kaliteli bir ürün için, proseste fotopolimer reçinesi ve destek yapılar arasında boşluklar oluşmamasına dikkat edilmelidir. Proses sonrası destekler bir bıçak ya da keskin bir alet yardımıyla reçineden ayrılmalıdır. Ayrılma sonrası model önce alkolle sonra su ile durulanmalıdır. Durulama sonrasında model hava tabancasıyla ya da normal havada kurutulmalıdır [20]. Yöntemin aşırı ısınma, taranmış çizgi şekli, yüksek ekipman ve malzeme maliyetleri gibi dezavantajları vardır. Bu teknoloji doğası gereği fotopolimerizasyona bağlıdır, bu nedenle fotopolimerler ile sınırlıdır [1]. Ancak farklı araştırmacılar tarafından bu teknik kullanılarak seramik bileşenlerde SLA yöntemiyle işlenmiştir [27],[28],[29],[30],[31].

Şekil 3'te SLA prosesiyle üretilmiş polimer türevi seramiklere örnekler verilmiştir. Ön seramik polimerin sahip olduğu konfigürasyon (Şekil 3a), piroliz sonrası (Şekil 3d) seramiğin bileşimini, mikro yapısını ve verimini etkiler. Fotopolimer reçinenin bağ yapısı, molekül ağırlığı ve sahip olduğu özellikler bu durum üzerinde etkilidir. Piroliz sırasında düşük moleküler kütle türlerinin kaybının önlenmesi için polimer molekülleri arasında yüksek bir çapraz bağlanma gereklidir. Polimere Silan bileşiklerinin eklenmesi tipik olarak oksijen miktarını azaltacağı için yapıda SiC oranı artacaktır. Şekil 3'te verilen örneklerde (Şekil 3e, Şekil 3f, Şekil 3g, Şekil 3h) çok farklı geometrilere sahip polimer türevi seramik parçaların SLA yöntemiyle üretilebileceği görülmektedir.





Şekil 3. (a) SLA prosesi, (b) Polimer seramik karışımlarıyla üretilmiş ürün örnekleri

DLP yönteminde ışık kaynağı (projektör) tankın altında konumlandırılmıştır. Model deseni oluşturmak için yansıtma yöntemi kullanılır. Işık, yarı iletken bir çip üzerindeki bir matriste yerleştirilen mikroskobik boyutlu aynalardan oluşan dinamik bir maske olan Dijital Mikro Ayna Cihazı (DMD) üzerine yansır. Işığı tankın dibine veya bir ısı emiciye doğru yönlendiren mercekler arasında bu küçük aynalar hızla değiştirilerek, reçinenin verilen katman içinde kürlendiği koordinatlar tanımlanır [33]. Işık, monomer veya oligomer fotopolimer reçineyi tankın altındaki transparan yüzeyden geçerek kürlüştürmektedir. Sıvı reçine tank içerisinde olduğundan DLP yönteminde atık oluşmaz ve ışık kullanımı nedeniyle üretim hızı yüksektir. Sıvı bileşen parçanın ağırlığını desteklemiyorsa SLA prosesinde olduğu gibi destek yapılar kullanılabilir. SLA ve DLP proseslerini farklı kılan ışık kaynağıdır [20]. Valentinčić ve ark. [34] göre, DLP prosesinde aydınlatmanın yönü kilit bir role sahiptir. DLP projektörünün eşit olmayan şekilde aydınlatılması, daha küçük kullanılabilir çalışma alanı ve daha düşük bir baskı kalitesi sağlar. Bir yazılım ara yüzü ile aydınlatmada karşılaşılan bu problem giderilebilir. Ancak bu durum pozlama süresini arttırabilir. Borlaf ve ark. [35], son yıllarda ışığa duyarlı seramik çamur karışımlarının hazırlanmasıyla birlikte, yüksek çözünürlüklü, karmaşık geometrilere ve iyi mekanik özelliklere sahip seramik malzemelerin DLP yöntemiyle üretildiğini belirtmişlerdir. DLP yöntemi şematik olarak Şekil 2b’de gösterilmiştir. SLA ve DLP yöntemi prensipte benzer olmasına rağmen, her iki teknolojiye Şekil 4’de gösterildiği gibi değişken çıktılar üretebilir.

cDLP prosesinde, oksijen geçirgen şeffaf bir tabandan (mercekler) ışın demetinin sıvı reçine içerisine yansıtılması tekniği kullanılmaktadır (Şekil 2c). Ardışık çalışan ışık ve oksijen, reçinenin katılaştırılmasını kontrol ederek modeli oluşturmaktadır. Yöntemle mekanik özellikleri iyi ve yüksek çözünürlüklü parçalar üretilmektedir. cDLP prosesi, DLP teknolojisinin çalışma mantığıyla benzerdir [24]. SLA ile DLP ve cDLP arasındaki en belirgin fark donanımdır [25]. SLA prosesinde parça reçineye doğru aşağı yönlü hareket ederken, DLP ve cDLP prosesinde ise reçineden yukarı doğru çekilmektedir. SLA prosesinde kullanılan cihazların UV lazeri, cDLP prosesinde kullanılan lamba tabanlı sistemden altı kat daha fazla güç üretmektedir. SLA prosesinde saniyeler içerisinde oluşturulan katmanlar, cDLP prosesinde çok daha uzun pozlama süreleri nedeniyle dakikalar almaktadır. Bunun için cDLP prosesinin üretim hızı SLA prosesine göre oldukça düşüktür [25]. Pan ve ark. [36] uzun pozlama süresinin, proses sırasında yapı formunun şeffaf taban plakasına yapışmasına neden olabileceğini belirtmiştir. Dean ve ark. [37] göre, bu yapışma baskı işleminin bozulmasına yol açan delaminasyona neden olabilir. Bu nedenle taban plakasının bir sonraki katın polimerizasyonundan önce akması gereken polimeri aktif olarak itmemesi önemlidir.

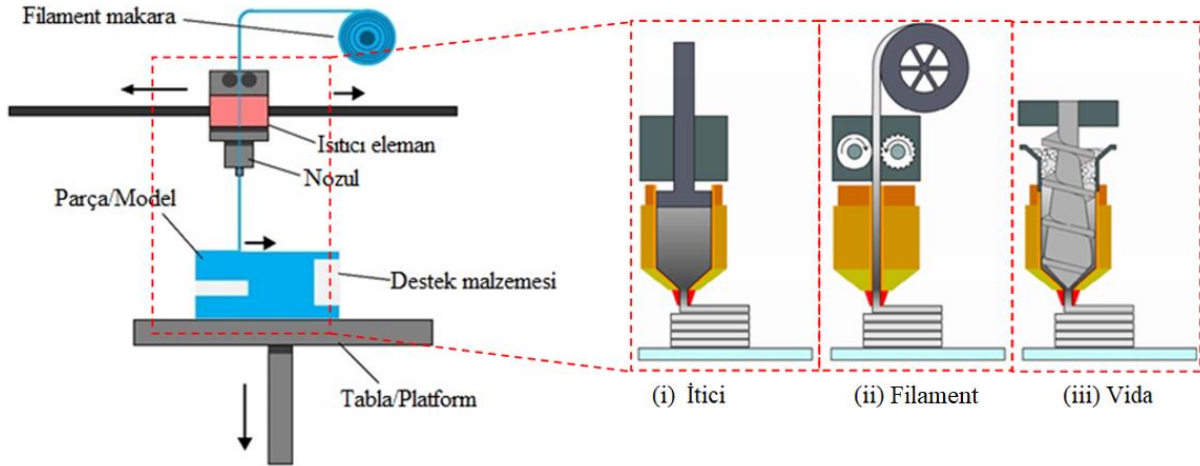
cDLP prosesinde fotopolimerlere ek olarak, nano parçacıklar veya seramikler gibi dolgu maddeleri içeren bulamaç reçineleri de fotokimyasal kürlleme yöntemiyle kullanılabilir. cDLP’de kullanılan 3B baskı malzemesi tipik olarak ışığa duyarlı oligomerler, seyreltici ve foto başlatıcılardan oluşan düşük viskoziteli bir reçine olarak formüle edilir. Seyrelticinin birincil amacı, reçinenin viskozitesini azaltmaktır. Shin ve Becker [38] ticari reçine formülü gizli kalsa da kullanılan seyrelticinin oligomerin monomerik alt birimine benzediğini belirtmiştir. Dean ve ark. [25] göre, seyreltici kullanımı katmanlar arasında boşluk oluşumunu önleyebilir. Seyreltici, reçinenin büyük bir bölümünü oluşturduğu için, birleştirilmemiş artıkların, 3B baskıdan sonra iyileştirilmesi veya yıkanması gerekmektedir.



Şekil 4. SLA ve DLP yöntemiyle üretilmiş parçaların karşılaştırılması [33]

B. MALZEME EKSTRÜZYONU (MATERIAL EXTRUSION)

Stratasys şirketinin kurucu ortağı olan Scott Crump, 1998’de erimiş termoplastik malzemeyi mekanik olarak bir alt katmana ekstrüde ederek katmanlar oluşturan bir eklemeli imalat yöntemi geliştirdi [1]. Eriyik Yığılma Modellemesi (FDM) olarak isimlendirilen bu yöntemde; filament şeklindeki malzeme, ısıtılmış bir nozuldun çekilmekte ve nozulun ısısıyla eriyen malzeme, Şekil 5’te görüldüğü gibi tabla/platform üzerine katmanlar şeklinde eklenerek model oluşturulmaktadır [39]. Sitemde yer alan nozul, yatay olarak hareket edebilir ve her yeni tabaka eklendikten sonra bir platform dikey olarak yukarı ve aşağı hareket ederek diğer katmanların oluşturulmasını sağlar [20].



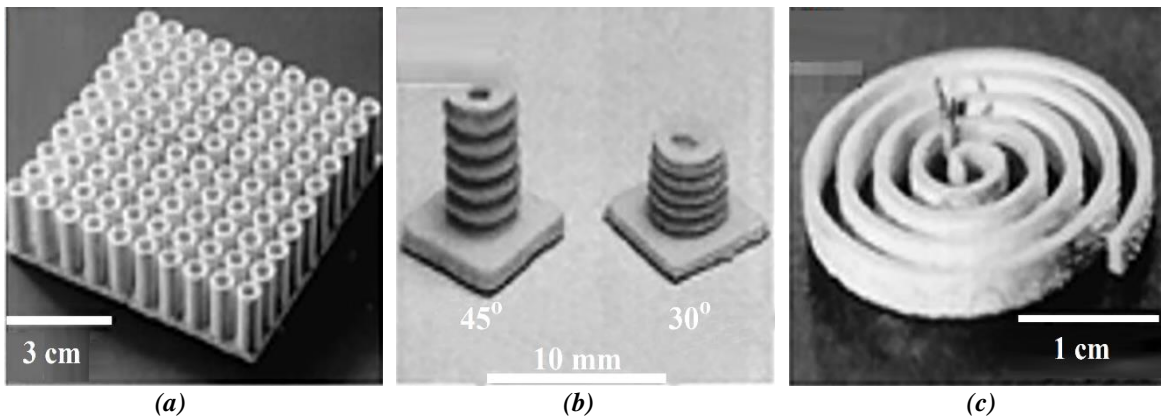
Şekil 5. FDM yöntemi şematik gösterim [20],[40]

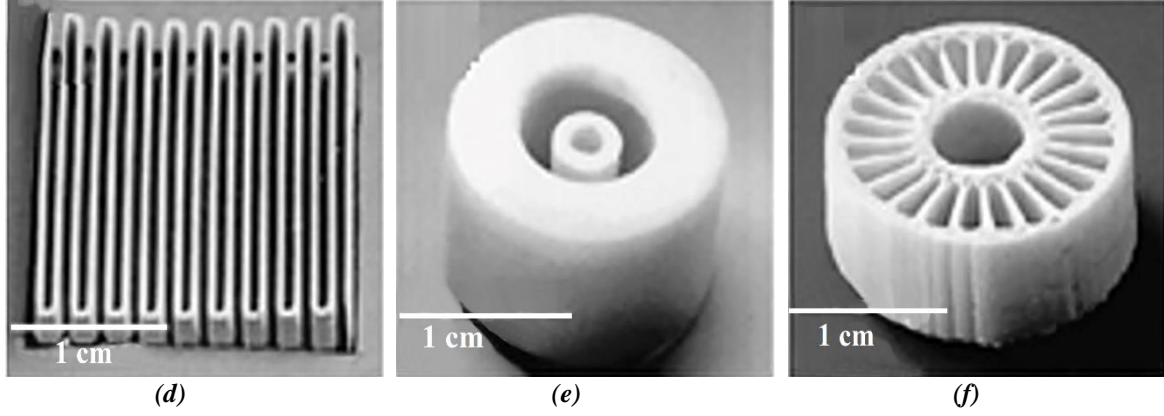
Proseste, nihai model kalitesini etkileyen birçok parametre mevcuttur. İstenilen özelliklerde ürünlerin üretilebilmesi, proseste bu parametrelerin kontrol edilmesine bağlıdır. Yadav ve ark. [41], FDM yönteminde, çekme mukavemetinin ekstrüzyon sıcaklığı ve katman yüksekliğinden etkilendiği ancak ekstrüzyon sıcaklığının çekme mukavemeti üzerinde katman yüksekliğinden daha etkili olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından, belli bir sınır değere kadar, daha yüksek ekstrüzyon sıcaklıklarının, çekme mukavemetini artırdığı rapor edilmiştir. FDM yönteminde model katman katman oluşturduğundan, üretilen ürünün özellikleri malzemenin bir nozuldun sabit basınç altında ve

sürekli bir akışta eklenmesine göre de değişiklik göstermektedir. Başarılı bir proses için basınç ve malzemenin akış hızı sabit olarak tutulmalıdır. Ürün yüzey kalitesi, nozul çapı ve son işlemlere göre değişiklik göstermektedir. Alsoufi ve Elsayed [42], nozul çapı ve katman yüksekliğinin, üretim süresi ve parça maliyetini etkilediğini ve dış yüzeylere oranla yüzey pürüzlülüğünün iç yüzeyler de daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Yüksek toleranslara sahip parçaların üretiminde, yer çekimi ve malzemelerin yüzey gerilimi de hesaba katılmalıdır.

Proseste sıcaklığın doğru ayarlanması da oldukça önemlidir. Yöntem kullanılan termoplastik malzemenin türüne bağlı olmakla birlikte yüksek çalışma sıcaklıkları gerektirmektedir. Modeli oluşturan katmanlar, sıcaklığın kontrol edilmesi veya kimyasal ajanların kullanımı ile doğru bir şekilde birleştirilebilir. FDM yöntemiyle üretilmiş ürünler, tipik olarak yüksek gözenekliliğe sahiptir ve parçanın soğutma prosesi, üretilen parçanın çarpılma oranı ve gözeneklilik üzerinde oldukça etkilidir. Benzer şekilde, yapı platformu, bölmeler ve katmanlar arasındaki sıcaklık farklılıkları, katmanların birbirine bağlanması, katkı ve dolgu maddeleri ilavesi vb. de parçanın mekanik özellikleri üzerinde önemli bir rol oynar [43]. Weng ve ark. [44] ABS filamente ağırlıkça %5 montmorillonit ilavesiyle çekme mukavemetinin %43 oranında iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Aynı ürünün enjeksiyon yöntemiyle yapılan üretiminde ise, çekme mukavemeti %28,9 oranında artmıştır. Araştırmacılar, bu yeni ABS nano kompozitlerin daha iyi termal ve mekanik özellikler gösterdiği ve 3B yazıcılar için umut verici bir gelişme olduğunu belirtmişlerdir. Akhoundi ve ark. [45], mekanik özelliklerin sürekli elyaf takviyesi ile iyileştirilebildiğini ve kullanılan takviye elamanının türüne göre farklı mekanik değerlerin elde edilmesinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Akhoundi ve Behravesht [46], katmanlar arasındaki zayıf bağlanmaların mekanik özellikleri düşürdüğünü ve bu zayıf bağlantıların dolgu maddeleri ile iyileştirilebileceğini belirtmiştir. Araştırmacılara göre, kullanılan dolgu ve katkı maddesinin oranı ve üründeki desen şekli mekanik özellikleri büyük oranda etkilemektedir.

Yöntem ucuz olması, üretim sonrası kimyasal bir işlem gerektirmemesi, ekipmanların kolay kullanılabilmesi ve esnek ekstrüzyon sistemlerine sahip olması nedeniyle, evde kendi tasarladığı ürünü somut bir nesneye dönüştürmek isteyenler için, günümüzde oldukça popüler bir teknoloji haline gelmiştir. Enjeksiyonla kalıplamaya göre FDM yöntemi oldukça pahalıdır. Ancak üretim adedi az olan parçaların FDM yöntemiyle üretilmesi, enjeksiyon kalıplama yöntemine göre oldukça ekonomiktir [20],[47]. Atık oluşturmaması, esnek bir teknoloji olması, kullanım kolaylığı, ucuz ve çevre dostu olması, karmaşık geometriye ve boşluklara sahip parçaların kolayca üretilebilmesi yöntemin en önemli avantajlarından [48]. Üretim hızı, malzeme yoğunluğu ve üretilen parçaların doğruluğu yöntemin öne çıkan dezavantajlarıdır. Üretilen parçanın şekli, nozul çapı, üretim hızındaki iniş ve çıkışlar, malzemenin viskoelastik davranışına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [49]. Şekil 6'da FDM yöntemiyle üretilmiş farklı geometri ve tipteki dönüştürücü örnekleri verilmiştir. FDM yönteminde yaygın olarak, PC, ABS, poli(fenilen sülfon) (PPSU), PC-ABS karışımları, PLA gibi termoplastik malzemeler kullanılmaktadır [44],[50]. Ancak seramik ve metal karışımlarında işlenmesi, iyi mekanik ve tasarımsal özelliklere sahip kompozit malzemelerin üretilmesi için çalışmalar devam etmektedir [1],[51].

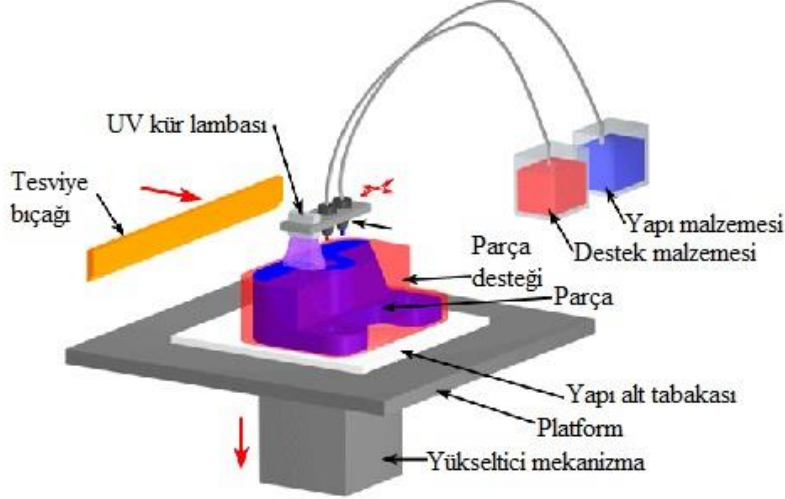




Şekil 6. FDM yöntemiyle üretilmiş farklı tipteki dönüştürücü örnekleri, (a) Tüp dizilişi, (b) Körükler, (c) Spiral, (d) Kavisli, (e) İç içe geçmiş, (f) Radyal aktüatörler [52]

C. MALZEME PÜSKÜRTME (MATERIAL JETTING)

Malzeme püskürtme, iki boyutlu mürekkep püskürtmeli yazıcıya benzer bir yöntemle modeli oluşturmaktadır. Şekil 7’de şematik olarak gösterilen yöntemde, sürekli ya da istek üzerine bırakma (DOD) yaklaşımı kullanılarak malzeme (fotopolimer reçine) katılaştığı ve modelin katman katman oluşturulduğu yapı yüzeyine veya bir platforma püskürtülür. Model oluşturma işleminin birinci aşamasında, malzemeyi püskürtmek için, yapı platformu boyunca yatay olarak hareket eden bir nozul kullanılır. Malzeme katmanları daha sonra kurlenir veya UV ışığı kullanılarak sertleştirilir [20]. Yöntemde kullanılan makineler, çalışma şekilleri ve malzemelerin birikmesini kontrol etme metodlarına göre farklılık göstermektedir.

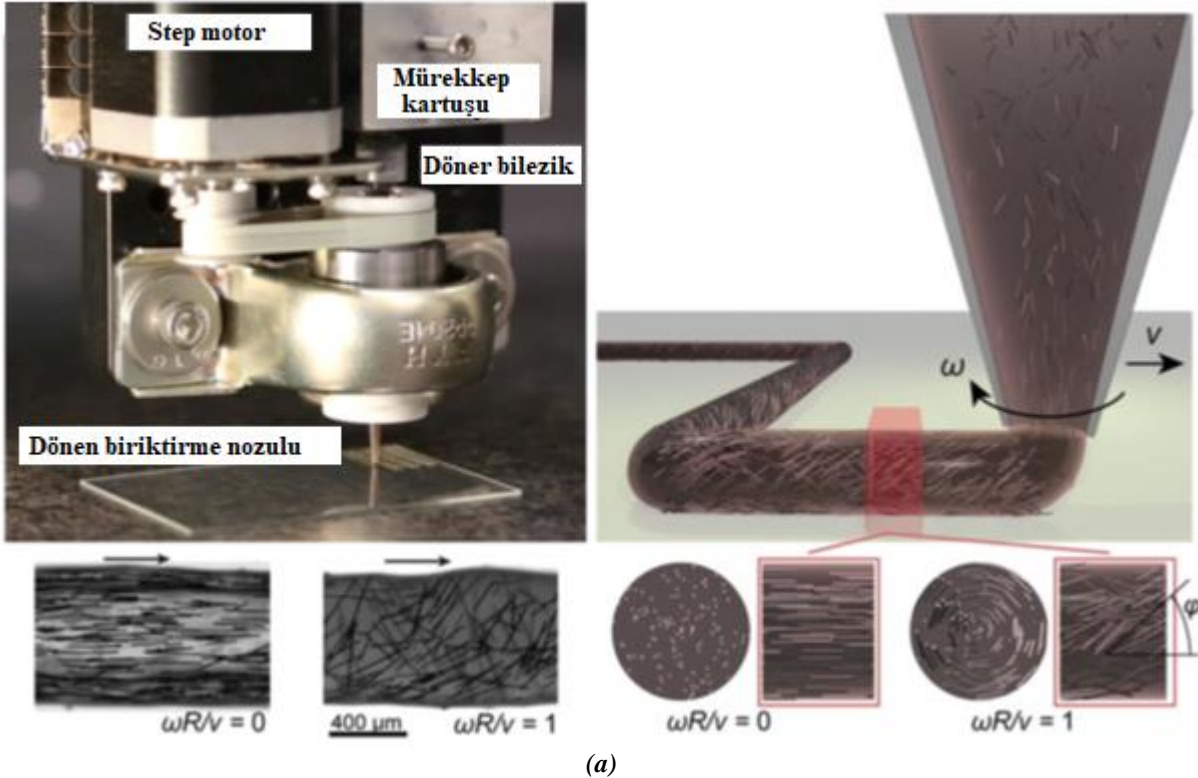


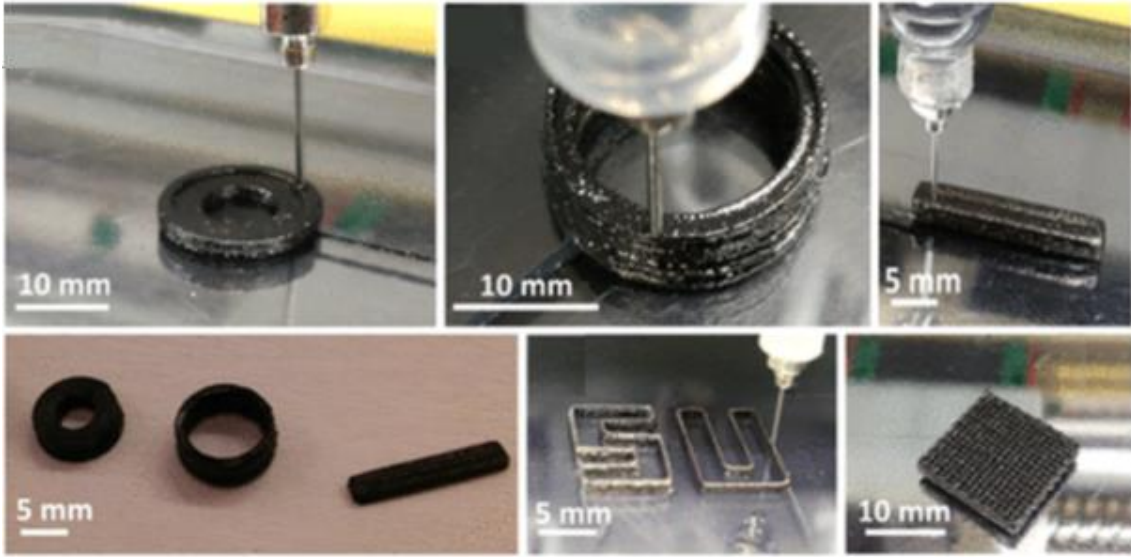
Şekil 7. Malzeme püskürtme (MJ) yöntemi şematik gösterim [20]

Yöntem renkli parçalar oluşturulabilmesinin yanında farklı malzeme ile çalışmaya da izin veren üstün ve baskı hızı yüksek bir teknolojidir. Üretilen parça için yumuşak veya sert malzemelerin kullanılabilmesi nedeniyle aynı parça üzerinde farklı mekanik özelliklere sahip parçalar üretilebilmektedir [50]. Yöntemde kullanılan ve su ile çözülebilir formlarda hazırlanabilen destek yapılar, kolay temizlenebildiği için yüzeylerde iz oluşturmaz. Malzemenin damlalar halinde depolanması gerektiğinden, kullanılacak malzeme sayısı sınırlıdır. Polimerler ve vakıplar, viskoz yapıları ve damla oluşturma yetenekleri nedeniyle uygun ve yaygın olarak kullanılan malzemelerdir [20].

Malzeme püskürtme yöntemi, günümüzde prototip üretimi, fonksiyonel polimerlerden üretilmiş hafif yapı komponentler, gündelik yaşamda kullanılan giyilebilir ürünler, özel anatomik modellerin yapımı ve doku mühendisliği gibi pek çok farklı alanda kullanılmaktadır. Pek çok araştırmacı, malzeme püskürtme yöntemiyle üretilmiş ürünlerin özellik, boyut ve geometri karakterizasyonu, 4B (Dört Boyutlu) baskı, çoklu ve takviyeli baskı gibi konularda çalışmalar yapmaktadır [53],[54],[55],[56],[57],[58],[59].

Malzeme püskürtme yönteminde baskı yönü, boyutsal kararlılık, bitmiş ürünün yüzey kalitesi ve mekanik özellikler üzerinde etkili olan en önemli parametredir [53]. Baskı yönü ve kürlenme davranışına göre çok farklı özelliklere sahip malzemeler elde edilebilir [60]. Şekil 8'de gösterildiği gibi bileşenlerin farklı yönlerde basılabilmesi, gelişmiş tasarım ve üretim esnekliği sağlamaktadır. Ancak birden fazla malzemenin kullanıldığı kompozit sistemlerde malzeme özelliklerinde ve ara yüzlerdeki uyumsuzluk, mekanik özellikleri düşürebilir [61]. Son zamanlarda yapılan çalışmalarla birlikte, ara yüz özellikleri ve katmanların birbirine yapışması farklı tekniklerle kontrol edilebilmekte ve bu sayede daha iyi özelliklerde malzemeler üretilebilmektedir. Dilag ve ark. [61] fotopolimer malzemenin yapışma özelliklerini poli(metil metakrilat) (PMMA) malzemede yüzey serbest enerjisini değiştirerek incelemiştir. Araştırmacılar temas açısı ve profilometri analizi ile, PMMA yüzeyin daha fazla ıslatılması ve damlacık yayılmasının iyileştiğini tespit etmişlerdir. Khoshkhoo ve ark. [62] baskı yönlendirmesi, açıların kontrolü ve diğer parametrelerin etkili kontrol edilmesiyle ürün yüzey özelliklerinin ve boyutsal özelliklerin iyileştirilebildiğini belirtmişlerdir. Yang ve ark. [63] makinenin püskürtme performansının, basılı parçaların yüzey kalitesi, biçimlendirme kalitesi ve boyutsal hatalar üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.



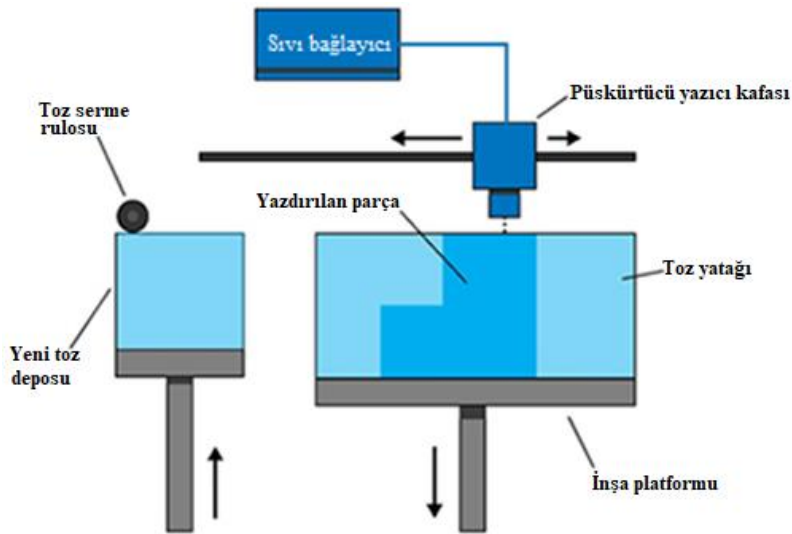


(b)

Şekil 8. (a) Karbon fiber katkılı reçine kullanılarak malzeme püskürtme yöntemiyle baskı yapılması ve desene dik baskı esnasında fiber yönlenmesinin şematik gösterimi, (b) Malzeme püskürtme yöntemiyle yazılmış farklı geometrilerdeki 3B baskı örnekleri [64]

D. YAPIŞTIRICILARLA KATMANLI İMALAT (BINDER JETTING)

Yapıştırıcılarla katmanlı imalat yöntemi 1990'lı yıllarda geliştirilmiş bir yöntem olmasına rağmen 2010 yılına kadar ticarileştirilememiştir [65],[66]. Bağlayıcı püskürtme (yapıştırıcılarla katmanlı imalat) işleminde, toz tabanlı bir malzeme ve sıvı formulu bir bağlayıcı olmak üzere iki malzeme kullanılmaktadır. Parçayı oluşturan malzemelerin çoğu toz yatağındaki tozlardan oluşur. İşlemden kullanılan bağlayıcı damlacıklarının görevi (~80 µm çapında), toz tabakalarının birbirine yapıştırılmasıdır [65]. Yöntem şematik olarak Şekil 9'da gösterilmiştir. Yöntemde ilk aşamada toz malzeme bir rulo yardımıyla inşa platformunun üzerine yayılmaktadır. İkinci aşamada; bir baskı kafası, makinenin x ve y eksenleri boyunca hareket eder ve bağlayıcıyı gerektiği yerde tozun üstüne bırakarak toz ve bağlayıcıdan oluşan katmanları oluşturur. Katman tamamlandıktan sonra bir sonraki katmanın oluşturulması için yapı platformu aşağı yönlü olarak katman kalınlığı kadar hareket ettirilir. Sonrasında yeni bir toz tabakası önceki tabakanın üzerine serilmekte ve tüm katmanlar tamamlandıktan sonra yazdırılmak istenen parça oluşturuluncaya kadar aynı işlemler tekrar edilmektedir.

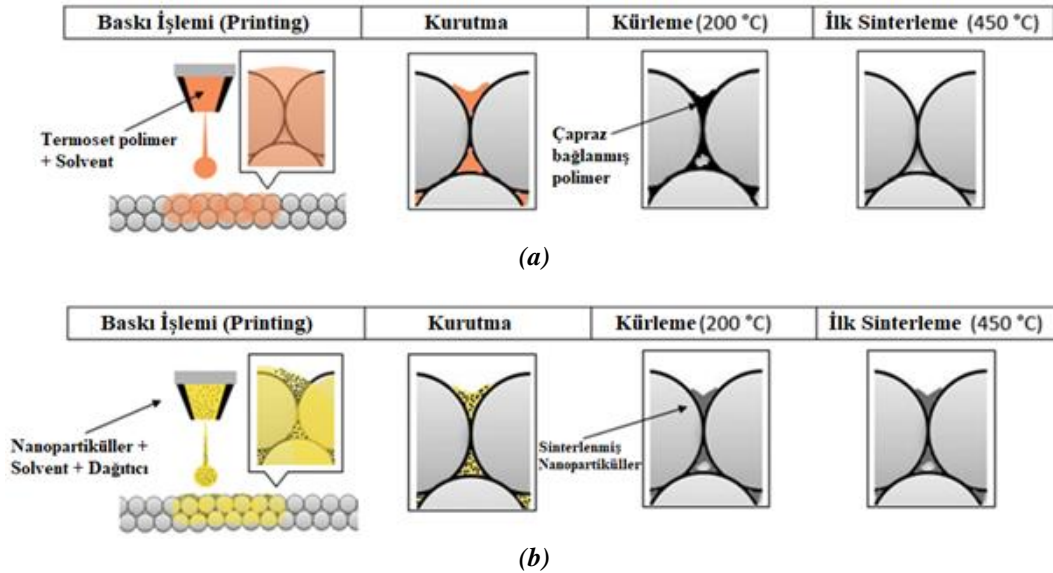


Şekil 9. Yapıştırıcılarla katmanlı imalat yönteminin şematik gösterimi [20]

Bağlama yöntemine bağlı olarak, malzeme özellikleri yapısal parçalar için her zaman uygun değildir. Yöntemde üretim hızı göreceli olarak yüksektir. Ancak üretim sonrası parçalara ek işlemler uygulanması gerekebilir ve bu durum parçaların üretim süresini arttırabilir. Diğer toz bazlı imalat yöntemlerinde olduğu gibi, basılan parça toz yatağı içerisinde toz tarafından desteklenmektedir. Yazdırma işlemi tamamlandığında, basılan parça kullanılmayan tozların içerisinde çıkartılmaktadır. Yöntem yaygın olarak 3BP (Üç Boyutlu Püskürtme) teknolojisi olarak bilinmekte ve telif hakkı ile korunmaktadır [20].

Bağlayıcı püskürtme yönteminde renkli baskı yapılabilmektedir. Yöntemde metal (paslanmaz çelik, Al, Cu, Fe, Ni ve Co bazlı alaşımlar vb.), polimerler (ABS, PA, PC vb.) ve seramik malzemeler (silika, kum, grafit, Al_2O_3 vb.) kullanılabilir. Üretim hızı diğer yöntemlere oranla daha hızlıdır. Malzemeyi biriktiren yazıcı kafası deliklerinin sayısı artırılarak üretim süresi daha da kısaltılabilir. Bağlayıcı ve toz oranı ya da özellikleri değiştirilerek, çok farklı mekanik özelliklere sahip ürünler elde edilebilir. Benzer şekilde daha yüksek mekanik ve yapısal özelliklere sahip parçalar elde etmek için baskı sonrası ek işlemler de uygulanabilir. İnşa platformunda ısıtılmış bir bölme ile malzemelerin viskozitesi arttırılabilir ve daha kısa baskı süreleri elde edilebilir. Çünkü iyi bir yüzey kalitesi ve bağlayıcının kuruması için parçanın makinede soğumaya bırakılması üretim süresini arttırmaktadır. Yöntem ile üretilmiş parçalar yüksek gözeneklilik gösterir ve bu da malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilir. Malzemeler kullanılmadan önce infiltran maddeler (seramikler için siyanoakrilat yapıştırıcılar, metaller için bronz) kullanılarak mekanik özellikler iyileştirilebilir [24].

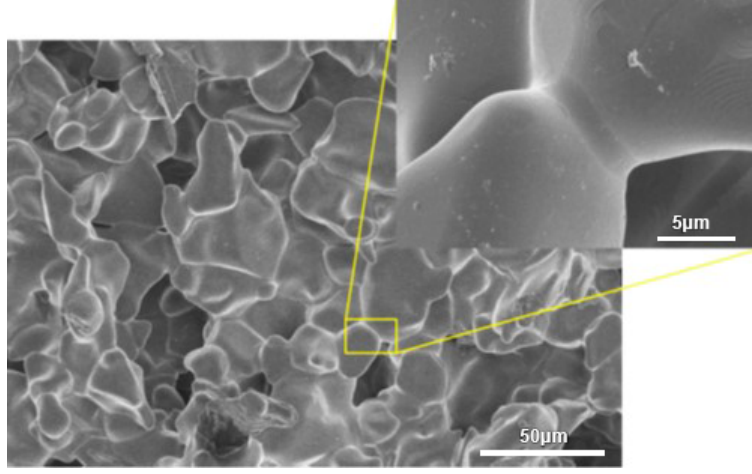
Bağlayıcı püskürtme yönteminde bağlayıcılar polimer esastır. Ancak son yıllarda farklı tür bağlayıcılarında yöntemde kullanılmasıyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bai ve Williams [67], organik esaslı, ısıtıldığında nanopartikülleri çöktürebilen partikül içermeyen bir metal mürekkep bir bağlayıcı kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, baskı sonrası malzemelere sinterleme işlemi uygulayarak daha yüksek parça mukavemetlerinin elde edilebileceğini ifade etmişlerdir. Şekil 10'da bağlayıcı püskürtme yönteminde termoset polimer ve nanopartikül kullanıldığında oluşan yapılar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. Bağlayıcı püskürtme tekniğinde farklı bağlayıcılar kullanıldığında oluşan yapılar, (a) Termoset polimer, (b) Metal esaslı nanopartiküller [67]

Gonzalez ve ark. [68], bağlayıcı püskürtme yönteminin medikal uygulamalarda kullanılabilirliğini incelemek amacıyla Al_2O_3 tozu kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, en iyi toz dağılımının katman kalınlığının küçük olması durumunda elde edildiğini, sinterleme sonrası toz partikülleri arasında boyu vermenin oluştuğu ve tozların birleşmeye başladığını gözlemlemişlerdir

(Şekil 11). Geleneksel yöntemlerle üretilmeyen örgü ve köpük şeklindeki yapıların bağlayıcı püskürtme yöntemiyle üretilbileceğini ve yöntemin medikal sektöründe uygulanabilir olduğunu ifade etmişlerdir.

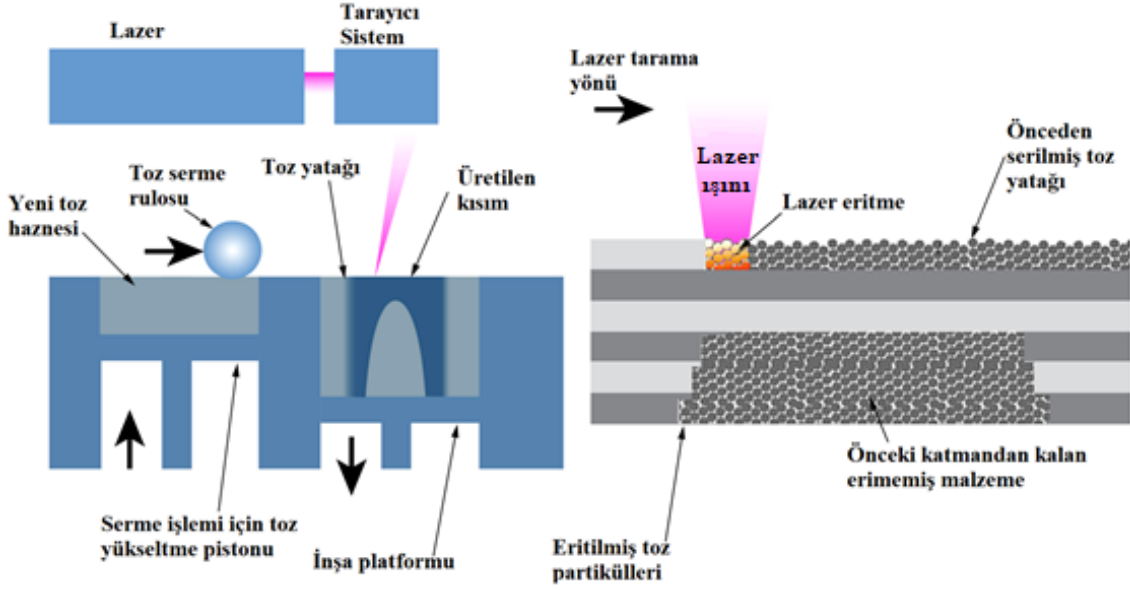


Şekil 11. Bağlayıcı püskürtme yöntemiyle üretilmiş malzemede, 16 saat sinterleme sonucu iki toz parçacığı (Al_2O_3) arasında oluşan boyun vermenin SEM görüntüsü [68]

Miyanaji ve ark. [69], toz yatağı yüzeyine çarpan damlacıkların hızı, imal edilen parçaların kalitesi ve bütünlüğünde ortaya çıkabilen damlacık yayılması ve soğurma dinamikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceğini ve artan baskı hızının basılmış parçaların doğruluğunu azalttığını ifade etmiştir. Ziaee ve Crane [70], bağlayıcı püskürtme yönteminde bağlayıcı damlacıkları ve toz arasındaki dinamik etkileşimlerle ilgili konuların henüz tam anlaşılmadığını, sektörde ince tozların işlenmesi, taşınması ve dağıtılması ile ilgili büyük bir ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar bağlayıcı püskürtme teknoloji ile ilgili bilgi birikimi arttıkça, endüstriyel uygulama alanlarının artmaya devam ettiğini, henüz toz şeklinde kullanılabilen az sayıda malzeme olduğunu ve bu farklı malzeme türlerinin kullanılmasyla ilgili olarak çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu ifade etmişlerdir. Gukuldoss ve ark. [66], bağlayıcı püskürtme ile üretilmiş parçalara üretim sonrası, kütleme, toz giderme, sinterleme, infiltrasyon, tavlama ve son şekline getirme gibi son işlemlere ihtiyaç duyulduğunu, bazı uygulamalarda son işlemlerin (sinterleme gibi) baskıdan daha uzun zaman aldığını bununda parça maliyetlerini önemli oranda arttırdığını belirtmişlerdir.

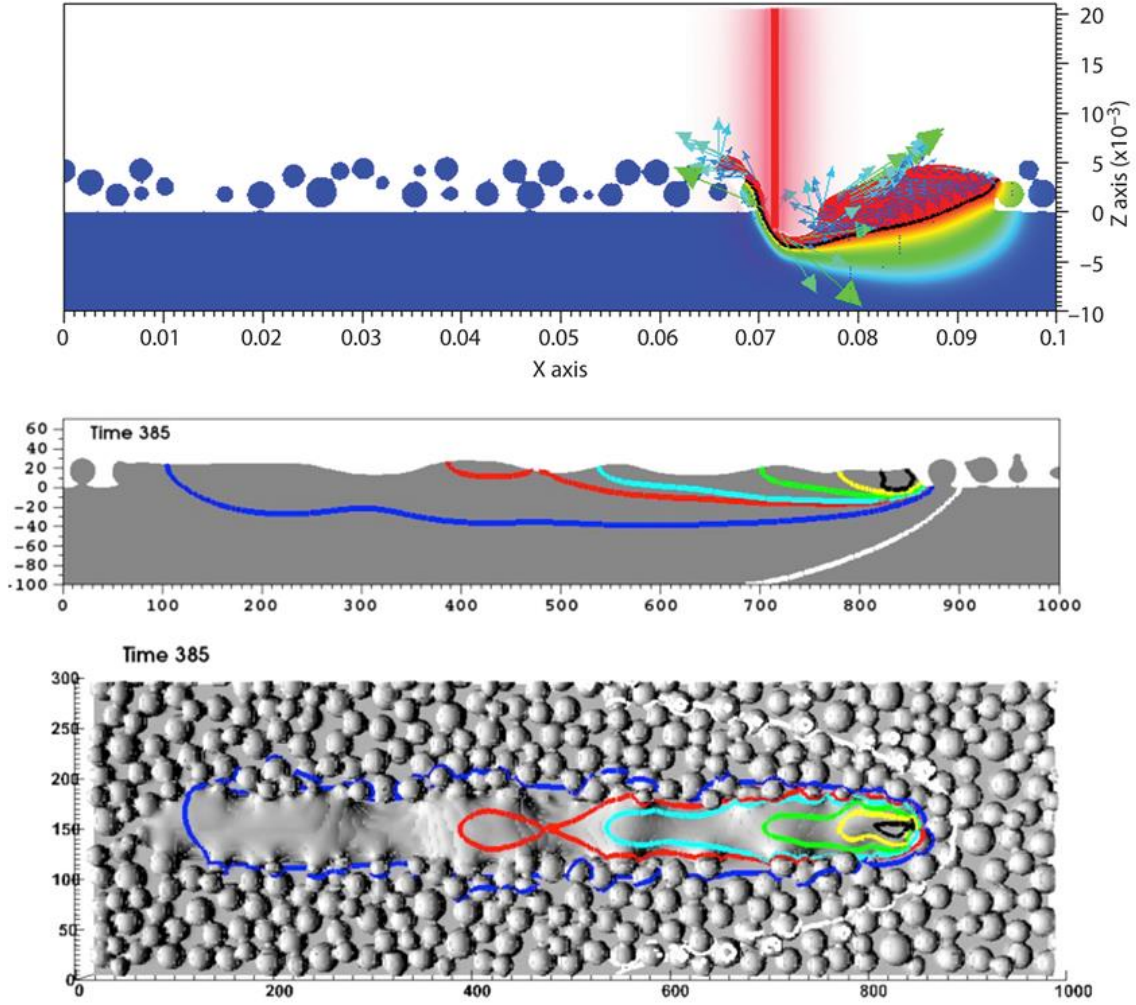
E. TOZ YATAKLI ERİTME (POWDER BED FUSION)

Toz yataklı eritme, multijet eritme (MJF), seçici lazer sinterleme (SLS), seçici lazer eritme (SLM), direkt metal lazer sinterleme (DMLS) gibi yaygın kullanılan teknolojileri içermektedir. Yöntemde, toz halindeki malzemeyi eritmek ve kaynaştırmak için güçlü bir lazer veya elektron ışını kullanılır [71]. Fonksiyonel parçaların üretiminde metal ve alaşımları birlikte kullanılabilir. Tüm işlemler 0,1 mm kalınlığında bir toz malzemenin tabakasının önceki tabakalar üzerine rulo ya da bıçak gibi farklı mekanizmalar tarafından yayılmasını, bir lazer kaynağından üretilen termal enerjinin erittiği toz malzemeyi soğudukça katılaşması ve bu şekilde parçanın oluşturan her katman için tekrarlanmasını içermektedir. Her bir katmandan sonra yeni katmanı oluşturmak için inşa platformu aşağı doğru indirilmekte ve yüzeye yeni malzeme serilmektedir. İşlem görmemiş toz yerinde kalmakta ve baskı işlemi tamamlanınca parça toz içerisinden çıkartılmaktadır [20]. Toz yataklı eritme yöntemi şematik olarak Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Toz yataklı eritme yönteminin şematik gösterimi [72]

SLS makinesi, malzemeyi kaynaştırmak için bir ısı kaynağı, ısı kaynağını kontrol etmek için bir kontrol ünitesi ve katmanlar için gerekli toz tabakasını yaymayı sağlayan bir mekanizma olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Kullanılmayan tozlar (eritilmeyen) baskıda bir destek görevi gördüğünden yöntemde ekstra desteğe ihtiyaç duyulmamaktadır [73]. Yapı platformu, sıcaklığın genellikle malzeme erime noktasının birkaç derece altında olduğu uygulamalarda, lazerin katmanları bir araya getirme özelliğini azaltmaması amacıyla sıcaklık kontrollü bir bölme (içerisi tamamen nitrojenle doldurulmuş) içerisine alınmalıdır. Basılan modeller yüksek tolerans ve birleşme kalitesi elde etmek için kontrollü bir şekilde soğutulmalıdır. Bazı makineler baskı kalitesini arttırmak amacıyla katman sıcaklıklarını kontrol ederek, gerekli sıcaklığın doğru ayarlanması için lazer parametrelerini otomatik olarak ayarlamaktadır. King ve ark. [72] toz yataklı eritme yönteminde ısı dağılımının ve sıcaklık profilinin önemli olduğunu ve toz malzemenin bu parametreler üzerinde etkili olduğunu belirtmişler ve lazerin ilerlemesinden sonra arka kısımlarda sıvı adacıkların oluştuğunu, yüzey ve alt katmanlar arasındaki sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak sıvı miktarı arasında fark olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar ısının eşit olduğu yüzeyde soğumanın homojen olmamasının tozdan kaynaklanabileceğini ve bu özelliklerin mikro yapı ve parça özelliklerine aktarılacağını ifade etmişlerdir. Şekil 13'de lazer noktası hareket ederken oluşan sıcaklık dağılımı ve sıvı adacıklarının oluşumu şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 13. Lazer noktası hareket ederken oluşan sıcaklık dağılımının anlık görüntüsü [72]

SLM yöntemi SLS yöntemine göre daha hızlıdır. Ancak yöntemin inert bir gaz kullanılmasını gerektirmesi enerji maliyetleri arttırmaktadır. Yöntemde toz serme işleminden sonra, katmanın her bölgesinde tozun eşit dağıtılmasını sağlamak için inşa platformuna titreşim uygulanır. MJF yöntemi toz malzemeyi birbirine kaynaştırmak için ısıtılmış bir termal baskı kafası ve termoplastik malzeme (Naylon) kullanılmasıyla diğer toz yataklı eritme yöntemlerinden ayrılmaktadır. MJF yöntemi yapısal bileşenlerden daha çok ürün prototipleri oluşturmak amacıyla tercih edilmektedir. MJF yönteminde lazer yerine bir termal baskı kafasının kullanılması, gerekli ısı ve güç seviyelerini önemli oranda azaltır. DMLS yöntemi SLS yönteminde metalik tozların kullanımı aynı şekildedir. Yöntemde toz tabakası katman katman sinterlenmekte ve farklı çeşitte metalik tozlar (paslanmaz çelik, titanyum, alüminyum, bakır, krom kobalt, çelik vb.) kullanılmaktadır [65]. Tüm yöntemlerde baskı sonrası parçalar temizlenmeli ve ihtiyaç duyuluyorsa talaşlı imalat vb. yöntemlerle toleranslarına getirilerek parçaya son şekli verilmelidir. Baskı sonrası parça mukavemetini ve yoğunluğunu artırıcı ek işlemler yapılabilir. Homojen ve malzeme boyunca daha sürekli bir mikro yapı elde etmek amacıyla parçalara sıvı faz sinterleme yapılabilir. Ancak bu durumda ölçülerde çekme payları hesaba katılmalıdır. Nispeten ucuz olması, görsel modeller ve prototipler için uygun olması, teknolojiyi (MJF için) küçük ölçekli ve ofis boyutundaki makinelere entegre etme yeteneği, sinterlenmemiş tozun baskıda bir destek yapısı görmesi ve kullanıcıya geniş malzeme seçenekleri sunması yöntemin en önemli avantajlarıdır. Üretim hızının yavaş olması (MJF için), üretilecek parça boyutlarının sınırlı olması, yüksek güç kullanımı, parça yüzey kalitesinin toz tane boyutlarına bağlı olması, malzemelerde yapısal özellik eksikliği ise yöntemin dezavantajlarıdır.

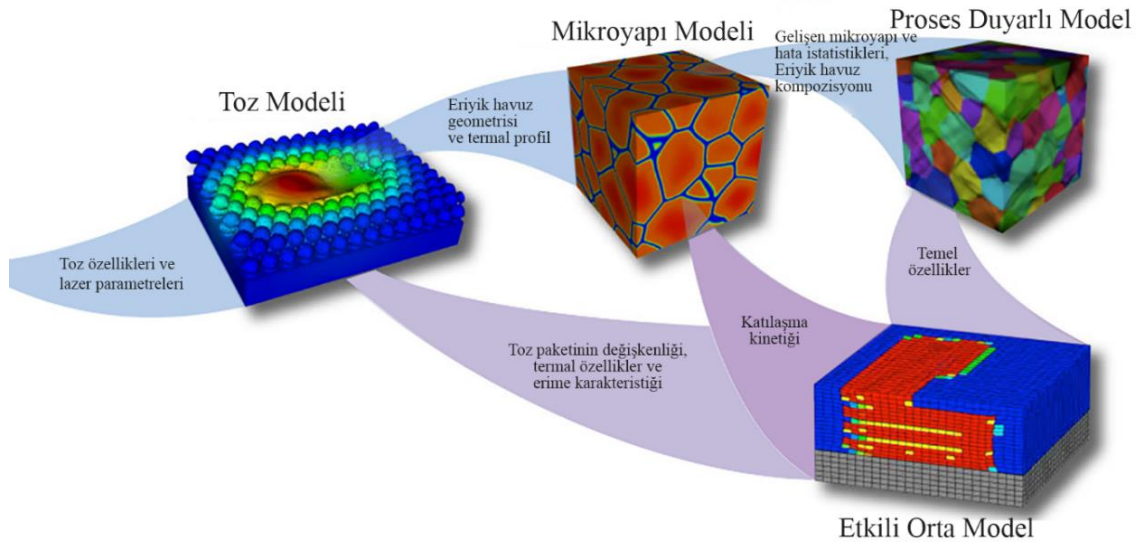
Vock ve ark. [73], kullanılan tozun kalitesi ve oranının, prosesin performansı ve son ürünün kalitesi

üzerinde oldukça önemli olduğunu belirtmiştir. Araştırmacılara göre; son yıllarda çok sayıda araştırma yapılmasına rağmen toz ve parça özellikleri arasındaki ilişki henüz tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Tozun parça kalitesi üzerindeki etkisinin anlaşılması, daha kaliteli tozların üretilmesine ve toz maliyetlerinin düşürülmesine önemli oranda katkı sağlayacaktır. Martin ve ark. [74], parça içerisinde ve lazer dönüş noktalarındaki gözeneklerin lazer tarama hızındaki değişikliklerden ve lazer dönüş noktasından uzaklaştıkça malzeme katılaşırken bir gözenek oluşturan gaz halindeki argonu hapsetmesinden kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Bu durumun engellenmesiyle parça kalitesinin ve geometrik toleranslarının iyileştirileceğini belirtmişlerdir. Sutton ve ark. [75], parça özellikleri için tozların kritik bir önemde olduğu, toz yatağında eritme esnasında oluşan yan ürünlerin lazeri engelleyebileceği ve toz yatağındaki enerjiyi azaltabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacıların yaptığı toz özelliklerinin morfoloji, kimya ve mikro yapı açısından sınıflandırılması Şekil 14'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Toz özelliklerinin morfoloji, kimya ve mikro yapı açısından sınıflandırılması [75]

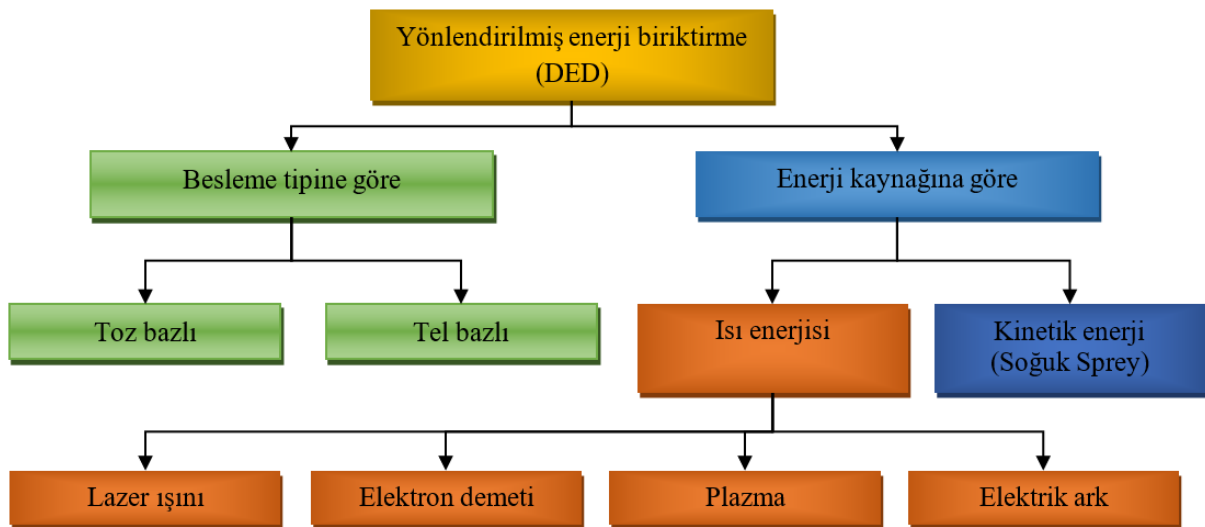
King ve ark. [71] toz yataklı eritmede kullanılan metal tozlarını farklı parametreleri kullanarak modelleme ve simülasyon yaptıkları çalışmada, katmanların birbiri üzerinde oluşturulmasındaki uyumu en önemli zorluk olarak belirlemişler ve veri toplamının modellemenin başarısını arttıracığını belirtmişlerdir. Süreçleri bölümleyen (Şekil 15) araştırmacılar, başarılı bir üretimin önceki çalışmalardan süreçlerle ilgili veri toplanması ve bu verileri kullanarak çalışmanın modellenmesi, simülasyon yapılması ve parametrelerin optimize edilmesi gibi işlemlerin gerçekleştirilebileceğini ifade etmişlerdir. Süreçlerle ilgili veri tabanlarının oluşturulması ve kullanıcıların bilgisine sunulması, kullanıcılarında kendi verilerini gireceği ortak bir sistem ya da veri kütüphanesi oluşturulması ilerleyen dönemlerde konu ile ilgili yapılabilecek en önemli çalışmalardan biridir. Toz modellerinin, istenen mikro yapının, proses şartlarının seçimiyle birçok proses ve malzemeyi deneme yanılma yaklaşımından kurtaracak ve proses verimliliğini arttıracaktır. Bu işlem üretim maliyetlerinin düşmesini sağlayacaktır.



Şekil 15. Toz yataklı eritme yönteminde kullanılan çok ölçekli modelleme stratejisinin şematik gösterimi [75]

F. YÖNLENDİRİLMİŞ ENERJİ BİRİKTİRME (DIRECTED ENERGY DEPOSITION)

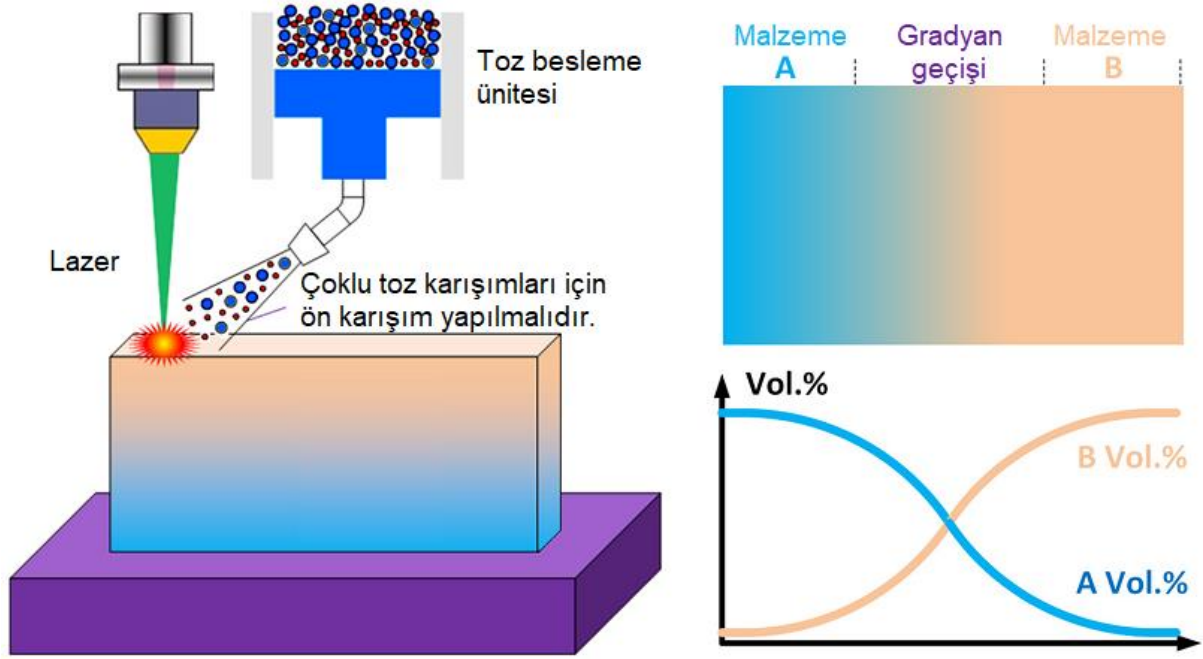
Yönlendirilmiş enerji biriktirme (DED), lazer toz şekillendirme (LENS) ve elektron ışın eklemeli imalat (EBAM) teknolojilerini kapsamaktadır. Tipik bir DED makinesi çok eksenli bir kol üzerine monte edilen ve erimiş malzemeyi katılacağı konuma (malzeme yüzeyine) bırakan bir nozul'dan oluşur. Yöntem çalışma şekli itibariyle FDM yöntemine benzemektedir. Ancak FDM'dan farklı olarak nozul çok yönlü/ksenli hareket etmekte ve belirli bir eksene sabitlenmemektedir. Herhangi bir açıdan 4 veya 5 eksenli makineler kullanılarak biriktirilmiş malzeme bir lazer, plazma arki ya da elektron ışını kullanılarak eritilir. Katılmış malzeme yüzeylerine yeni katmanlar uygulamak mümkündür [20]. Yöntemde malzeme olarak polimerler, seramikler ve tipik olarak toz veya tel şeklinde metaller kullanılabilir. Ancak eritme işleminde elektron ışını kullanılıyorsa sadece metal ve seramikler için uygundur. Elektron ışını plastiklerde kullanılmaz. Yapısal parçaların onarımı ve bakımı tipik uygulama alanlarıdır. Mevcut parça üzerinde yeni unsurlar oluşturulabilir [76]. Yönlendirilmiş enerji biriktirme yöntemi Şekil 16'da ki gibi sınıflandırılabilir.



Şekil 16. Yönlendirilmiş enerji biriktirme (DED) yönteminin sınıflandırılması [77]

Toz bazlı yöntem en yaygın ve en bilinen DED tekniğidir. Yöntemde ısı kaynağı olarak lazer ışını

kullanılmaktadır. Tel bazlı DED prosesleri, lazer ışını toz bazlı proseslere göre daha düşük bir çözünürlük sağlar. Ancak daha yüksek biriktirme oranına ve daha büyük yapılar inşa etme kabiliyetine sahiptir. Yöntemde ihtiyaç kadar malzeme kullanıldığı için, toz kullanılan diğer yöntemlere oranla malzeme verimi yüksektir. Yöntemde farklı tozlar karışım şeklinde kullanılabilir (Şekil 17). Ancak uygun bir kompozisyon için toz boyutları aynı ya da yaklaşık olmalı ve tozun geometrisi küre ya da küreye yakın olmalıdır [77]. Malzemeler oldukça hızlı bir şekilde soğutulur. Tipik olarak bu değer 1000-5000 °C/s arasındadır. Soğutma süresi eritilmiş ve katılaştırılmış malzemenin tane yapısını etkilemektedir. Katmanlar arasında erimenin meydana gelmesi de mikro yapıyı etkileyecektir. Mikro yapının önemli olduğu uygulamalarda bu durum dikkate alınmalıdır. Katman kalınlıkları 0,25-0,50 mm arasında değişmektedir [20].

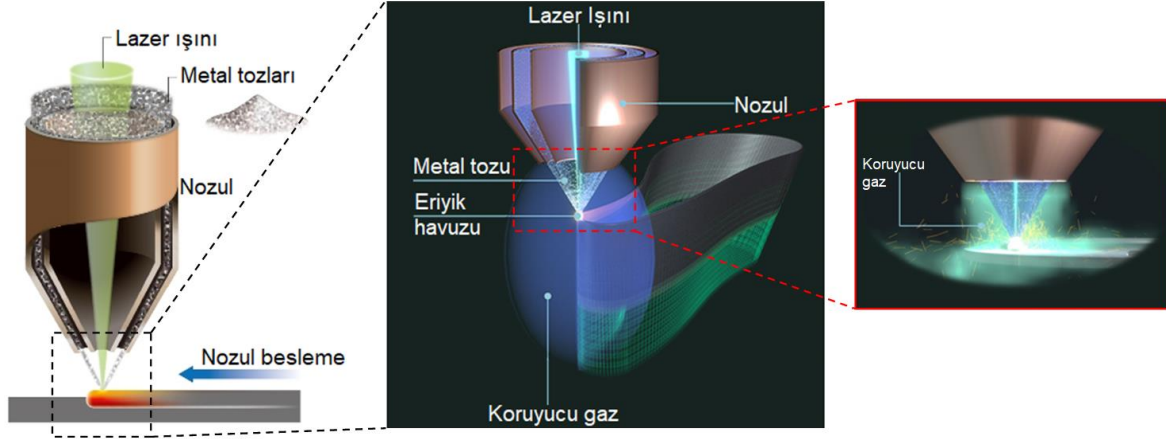


Şekil 17. Çoklu toz karışımı DED yönteminin şematik gösterimi [77]

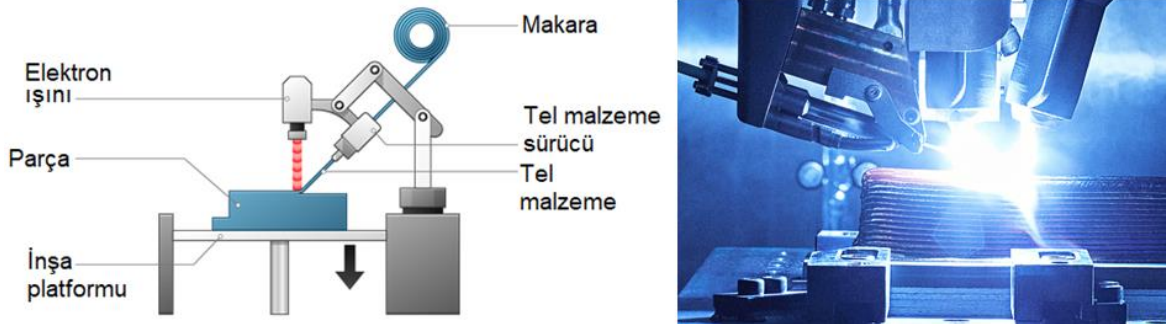
Toz bazlı yönlendirilmiş enerji biriktirme yöntemi Şekil 18'de, tel bazlı yönlendirilmiş enerji biriktirme yöntemi Şekil 19'da şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 19'da görüleceği gibi tel bazlı uygulamada ısı kaynağı olarak genellikle bir elektron ışını, plazma veya elektrik arkı kullanılır. Vakumda yüksek enerji odaklı bir elektron ışınına sahip olan elektron ışını bazlı AM (EBAM) hemen hemen her metali birleştirebilir ve esas olarak ağ şekilli parçaların imalatında kullanılır. Nispeten yeni bir 3B yazıcı teknolojisi olan plazma bazlı eklemeli imalat yönteminde, metal parçacıkları eritmek için kontrollü bir plazma kaynağı kullanılmaktadır. Elektrik arkına dayalı DED, katmanları biriktirmek için tel beslemesini eritir ve büyük parçaları basmak için elektrik ark kaynağı prensibinden yararlanır. Genellikle soğuk püskürtme olarak adlandırılan kinetik enerji tabanlı DED sistemleri, mikron boyutlu parçacıkları süpersonik hızlara hızlandırmak için yakınsak-uzaklaşan bir nozul kullanır. Kritik bir darbe hızının ötesinde, mikron boyutundaki parçacıklar alt tabakaya yapışkan bir şekilde bağlanır ve serbest duran yığın bileşenler şeklinde bir kaplama malzeme oluşturur [76].

Melia ve ark. [78], DED yöntemiyle şekillendirilmiş 304L paslanmaz çeliğinin korozyon davranışını incelemişlerdir. Araştırmacılar mikro yapı incelemelerinde, lazer toz tabanlı üretim yöntemlerinde sıklıkla karşılaşılan gaz boşlukları, füzyon eksikliği ve nano ölçekli oksitlenme gibi tipik kusurlara rastladıklarını, hızlı soğutma ve parametrelerin doğru ayarlanmasıyla daha uzun korozyon dayanımının elde edilebileceğini gözlemlemişlerdir. Haley ve ark. [79] göre; prosesteki pek çok parametre üretilen parçada morfolojik ve mikro yapısal etkilere sahiptir. Araştırmacılara göre; eriyik havuzundaki toplam eriyik miktarı oluşan ısı ve enerji dengesine bağlı olarak farklılaşmaktadır. Çalışma mesafesindeki

(kurs boyunda) en ufak değişiklikler verimliliği de etkilemektedir. Bu nedenle tüm üretim sürecinde optimum şartlara etki eden tüm parametreler dikkate alınarak ayarlanmalı ve bu mesafe sabit olacak şekilde ayarlanmalıdır. Haley ve ark. [79] diğer bir çalışmada, lazer tarafından oluşturulan milimetrik eriyik havuzunda, tozların yüzey gerilimine bağlı olarak tutulduğunu ve erimeden önce eriyik havuzunda yüzdüğünü bunun da yüzey pürüzlülüğü ve yoğunluk gibi ürün özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir. Bu olumsuz etkiyi en aza indirmek amacıyla yüzey ıslatılabilirlik gibi toz özelliklerinin kontrolüne yönelik çalışmalar yapılmasını ve bununla ilgili güvenilir bir sistem oluşturulması gerektiğini ifade etmişlerdir.



Şekil 18. Toz bazlı DED yönteminin şematik gösterimi [81],[82]

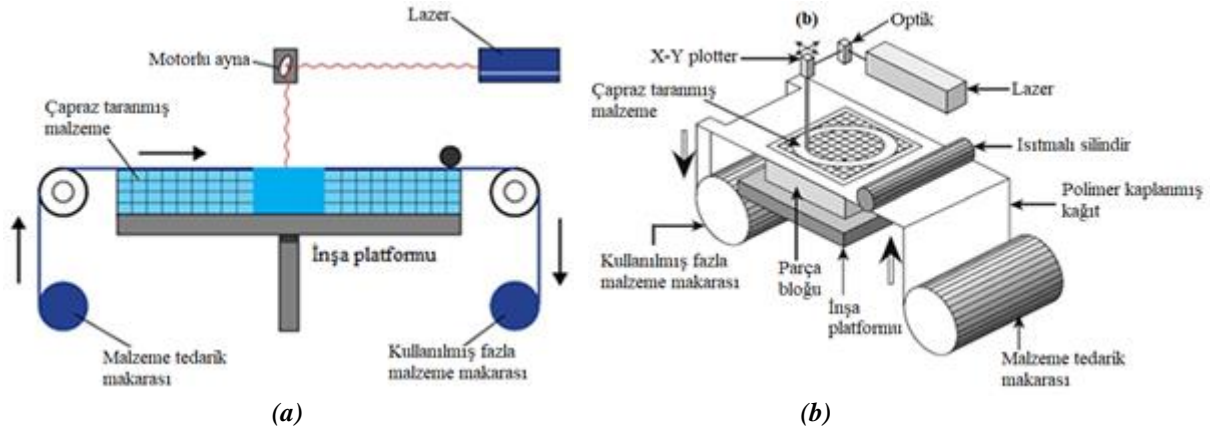


Şekil 19. Tel bazlı DED yönteminin şematik gösterimi [83],[84]

E. LEVHA/SAC LAMİNASYONU (SHEET LAMINATION)

Levha/Sac laminasyonu, tabakalı obje üretimi (LOM) ve ultrasonik katmanlı imalat (UAM) teknolojilerini kapsamaktadır. Ultrasonik katmanlı imalatta, metal levha veya şeritler (metaller, alüminyum, bakır, paslanmaz çelik, titanyum vb.) katman katman lamine edilir ve ultrason kaynağı kullanılarak birleştirilir. Metal malzemeler elle çıkartılamaz ve istenmeyen malzemelerin yapıdan çıkartılması için ek CNC işlemleri gerektirebilir [85].

Tabakalı obje üretimi katman tabanlı sistemlere benzer bir yaklaşım içerir. Kaynak yerine malzeme olarak kâğıt ve yapıştırıcı kullanılır. Kâğıt kalınlıkları 0,007-0,2 mm arasında değişmektedir [63]. LOM işleminden sonra üretilmiş malzemenin inşa platformundan kolay bir şekilde kaldırılması için yazdırma işlemi sırasında çapraz tarama yöntemi kullanılır. Kesilmiş malzemeler bir önceki katmanın üzerine yerleştirilir ve arasına yapıştırıcı sürülür. Katmanlar, arasına sürülen termal bir yapıştırıcı vasıtasıyla tabakalar ısı ve basınç uygulamasıyla birbirine bağlanır [86]. İstenilen kalınlık elde edilinceye kadar işleme devam edilir. Daha sonra istenilen şekli elde etmek amacıyla gerekli şekil CO₂ lazer ya da bıçakla kesilir. Sonrasında boyama, zımparalama vb. işlemler yapılır. Yöntemin uygulanmasına ait şematik ve perspektif görünüm Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. Tabakalı obje üretimi (LOM) yöntemi (a) İki Boyutlu görünüm [20], (b) Perspektif görünümü [65]

Genellikle estetik ve görsel modellerin üretimi için kullanılan lamine nesnelere yapısal kullanım için uygun değildir. Yöntemde işlem sıcaklıkları düşüktür ve farklı iç geometrilerinin oluşturulmasına izin verir. Levha/sac laminasyonu ile farklı malzemeler birbirlerine bağlanabilir. Metal erimeyi gerektirmediği için eritme kullanılan yöntemlere göre daha az enerji gerektirir. Laminasyon hızının artması için, yüksek deformasyon, sıcaklık ve kâğıt ile ısıtılmalı silindir arasındaki temas yüzeyinin artması gerekmektedir [87]. Isı ve basıncın dengeli bir şekilde ayarlanmasıyla parça mukavemetini arttıran çok iyi bir yapışma gücü elde edilebilir [88].

III. SONUÇ

Bu çalışmada; 3B yazıcı teknolojileri ASTM standardı referans alınarak kullanılan proseslere göre sınıflandırılmış ve yöntemlerdeki son gelişmeler incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar genel hatlarıyla aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. Döküm, talaşlı imalat, kaynak gibi geleneksel üretim yöntemleriyle yapılan imalatlarda malzeme israfı ve işçilik fazladır. Geleneksel üretim yöntemlerinde bir parçayı üretmek için birçok ardışık proses bir arada kullanılmaktadır. Bu durum hem üretim maliyetini arttırmakta hem de üretim esnasında pek çok problemi de beraberinde getirmektedir. Eİ yöntemiyle üretilmiş bir parçada, talaşlı imalat vb. geleneksel yöntemlere oranla %90 oranında daha az hammadde kullanılabilir. 3B yazıcı teknolojileri, geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor olan ve çok farklı geometrilere sahip parçaların kalıp maliyeti olmadan ya da üretim hattı kurulmadan başarılı bir şekilde üretimine imkân vermektedir. Özellikle otomotiv, savunma, havacılık, raylı taşımacılık vb. sektörlerde plastiklerden yapılan parçaların seri üretim öncesi prototiplerinin oluşturulması ve prototiplere göre revizyonların yapılarak ürünün son şeklinin verilebilmesi, kalıp maliyetlerinin yüksek olduğu enjeksiyon [89], polimer döküm [90] gibi proseslere oranla daha ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmektedir.
2. 3B yazıcı teknolojilerindeki en büyük zorluklardan biri, maliyet, proses zorluğu, mevcut hali ile malzemelerin 3B yazıcılarda kullanmaya uygun olmaması vb. nedenlerle ürün/parça üretiminde kullanılan hammaddelerin sayıca az olmasıdır. 3B yazıcı teknolojilerinin kullanılmaya başladığı ilk yıllara oranla, son dönemlerde daha fazla sayıda polimer, metal ve alaşımları, seramikler ve kompozit malzemeler 3B yazıcılarda hammadde olarak kullanılmaktadır. Ancak 3B teknolojilerinde kullanılan hammaddelerin hala yeterli sayıda olmaması 3B yazıcı teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşması açısından bir sınırlılık oluşturmaktadır. Baskı sonrası, renklendirme, yüzey parlatma, sinterleme, ısıl işlem uygulamaları [91] vb. son işlemlerin uygulanmasıyla seramikler, metal ve alaşımları için daha yüksek mekanik özelliklere sahip parçalar üretilebilmektedir. Son yıllarda son işlemlerle ilgili

çalışmaların önemli oranda arttığı ve az sayıda çeşidi kullanılan metal ve alaşımları için yeni malzeme türlerinin 3B yazıcılarda kullanılmasıyla ilgili yeni konseptlerin geliştirildiği görülmektedir. 3B teknolojilerinde kullanılacak yeni tür malzemelerin geliştirilmesiyle birlikte gelecekte pek çok sektörde üretim bakış açısı ve iş yapma biçimleri/üretim yöntemleri kökten değişecektir. Havacılık ve savunma sanayine yönelik yapılan çalışmalar bu konseptlerin geliştirilmesinde ve bu yeniliklerin farklı sektörlerde uygulanabilmesinde öncü bir rol üstlenecektir.

3. 3B yazıcı teknolojileri ile detay geometrilerin oluşturulabilmesi, mikro ya da makro boyutlu parçaların üretilebilmesi, üretimde adet sınırı olmaması, tasarımcı ve üreticinin birbirinden bağımsız olması, parça hassasiyetlerinin ayarlanabilmesi, ölçü tamlığının ve ürün mukavemetinin son işlemlerle artırılabilmesi, üretim teknolojileri içerisinde 3B yazıcı teknolojilerinin gelecekteki önemini daha da arttıracaktır. 3B yazıcıların geleneksel üretimdeki birçok prosesi birleştirmesi ve üretimi kolaylaştırması, geleneksel üretim süreçlerindeki üretim ve tasarım bakış açılarında da yeni gelişmeleri beraberinde getirecektir.
4. Günümüzde hala 3B yazıcı fiyatlarının ve üretim maliyetlerinin yüksek olması, kullanılan malzemelerin şu aşamada sınırlı olması yöntemin yaygınlaşması önündeki en büyük zorluktur. Bu zorlukların aşılmasıyla birlikte 3B yazıcı teknolojileri hem şirketler arasında hem de bireysel kullanıcılar arasında daha fazla yaygınlaşacaktır. Ancak bireysel kullanıcılar arasında yöntemin yaygınlaşması, tasarımların kopyalanması ve CAD dosyalarının izinsiz kullanımını da beraberinde getirecektir. Telif haklarında ortaya çıkan problemler ve artan davalarla beraber bu durumun gelecekte fikri mülkiyet haklarında yapılacak yasal düzenlemelerle çözüme kavuşturulacağı düşünülmektedir.
5. Endüstri 4.0'la birlikte, emek yoğun sektörlerde 3B yazıcı kullanımının artacağı, maliyetlerin düşeceği, kompozit malzeme üretiminde, havacılık, otomotiv, medikal sektörü, gıda ve ambalaj sanayi, inşaat, elektrik-elektronik vb. sektörlerde 3B yazıcıların günümüze oranla çok daha fazla kullanılacağı öngörülmektedir. Robotik ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeyle beraber 3B yazıcıların robotik teknolojilere entegre edilmesi, yapay zekâ ve 3B parça tarama teknolojileri ile tasarıma gerek kalmadan tamir bakım gibi uygulamalar için ürün/parça üretimi yapılabilecektir.

TEŞEKKÜR: Yazarlar, mühendislik bölümleri için temel işlemler atölyesi alt yapısının oluşturulması isimli 2020/F/0001 nolu proje ile çalışmaya verdikleri finansal destek ve 3B yazıcı temini için, Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür eder.

V. KAYNAKLAR

- [1] W. Gao, Y. Zhang, D. Ramanujan, K. Ramani, Y. Chen, C.B. Williams, C.C.L. Wang, Y.C. Shin, S. Zhang, and P.D. Zavattieri, "The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering," *Computer-Aided Design*, vol. 69, pp. 65-89, 2015.
- [2] E. Bulut ve T. Akçacı, "Endüstri 4.0 ve inovasyon göstergeleri kapsamında Türkiye analizi," *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, c. 7, ss. 50-72, 2017.
- [3] E. Şenol, M.B. Yolcu, ve S. Celayir, "Üç boyutlu yazıcılar ve çocuk cerrahisi," *Çocuk Cerrahisi Dergisi*, c. 29 s. 3, ss. 77-82, 2015.
- [4] B. Berman, "3-D printing: The new industrial revolution," *Business Horizons*, vol. 55, pp. 155-162, 2012.

- [5] Ş. Özel, M. Zeren, ve N.Ç. Alp, “3D yazıcılar ile katmanlı imalat teknolojisinin otomotiv endüstrisinde uygulanması,” *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, c. 4, s. 1, ss. 18-31, 2020.
- [6] C. Chen, B.T. Mehl, A.S. Mushi, A.D. Townsend, D.M. Spence, and R.S. Martin, “3D printed microfluidic devices: fabrication, advantages and limitations – a mini review,” *Analytical Methods*, vol. 8, pp. 6005-6012, 2016.
- [7] İ. Karagöz ve M. Öksüz, “Termoplastiklerin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesinde kullanılan yöntemler,” *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 31, s. ÖS1, ss. 19-28, 2016.
- [8] İ. Karagöz and M. Öksüz, “Microstructures occurring in the joined thermoplastics sheets with friction stir welding,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 33, no. 2, pp. 503-515, 2018.
- [9] M. Attaran, “The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing,” *Business Horizons*, vol. 60, no. 5, pp. 677-688, 2017.
- [10] Wohlers Associates Inc., “*3D printing and additive manufacturing state of the industry*,” Fort Collins, CO: Wohlers, USA, Rep., 2014.
- [11] G. Yıldırım, S. Yıldırım, ve E. Çelik, “Yeni bir bakış - 3 boyutlu yazıcılar ve öğretimsel kullanımı: Bir içerik analizi,” *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi*, c. 13, s. 25, ss. 163-184, 2018.
- [12] R. Jiang, R. Kleer, and F.T. Piller, “Predicting the future of additive manufacturing: A delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030,” *Technologies Forecasting & Social Change*, vol. 117, pp. 84-97, 2017.
- [13] G. Özer, “Eklemeli üretim teknolojileri üzerine bir derleme,” *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg.*, c. 9, s. 1, ss. 606-621, 2020.
- [14] K. Şahin ve B.O. Turan, “Üç boyutlu yazıcı teknolojilerinin karşılaştırmalı analizi,” *Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 97-116, 2018.
- [15] H.G. Lemu, “Study of capabilities and limitations of 3D printing technology,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 1453, Apr 2012, Art. no. 857.
- [16] C.B. Williams, F. Mistree, and D.V. Rosen, “A functional classification framework for the conceptual design of additive manufacturing Technologies,” *J. Mec. Des.*, vol. 133, no. 12, Dec 2011, Art. no. 121002.
- [17] *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*, ASTM F42, 2012.
- [18] Y. Huang and M.C. Leu, “*An NSF additive manufacturing workshop report 2013*,” University of Florida Center for Manufacturing Innovation, USA, Rep. 2013.
- [19] I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, “Vat photopolymerization processes,” in *Additive Manufacturing Technologies, 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2nd ed., New York, USA: Springer, 2015, pp. 63-103.
- [20] Loughborough University Additive Manufacturing Research Group. (2021, Jan 3). 7 Categories of additive manufacturing [Online]. Available: <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>.

- [21] K. Chockalingam, N. Jawahar, K.N. Ramanathan, and P.S. Banerjee, "Optimization of stereolithography process parameters for part strength using design of experiments," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 29, pp. 79-88, 2006.
- [22] Z. Weng, Y. Zhou, W. Lin, T. Senthil, and L. Wu, "Structure property relationship of nano enhanced stereolithography resin for desktop SLA 3D printer," *Composites: Part A*, vol. 88, pp. 234-252, 2016.
- [23] S.O. Onuh and K.K.B. Hon, "Optimising build parameters for improved surface finish in stereolithography," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 1998, vol. 38, no. 4, pp. 329-392, 1998.
- [24] H.K. Sürmen, "Eklemeli imalat (3D baskı): Teknolojiler ve uygulamalar," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 24 s. 2, ss. 373-392, 2019.
- [25] D. Dean, J. Wallace, A. Siblani, M.O. Wang, K. Kim, A.G. Mikos, and J.P. Fisher, "Continuous digital light processing (cDLP): Highly accurate additive manufacturing of tissue engineered bone scaffolds," *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 7, no. 1, pp. 13-24, 2012.
- [26] A.P. West, S.P. Sambu, D.W. and Rosen, "A process planning method for improving build performance in stereolithography," *Computer-Aided Design*, vol. 33, pp. 65-79, 2001.
- [27] M.L. Griffith and J.W. Halloran, "Freeform fabrication of ceramics via stereolithography," *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 79, no.10, pp. 2601-2608, 1996.
- [28] G.A., Brady and J.W. Halloran, "Stereolithography of ceramic suspensions," *Rapid Prototyping Journal*, vol. 3, no.2, pp. 61-65, 1997.
- [29] C.E. Corcione, A. Greco, F. Montagna, A. Licciulli and A. Maffezzoli, "Silica moulds built by stereolithography," *Journal of Materials Science*, vol. 40, pp. 4899-4904, 2005.
- [30] Y. Yang, Z. Chen, X. Song, B. Zhu, T. Hsiai, P.I. Wu, R. Xiong, J. Shi, Y. Chen, Q. Zhou, and K.K. Shung, "Three dimensional printing of high dielectric capacitor using projection based stereolithography method," *Nano Energy*, vol. 22, pp. 414-421, 2016.
- [31] H. Wu, W. Liu, R. He, Z. Wu, Q. Jiang, X. Song, Y. Chen, L. Cheng, and S. Wu, "Fabrication of dense zirconia-toughened alumina ceramics through a stereolithography-based additive manufacturing," *Ceramic International*, vol. 43, pp. 968-972, 2017.
- [32] Z.C. Eckel, C. Zhou, J.H. Martin, A.J. Jacobsen, W.B. Carter, and T.A. Schaedler, "Additive manufacturing of polymer-derived ceramics," *Science*, vol. 351, no. 6268, pp. 58-62, 2016.
- [33] Formlabs. (2021, Jan 3). *SLA vs. DLP: Guide to resin 3D printers* [Online]. Available: <https://www.formlabs.com>.
- [34] J. Valentinčič, M. Peroša, M. Jerman, I. Sabotin, and A. Lebar, "Low cost printer for DLP stereolithography," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 63, no. 10, pp. 559-566, 2017.
- [35] M. Borlaf, A.S. Capdevila, C. Colominas, and T. Graule, "Development of UV-curable ZrO₂ slurries for additive manufacturing (LCM-DLP) technology," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 39, pp. 3797-3803, 2019.
- [36] Y. Pan, C. Zhou, and Y. Chen, "A fast mask projection stereolithography process for fabricating digital models in minutes," *ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 134, no. 5, Dec 2012, Art. no. 051011.

- [37] D. Dean, E. Mott, X. Luo, M. Busso, M.O. Wang, C. Vorwald, A. Siblani, and J.P. Fisher, "Multiple initiators and dyes for continuous Digital Light Processing (cDLP) additive manufacture of resorbable bone tissue engineering scaffolds," *Virtual Phy. Prototyping*, vol. 9, no. 1, pp. 3-9, 2012.
- [38] Y. Shin and M.L. Becker, "Alternating ring-opening copolymerization of epoxides with saturated and unsaturated cyclic anhydrides: Reduced viscosity poly(propylene fumarate) oligomers for use in cDLP 3D printing," *Polym. Chem.*, vol. 11, pp. 3313-3321, 2020.
- [39] A. Goyanes, H. Chang, D. Sedough, G.B. Hatton, J. Wang, A. Buanz A, S. Gaisford, and A.W. Basit, "Fabrication of controlled-release budesonide tablets via desktop (FDM) 3D printing," *International Journal of Pharmaceutics*, vol. 496, pp. 414-420, 2015.
- [40] J.G. Guitierrez, S. Cano, S. Schuschnigg, C. Kukla, J. Sapkota, and C. Holzer, "Additive manufacturing of metallic and ceramic components by the material extrusion of highly-filled polymers: A review and future perspectives," *Materials*, vol. 11, no. 5, May 2018, Art. no. 840.
- [41] D. Yadav, D. Chhabra, R.K. Gupta, A. Phogat, and A. Ahlawat, "Modeling and analysis of significant process parameters of FDM 3D printer using ANFIS," *Materials Today: Proceedings*, vol. 21, pp. 1592-1604, 2020.
- [42] M.S. Alsoufi and A.E. Elsayed, "How surface roughness performance of printed parts manufactured by desktop FDM 3D printer with PLA+ is influenced by measuring direction," *American Journal of Mechanical Engineering*, vol. 5, no. 5, pp. 211-222, 2017.
- [43] I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, "Ekstrusion-Based Systems," in *Additive Manufacturing Technologies, 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2nd ed., New York, USA: Springer, 2015, pp. 147-173.
- [44] Z. Weng, J. Wang, T. Senthil, and L. Wu, "Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing," *Materials and Design*, vol. 102, pp. 276-283, 2016.
- [45] B. Akhoundi, A.H. Behraves, and A.B. Saed, "Improving mechanical properties of continuous fiber-reinforced thermoplastic composites produced by FDM 3D printer," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 38, no. 3, pp. 99-116, 2019.
- [46] B. Akhoundi and A.H. Behraves, "Effect of filling pattern on the tensile and flexural mechanical properties of FDM 3D printed products," *Experimental Mechanics*, vol. 59, pp. 883-897, 2019.
- [47] R. Melnikova, A. Ehrmann, and K. Finsterbusch, "3D printing of textile-based structures by fused deposition modelling (FDM) with different polymer materials," *Materials Science and Engineering*, vol. 62, May 2014, Art. no. 012018.
- [48] V.G. Surange and P.V. Gharat, "3D printing process using fused deposition modelling (FDM)," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 1403-1406, 2016.
- [49] P. Stavropoulos and P. Foteinopoulos, "Modelling of additive manufacturing processes: a review and classification," *Manufacturing Rev.*, vol. 5, no. 2, pp. 1-26, 2018.
- [50] K.V. Wong and A. Hernandez, "A review of additive manufacturing," *ISRN Mechanical Engineering*, vol. 2012, Aug 2012, Art. no. 208760.
- [51] P. Dudek, "FDM 3D printing technology in manufacturing composite elements," *Archives of*

Metallurgy and Materials, vol. 58, no. 4, pp. 1415-1418, 2013.

[52] Z. Chen, Z. Li, J. Li, C. Li, C. Lao, Y. Fu, C. Liu, Y. Li, P. Wang, and Y. He, "3D printing of ceramics: A review," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 39, pp. 661-687, 2019.

[53] Y.L. Yap, C. Wang, S.L. Sing, V. Dikshit, W.Y. Yeong, and J. Wei, "Material jetting additive manufacturing: An experimental study using designed metrological benchmarks," *Precision Engineering*, vol. 50, pp. 275-285, 2017.

[54] A. Cazón, P. Morer, and L. Matey, "PolyJet technology for product prototyping: tensile strength and surface roughness properties," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B: J. Eng. Manuf.*, vol. 228, pp. 1664-1675, 2014.

[55] D. Blanco, P. Fernandez, and A. Noriega, "Nonisotropic experimental characterization of the relaxation modulus for PolyJet manufactured parts," *J. Mater. Res.*, vol. 29, pp. 1876-1882, 2014.

[56] D. Ibrahim, T.L. Broilo, C. Heitz, M.G. de Oliveira, H.W. de Oliveira, S.M.W. Nobre, J.H.G.D.S. Filho, and D.N. Silva, "Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy," *J. Cranio-Maxillo-Facial Surg.*, vol. 37, pp. 167-173, 2009.

[57] N. Meisel and C. Williams, "An investigation of key design for additive manufacturing constraints in multimaterial three-dimensional printing," *J. Mech. Des.*, vol. 137, no. 11, Nov 2015, Art. no. 111406.

[58] S. Tibbits, "4D printing: multi-material shape change," *Architl. Des.*, vol. 84, pp. 116-121, 2014.

[59] K. Yu, A. Ritchie, Y. Mao, M.L. Dunn, and H.J. Qi, "Controlled sequential shape changing components by 3D printing of shape memory polymer multimaterials," *Procedia IUTAM*, vol. 12, pp. 193-203, 2015.

[60] I.Q. Vu, L.B. Bass, C.B. Williams, and D.A. Dillard, "Characterizing the effect of print orientation on interface integrity of multi-material jetting additive manufacturing," *Additive Manufacturing*, vol. 22, pp. 447-461, 2018.

[61] J. Dilag, T. Chen, S. Li, and S.A. Bateman, "Design and direct additive manufacturing of three-dimensional surface micro-structures using material jetting technologies," *Additive Manufacturing*, vol. 27, pp. 167-174, 2019.

[62] A. Khoshkhoo, A.L. Carano, and D.M. Bliersch, "Effect of surface slope and build orientation on surface finish and dimensional accuracy in material jetting processes," *Procedia Manufacturing*, vol. 26, pp. 720-730, 2018.

[63] H. Yang, J.C. Lim, Y. Liu, X. Qi, Y.L. Yap, V. Dikshit, W.Y. Yeong, and J. Wei, "Performance evaluation of ProJet multi-material jetting 3D printer," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 12, no. 1, pp. 95-103, 2017.

[64] E.M. Palmero and A. Bollero, "3D and 4D printing of functional and smart composite materials," *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, vol. 2, pp. 402-419, 2021.

[65] I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, "Development of Additive Manufacturing Technology," in *Additive Manufacturing Technologies, 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing*, 2nd ed., USA: Springer, New York, 2015. pp. 19-41.

- [66] P.K. Gokuldoss, S. Kolla, and J. Eckert, "Additive manufacturing processes: Selective laser melting, electron beam melting and binder jetting-selection guidelines," *Materials*, vol. 10, no. 6, June 2017, Art. no. 672.
- [67] Y. Bai and C.B. William, "Binder jetting additive manufacturing with a particle-free metal ink as a binder precursor," *Materials and Design*, vol. 147, pp. 146-156, 2018.
- [68] J.A. Gonzalez, J. Mireles, Y. Lin, and R.B. Wicker, "Characterization of ceramic components fabricated using binder jetting additive manufacturing technology," *Ceramics International*, vol. 42, pp. 10559-10564, 2016.
- [69] H. Miyanaji, N. Momenzadeh, and L. Yang, "Effect of printing speed on quality of printed parts in binder jetting process," *Additive Manufacturing*, vol. 20, pp. 1-10, 2018.
- [70] M. Ziaee and N.B. Crane, "Binder jetting: A review of process, materials, and methods," *Additive Manufacturing*, vol. 28, pp. 781-801, 2019.
- [71] W. King, A.T. Anderson, R.M. Ferencz, N.E. Hodge, C. Kamath, and S.A. Khairallah, "Overview of modelling and simulation of metal powder bed fusion process at Lawrence Livermore National Laboratory," *Materials Science and Technology*, vol. 31, no. 8, pp. 957-968, 2015.
- [72] W. King, A.T. Anderson, R.M. Ferencz, N.E. Hodge, C. Kamath, S.A. Khairallah, and A.M. Rubenchik, "Laser powder bed fusion additive manufacturing of metals; physics, computational, and materials challenges," *App. Phys. Rev.*, vol. 2, Dec 2015, Art. no. 041304.
- [73] S. Vock, B. Klöden, A. Kirchner, T. Weißgärber, and B. Kieback, "Powders for powder bed fusion: a review," *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 4, pp. 383-397, 2019.
- [74] A.A. Martin, N.P. Calta, S.A. Khairallah, J. Wang J., P.J. Depond, A.Y. Fong, V. Thampy, G.M. Guss, A.M. Kiss, K.H. Stone, C.J. Tassone, J.N. Weker, M.F. Toney, T.V. Buuren, and M.J. Matthews, "Dynamics of pore formation during laser powder bed fusion additive manufacturing," *Nature Communications*, vol. 10, Apr 2019, Art. no. 1987.
- [75] A.T. Sutton, C.S. Kriewall, M.C. Leu, and J.W. Newkirk, "Powder characterisation techniques and effects of powder characteristics on part properties in powder-bed fusion processes," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 12, no. 1, pp. 3-29, 2017.
- [76] A. Dass and A. Moridi, "State of art in directed energy deposition: From additive manufacturing to materials design," *Coatings*, vol. 9, no. 7, June 2019, Art. no. 418.
- [77] W. Li, J. Zhang, X. Zhang, and F. Liou, "Effect of optimizing particle size on directed energy deposition of functionally graded material with blown pre-mixed multi-powder," *Materials Letters*, vol. 13, pp. 39-43, 2017.
- [78] M.A. Melia, H.D.A. Nquyen, J.M. Rodelas, and E.J. Schindelholz, "Corrosion properties of 304 stainless steel made by directed energy deposition additive manufacturing," *Corrosion Science*, vol. 152, pp. 20-30, 2019.
- [79] J.C. Haley, B. Zheng, U.S. Bertoli, A.D. Dupuy, J.M. Schoenung, and E.J. Lavernia, "Working distance passive stability in laser directed energy deposition additive manufacturing," *Materials and Design*, vol. 161, pp. 86-94, 2019.
- [80] J.C. Haley, J.M. Schoenung, and E.J. Lavernia, "Modelling particle impact on the melt pool and wettability effects in laser directed energy deposition additive manufacturing," *Materials Science & Engineering A*, vol. 761, June 2019, Art. no. 138052.



- [81] M.M. Hou. (2021, Jan 3). *Mitsubishi heavy industries to expand DED metal 3D printing line* [Online]. Available: <https://3dprint.com/276434/mitsubishi-heavy-industries-to-expand-ded-metal-3d-printing-line/>.
- [82] Mitsubishi Heavy Industries Group. (2021, Jan 3). *Directed Energy Deposition AM System* [Online]. Available: <https://www.mhi-machinetool.com/en/products/detail/lamda.html>.
- [83] Dassault Systemes. (2021, Jan 3). *3D Printing-Additive, Introduction to 3D printing-additive process* [Online]. Available: <https://make.3dexperience.com/processes/directed-energy-deposition>.
- [84] A. Huckstepp. (2021, Jan 3). *Digital Alloys' guide to metal additive manufacturing – Part 9, Directed Energy Deposition (DED)* [Online]. Available: <https://www.digitalalloys.com/blog/directed-energy-deposition/>.
- [85] S.K. Parupelli and S. Desai, “A comprehensive review of additive manufacturing (3D printing) : Processes, applications and future potential,” *Amerikan Journal Applied Sciences*, vol. 16, no. 8, pp. 244-272, 2019.
- [86] K.V. Wong and A. Herhandez, “A review of additive manufacturing,” *International Scholarly Research Notices*, vol. 2012, Aug 2012, Art. no. 208760.
- [87] C.K. Chua, S.M. Chou, and T.S. Wong, “A study of the state-of-the-art rapid prototyping technologies,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 14, pp. 146-152, 1998.
- [88] B.G. Mekonnen, G. Bright, and A. Walker, “A study on state of the art technology of laminated object manufacturing (LOM),” *CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future Lecture Notes in Mechanical Engineering*, In: Mandal D.K., Syan C.S. Ed., New Delhi, India: Springer, 2016, pp. 207-216.
- [89] İ. Karagöz, “An effect of mold surface temperature on final product properties in the injection molding of high-density polyethylene materials,” *Polym. Bull.*, vol. 78, pp. 2627-2644, 2021.
- [90] İ. Karagöz, “Bilgisayar destekli programlar kullanılarak hazırlanmış döküm kalıbı ve ürün tasarımının polimer kompozit malzemeden üretilmesi,” *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, c. 5, s. 2, ss. 346-352, 2018.
- [91] İ. Karagöz, “Hardness change due to carburization time and material thickness during heat treatment of SAE 8620 (21NiCrMo2) plates,” *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 748-754, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Özel Sektör Çalışanlarında İş Kazası ve Meslek Hastalıklarında Maliyet Analizi: Düzce İli Örneği

 Harun GÖRGÜN^{a,*},  Tarık GEDİK^b

^a OEM Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b OEM Bölümü, Orman Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: harungorgun1905@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.892751

ÖZ

İşyerinde gerek çalışan gerekse de işveren tarafından iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınmaması nedeniyle iş kazaları meydana gelmektedir. Mesleki risklere maruziyet sonucu ortaya çıkan hastalıkların sonucu olarak da meslek hastalığı tanımı yapılmaktadır. Bu çalışma ile iş kazası ve meslek hastalığı nedeniyle Düzce ili Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) hastanelerinden yararlanan özel sektör çalışanlarının çalışanlara, işverenlere, kamu hastanelerine ve topluma maliyetleri hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Düzce kamu hastaneler birliği hastanelerine iş kazası ve meslek hastalığı nedeniyle müracaat edenlerin sayısının yıllar itibarıyla artış gösterdiği belirlenmiştir. İş kazası nedeniyle ağırlıklı olarak 21-25 yaş grubundan, meslek hastalığı nedeniyle de ağırlıklı olarak 36 yaş ve üzeri çalışanların olduğu belirlenmiştir. İş kazası nedeniyle hastanelere müracaat eden hastaların ortalama 8 dakika 14 saniyede muayene oldukları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda hastaların ortalama 29 dakika 50 saniye poliklinikte tedavi gördükleri ve ortalama 38 dakika 2 saniye de hastanede kaldıkları belirlenmiştir. 2010-2014 yılları arasında Düzce kamu hastaneler birliğine iş kazası ile müracaat eden hastaların büyük çoğunluğunun el ya da kol yaralanmalarından ve ayak ya da bacak yaralanmalarından kaynaklı şikâyetle müracaat ettikleri belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda iş kazası nedeniyle hastalara ortalama 4 gün rapor düzenlendiği belirlenmiştir. 2010-2014 yılları arasında iş kazasından kaynaklı olarak yıllara bağlı ortalama toplam maliyetler minimum 339,10 TL, maksimum da 447,72 TL olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Düzce, İş kazası, meslek hastalığı, sosyal güvenlik kurumu.

Cost Analysis in Work Accidents and Occupational Diseases in Private Sector Employees: The Case of Duzce Province

ABSTRACT

Occupational accidents occur because occupational health and safety measures cannot be taken by both the employee and the employer in the workplace. The definition of occupational disease is also made as a result of diseases that occur as a result of exposure to occupational risks. With this study, the costs of private sector employees who benefit from Duzce Province Social Security Institution hospitals due to occupational accidents and diseases to employees, employers, public hospitals and society were calculated. As a result of the evaluations made, it was determined that the number of people who applied to Duzce public hospitals association hospitals due to work accidents and occupational diseases increased over the years. It has been determined that there are mainly employees in the 21-25 age group due to occupational accidents and 36 years and above due to occupational diseases. It has been calculated that patients who apply to hospitals due to work accidents are examined in an average of 8 minutes and 14 seconds. As a result of the calculations, it was determined that the patients were

treated in the outpatient clinic for an average of 29 minutes and 50 seconds, and that they stayed in the hospital for an average of 38 minutes and 2 seconds. It was determined that the vast majority of patients who applied to Duzce Public Hospitals Association with an occupational accident between 2010 and 2014 applied with complaints of hand or arm injuries and foot or leg injuries. As a result of the evaluations made, it was determined that patients received reports for an average of 4 days due to occupational accidents. Between 2010 and 2014, the average total costs depending on the years due to the occupational accident were calculated as a minimum of 339.10 TL and a maximum of 447.72 TL.

Keywords: Duzce, Occupational disease, Social security institution, Work accident.

I. GİRİŞ

İş kazası ve meslek hastalığı konusunda literatürde birçok tanıma yer rastlanmaktadır. Gerek Dünya Çalışma Örgütü (ILO) gerekse de Dünya Sağlık Örgütü çalışanları tarafından yapılan iş sağlığı ve güvenliği tanımlarında ortak nokta herhangi bir işte çalışan işçilerin, fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden iyi olmalarının sağlanması ve bu durumun sürekli iyileştirilmesi; çalışma koşullarının işçilerin sağlıklarını kaybetmelerini önleyecek şekilde ve sürekli olarak iyileştirilmesi; işçilerin sağlıklarını olumsuz etkileyecek çalışma ortamlarından korunmalarını sağlayacak önlemlerin alınmasını; işçilerin hem fizyolojik hem de psikolojik yapılarına uygun işleri yapmaları gerektiği üzerinde odaklanmaktadır.

Literatürde iş kazası “sigortalının, işveren otoritesi altında bulunduğu bir sırada gördüğü iş veya işin gereği dolayısıyla aniden ve dıştan meydana gelen bir etkenle onu bedence ya da ruhça zarara uğratan olay” şeklinde tanımlı yaygın olarak geçmektedir [1-5].

İş hayatında iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesi hukuken zorunlu olmasına karşın her yıl milyonlarca çalışan hayatını kaybetmektedir. ILO verilerinde her 15 saniyede bir çalışanın iş kazası veya meslek hastalığına maruz kalmasından dolayı hayatını kaybettiği, her yıl da 2,78 milyondan fazla insanın iş kazası veya meslek hastalıklarından dolayı hayatını kaybettiği, yaklaşık 374 milyondan fazla ölümle sonuçlanmayan iş kazasının olduğu ve ortalama 4 günden fazla işe devamsızlığın ortaya çıktığı rapor edilmektedir [6].

SGK verilerinde Türkiye için en güncel veri olarak 2019 yılı yer almakta ve bu yıl için 21’si kadın, 1216’sı erkek olmak üzere toplam 1147 çalışanın iş kazası nedeniyle hayatını kaybettiği rapor edilmiştir [7].

İş kazaları sonucunda ölüm, meslek hastalığı ve yaralanmalar meydana gelmekte ve bunlar da beraberinde maddi maliyetlere neden olmaktadır. Bu maliyetleri çalışanlara olan maliyetler, işverenlere olan maliyetler ve devlete olan maliyetler olarak ele alan çalışmalara rastlanmaktadır [5], [8-11]. İşçilere maliyet açısından en acı olan ölümle sonuçlanandır. İş kazaları veya meslek hastalıkları sonucunda işçilerin çalışma gücünün kısmen ya da tamamen kaybolması da ortaya çıkabilmektedir. Bunun yanında iş kazaları ve meslek hastalıkları çalışanlarda hem psikolojik hem de sosyolojik sonuçlar doğurabilmekte, gerek tedavi için gerekse de gelir kaybından kaynaklı ekonomik zorluklar ortaya çıkabilmektedir. İş kazalarının işverenler açısından da önemli maliyetlere sebep olduğu literatürde yer almaktadır. Bu maliyetlerin başında iş kazalarından kaynaklı işletmelerde verimlilik kaybının ortaya çıkması gelmektedir. İş kazası sonucunda işverenlerin işletmelerinde ortaya çıkan maddi kayıplara ilaveten gerek çalışana gerekse de devlete karşı maddi yükümlülükleri de ortaya çıkabilmektedir. İş kazalarını önlemek için katlanılan maliyetler de işverenin katlandığı maliyetlerdendir.

İş kazalarının işçi ve işverene olan bu maliyetlerinin yanında devlete yani ulusal ekonomiye de bir maliyeti olmaktadır. İş kazası veya meslek hastalığından kaynaklı SGK harcamaları nedeniyle ortaya çıkan giderler ile ilgili sağlık kurumu ve bu kurumlarda çalışan personelin meşguliyeti, malzeme maliyetleri, vergi kayıpları gibi önemli maliyetler de ortaya çıkmaktadır.

İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili olarak işyerlerinin tehlike ve risk analizlerinin erkenden analiz edilmesi ve gerekli önleyici tedbirlerin uygulanması ile işyerinin büyüklük ya da küçüklüğüne bakılmaksızın o oranda işletme hedefleri ve başarısı gerçekleştirilebilir. Bu nedenle işyerlerinde iş kazaları ve meslek hastalıklarından korunmak için etkin iş sağlığı ve güvenliği planları oluşturulmalı ve bu planların sürekli kontrol edilerek revize edilmesi gerekmektedir. İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin her türlü düzenlemede 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun dikkate alınması ve kanunda belirlenen şartların/standartların yerine getirilmesi gerekmektedir [12]. İş sağlığı ve güvenliği konusunda gerekli tedbirleri alan işletmeler, iş kazası ve meslek hastalıklarının maliyetlerini azaltarak karlılıklarını arttırabilmektedirler [13]. Literatürde yer alan çalışmalar iş sağlığı ve güvenliğine yapılan yatırımların iş kazaları ve meslek hastalıklarının maliyetlerinde önemli derecede düşüslere neden olduğunu göstermektedir [5]

Yapılan bu çalışmanın amacı iş kazası ve meslek hastalığı nedeniyle Düzce Kamu Hastaneler Birliği Hastanelerinden (KHBH) yararlanan özel sektör çalışanlarının iş kazası ve meslek hastalığı olarak öne çıkan rahatsızlıklarını belirlemek ve iş kazası ve meslek hastalıklarının hastaneye, işletmeye ve bireye yüklenen maliyetlerini ortaya çıkarmaktır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. ARAŞTIRMA MATERYALİ

Çalışma materyalini 2010-2014 yılları arasında Düzce KHBH'lerine iş kazası ve meslek hastalığı şikâyeti ile müracaat eden hastalar oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında Düzce Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulundan 03/03/2015 tarih ve 2015/6 Karar no ile Düzce KHBH'de bu tür bir bilimsel çalışma yapılmasında "Etik ve Bilimsel Sakınca Bulunmadığı" belirtilen Etik Kurul İzin Belgesi alınmıştır.

Çalışma amaçlarına ulaşmak için 11.04.2015-15.06.2015 tarihleri arasında 2010-2014 yılları arasında Düzce KHBH'den iş kazası ve meslek hastalığı şikâyeti ile gelen hastalara ait;

- Hastaların neden KHBH'sine başvurdukları,
- Hastanın cinsiyeti,
- Hastanın yaşı,
- Hastaneye başvuru tarihi, başvuru saati, hastaneden çıkış saati,
- Hastanenin SGK'na hastaya ait fatura tutarları,
- Hastaya rapor düzenlendiyse rapor süresi ve
- Hastaların hastanede toplam kalış sürelerine ait veriler alınmıştır.

A. 1. Araştırma Yöntemi

İş kazası ve meslek hastalığı şikâyeti ile KHBH'ne müracaat eden hastaların Hasta Kayıt Formunda hastaneye müracaat etme nedenleri irdelenmiş ve el-kol yaralanmaları, ayak-bacak yaralanmaları, kafa yaralanmaları, göz yaralanmaları, göğüs yaralanmaları ve diğer yaralanmalar olmak üzere 6 alt boyutta değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışma kapsamında iş kazası ve meslek hastalığı şikâyetlerinin hastaneye, işletmeye ve bireye maliyetleri hesaplanırken; "Hastaya rapor düzenlendiği günkü brüt günlük asgari ücret ile almış olduğu rapor gün sayısı çarpılıp, çıkan sonucun üçte ikisi tutarında geçici iş göremezlik ödeneği Sosyal Güvenlik Kurumunca hastaya ödeme yapılır [14] olgusundan hareketle hesaplamalar yapılmıştır.

A. 2. Araştırma Bulguları

2010-2014 yılları arasında Düzce İli KHBH Genel Sekreterliğine bağlı hastanelerde iş kazasına maruz kaldığını belirterek KHBH'ne müracaat eden hasta sayısı 1.717 olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). İş

kazası gerekçesiyle müracaat eden hastaların %91,6'sı erkek, %8,4'ünün kadın olduğu belirlenmiştir. Aynı yıllar arasında Düzce KHBH'ne meslek hastalığı şikâyeti ile ilgili 57 müracaat olduğu ve bunların %50,9'unun kadın, %49,1'inin de erkek olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Bekâr ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada 2005-2014 yılları arasında toplam 990.587 iş kazasının meydana geldiği ve 12.617 çalışanın hayatını kaybettiği belirlenmiştir. İlgili dönemde 5.709 çalışanın meslek hastalığına yakalandığı ve bunlardan 56'sının hayatını kaybettiği tespit edilmiştir [15].

Tablo 1. Düzce KHBH'ne iş kazası ve meslek hastalığı nedeniyle müracaat edenlerin yıllar itibarıyla dağılımı.

Yıl	Acil servise müracaat eden hasta sayısı	İş Kazası		Meslek Hastalığı	
		Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
2010	58.409	135	0,23	3	0,00005
2011	59.190	269	0,45	40	0,00068
2012	62.987	317	0,50	8	0,00013
2013	64.994	503	0,77	4	0,00006
2014	67.132	493	0,73	2	0,00003
Toplam	312.712	1.717		57	

Çalışma sonucunda ulaşılan verilere göre her geçen yıl iş kazasından kaynaklı olarak Düzce KHBH'ne müracaat eden hasta sayısında artış meydana gelmektedir. Bekâr ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada ise 2005 yılından 2012 yılına kadar iş kazası bildirimlerinin azaldığı ancak 2013 ve 2014 yıllarında iş kazası bildirimlerinde büyük oranda artışların olduğu belirtilmiştir [15]. Akyüz ve arkadaşları (2016) tarafından 2011-2014 yılları arasında imalat sanayisi içerisinde yer alan alt sektörlerin iş kazası istatistiklerinin incelendiği çalışmada makine ve teçhizat üretimi yapılan sektörün en yüksek oranda iş kazası, sürekli iş görmezlik ve ölüm oranlarında önde olan sektör olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında iş kazası sıklık oranı ve iş kazası ağırlık oranlarında ise metalik olmayan ürünlerin imalatı sektörünün ilk sırada yer aldığı belirtilmiştir. Çalışma kapsamında irdelenen 2011-2014 yılları arasında orman ürünleri sanayi sektörü genelinde her yıl ölüm olayının gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sektörde iş kazası sayısında yıllara bağlı olarak bir artışın olduğu da belirtilmiştir [16].

Çalışma kapsamında 2010-2014 yılları arasında iş kazası nedeniyle Düzce KHBH'ne müracaat edenlerin yaş dağılımlarına ait bulgular Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Düzce KHBH'ne iş kazası ve meslek hastalığı nedeniyle müracaat edenlerin yaş dağılımları (2010-2014).

Yaş Aralığı	İş kazası		Meslek hastalığı		Toplam	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
17-20 yaş arası	103	6,0	1	1,8	104	5,9
21-25 yaş arası	603	35,1	4	7,0	607	34,2
26-30 yaş arası	534	31,1	10	17,5	544	30,7
31-35 yaş arası	345	20,1	10	17,5	355	20,0
36 yaş ve üzeri	132	7,7	32	56,1	164	9,2
Toplam	1.717	100	57	100	1.774	100

İş kazası nedeniyle müracaat edenlerin ağırlıklı olarak 21-25 yaş aralığında (%35,1) ve 26-30 yaş aralığında (%31,1) oldukları görülmektedir. Meslek hastalığı nedeniyle müracaat eden hastaların ise ağırlıklı olarak (%56,1) 36 yaş ve üzerinde oldukları belirlenmiştir. İş kazası sebebiyle hastaneye müracaat eden hastaların yaşlarının minimum 18, maksimum 47 ve ortalama yaşında 28 olduğu tespit edilmiştir. Meslek hastalığı şikâyetiyle ilgili olarak da hastaların minimum 17, maksimum 55 yaşında oldukları ve ortalama yaşında 37 olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında 2010-2014 yılları arasında iş kazasına maruz kaldığını belirterek Düzce KHBH'ne müracaat eden hastaların, hasta kabulde kayıt işlemi yaptırıp, poliklinikte muayene olana kadar geçirdikleri süreleriyle muayenede kalış süreleri irdelendiğinde %63,1 oranında 5 dakikadan daha kısa

sürede muayeneye başlandığı ve %69 oranında da 5 dakikadan daha kısa süre muayenede kaldıkları belirlenmiştir. Veriler irdelendiğinde iş kazası nedeniyle hastaneye müracaat eden hastaların %57,5'inin hastanede en fazla 10 dakika kaldıkları hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. İş kazası nedeniyle müracaat eden hastaların muayene olana kadar hastanede ve poliklinikte geçirdikleri süreler.

Süreler	Muayeneye kadar geçen Süre		Poliklinikte Kalış Süresi		Hastanede Kalış Süresi	Sayı	Yüzde
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde			
1-5 dk arası	1.083	63,1	1.185	69,0	1-10 dakika arası	988	57,5
6-10 dk arası	317	18,5	50	2,9	11-20 dakika arası	175	10,2
11-20 dk arası	178	10,4	45	2,6	21-30 dakika arası	64	3,7
21-30 dk arası	51	3,0	49	2,9	31-40 dakika arası	59	3,4
31-40 dk arası	37	2,2	38	2,2	41-50 dakika arası	49	2,9
41-50 dk arası	9	0,5	52	3,0	51-60 dakika arası	41	2,4
51-60 dk arası	10	0,6	31	1,8	61-120 dakika arası	182	10,6
61-120 dk arası	26	1,5	148	8,6	121-180 dakika arası	85	5,0
121 dk ve üzeri	6	0,3	119	6,9	181-240 dakika arası	32	1,9
Toplam	1.717	100	1.717	100	241 dakika ve üzeri	42	2,4

Hastaların muayene olana kadar ortalama 8 dakika 14 saniyede muayene oldukları hesaplanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda sürenin kısa olmasında etkili olan faktör, iş kazası nedeniyle acil servise gelen hastaların öncelikli olarak travma birimine yönlendirilmesi ve bu hastalar muayene olurken aynı zamanda kayıt işlemlerinin de yapılmasıdır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda hastaların ortalama 29 dakika 50 saniye poliklinikte tedavi gördükleri ve ortalama 38 dakika 2 saniye de hastanede kaldıkları belirlenmiştir.

2010-2014 yılları arasında meslek hastalığı nedeniyle Düzce KHBH'ne başvuran hastaların, hasta kabulde kayıt işlemi yaptırıp, poliklinikte muayene olana kadar geçirdikleri süreler ile poliklinikte kalış sürelerine ait bulgular Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Meslek hastalığı şikâyetiyle gelen hastaların muayene olana kadar hastanede geçirdikleri süreler.

Süreler	Muayene olana kadar geçirilen süre		Hastaların poliklinikte kalış süreleri		Hastanede toplam kalış süresi	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
60 dakikadan az	22	38,6	28	49,1	10	17,5
61-120 dakika arası	27	47,4	11	19,3	20	35,2
121-180 dakika arası	6	10,5	5	8,8	6	10,5
181-300 dakika arası	2	3,5	13	22,8	21	36,8
Toplam	57	100	57	100	57	100

2010-2014 yılları arasında meslek hastalığı şikâyeti ile Düzce KHBH'ne müracaat eden hastaların hasta kabul biriminde sıra alma işlemini yaptırıp, poliklinikte muayene olana kadar geçirdikleri süreler incelendiğinde 1 dakika ile 3 saat 34 dakika arasında bekledikleri tespit edilmiştir. Hastaların %47,4'ü 1 saat ile 2 saat arasında muayene olana kadar zaman harcarken, hastaların ortalama 1 saat 18 dakika 28 saniye muayene olana kadar zaman geçirdiği hesaplanmıştır. 2010-2014 yılları arasında incelenen hastane kayıtlarına göre hastaların 1 dakika ile 6 saat 14 dakika arasında poliklinikte muayene için zaman geçirdikleri tespit edilmiştir. Hastaların %49,1'inin poliklinikte 1 saatten daha az bir sürede muayene oldukları belirlenmiştir.

İrdelemeler sonucunda hastaların ortalama 1 saat 29 dakika 25 saniye poliklinikte muayene için zaman

harcadıkları hesaplanmıştır. Meslek hastalığı ile Düzce KHBH'ne şikâyet eden hastaların 1 dakika ile 8 saat 18 dakika arasında hastanede kaldıkları tespit edilirken, hastaların ortalama 2 saat 47 dakika 54 saniye hastanede kaldıkları hesaplanmıştır.

2010-2014 yılları arasında iş kazasına maruz kaldığını belirterek Düzce KHBH'ne müracaat eden hastaların hastaneye başvurma nedenlerine ait bulguları Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. İş kazası nedeniyle hastaların hastaneye başvurma nedenleri.

Konulan tanı	Cinsiyet					
	Erkek		Kadın		Toplam	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
El-kol yaralanması	887	56,4	77	53,5	964	56,1
Ayak-bacak yaralanması	465	29,5	40	27,7	505	29,4
Kafa yaralanması	131	8,3	15	10,4	146	8,5
Göz yaralanması	39	2,5	5	3,5	44	2,6
Göğüs yaralanması	37	2,4	4	2,8	41	2,4
Diğer yaralanmalar	14	0,9	3	2,1	17	2,3
Toplam	1.573	100	144	100	1.717	100

2010-2014 yılları arasında Düzce KHBH'ne iş kazası ile müracaat eden hastaların %56,4'ünün el ya da kol yaralanmalarından kaynaklı şikâyetle müracaat ettikleri belirlenmiştir. El-kol yaralanmalarını ayak ya da bacak yaralanmaları izlemektedir. Cinsiyet bakımından irdelendiğinde de el-kol yaralanmaları hem erkeklerde hem de kadınlarda en fazla görülen iş kazası olarak tespit edilmiştir. Bütüner ve Uzun (2010) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'de iş kazaları sonucunda olan yaralanmaların %53,4'ünün üst ekstremitelerde olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada kaza sonucunda meydana gelen yaralanmalarda özellikle yüzeysel yaralanmaların ve açık yaraların %45,6 oranda görüldüğü ve büyük bir oranda da kazaların hafif yaralanma ile sonuçlandığı belirtilmiştir [17].

Sevim Korkut ve Gedik (2010) tarafından yapılan çalışmada Düzce orman ürünleri sanayisinde iş kazaları sonucunda çalışanların en yüksek oranda maruz kaldıkları rahatsızlıklar sırt ve bel ağrısı, baş ve boyun ağrısı, ayak ve bilek ağrısı ile yaygın olarak ağrı şikâyetleri şeklinde sıralanmıştır [18].

Gedik ve İlhan (2014) tarafından Sakarya ili mobilya işletmelerinde çalışanların iş kazası istatistiklerinin incelendiği çalışmada çalışanların ağırlıklı olarak el ve parmakta kesilme/delinme ile kas ezilmesi-lif kesilmesinden kaynaklı bir kaza geçirdikleri belirlenmiştir [19].

2010-2014 yılları arasında Düzce KHBH'ne meslek hastalığı şikâyeti ile müracaat eden hastaların müracaat etme nedenleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Meslek hastalığı nedeniyle hastaların hastaneye başvurma nedenleri.

Meslek hastalığı	Cinsiyet					
	Erkek		Kadın		Toplam	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
El-kol hastalıkları	23	82,1	24	82,8	47	82,5
Ayak-bacak hastalıkları	3	10,7	5	17,2	8	14,0
Diğer hastalıklar	2	7,2	-	-	2	3,5
Toplam	28	100	29	100	57	100

2010-2014 yılları arasında meslek hastalığı ile Düzce KHBH'ne müracaat edenlerin %82,5'inin el-kol hastalıklarından kaynaklı hastanelere müracaat ettikleri belirlenmiştir. İş kazasına maruz kaldığını belirterek Düzce KHBH'ne müracaat eden hastaların hastaneye başvuruları sonrası SGK kayıtlarına göre oluşan poliklinik maliyetleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. İş kazası ve meslek hastalığı nedeniyle başvuran hastaların SGK'na poliklinik maliyetleri.

Hastanın hastaneye maliyetleri	İş kazası		Meslek hastalığı*	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
1-49,99 TL arası	840	48,9	30	52,6
50,00-99,99 TL arası	526	30,6	14	24,6
100,00-199,99 TL arası	286	16,7	8	14,0
200,00-299,99 TL arası*	35	2,0	5	8,8
300,00-399,99 TL arası	5	0,3		
400,00 TL ve üzeri	25	1,5		

*Meslek hastalığında hastane maliyetlerinde 200 TL ve üzeri tek bir grup yapılmıştır.

2010-2014 yılları arasında iş kazasına maruz kaldığını belirterek KHBH'ne müracaat eden hastaların poliklinik maliyetleri hesaplanırken hastalara yapılan tetkikler (kan tahlilleri gibi), röntgen, tomografi ve MR işlemleri dikkate alınmıştır. Bu işlemler için acil servise müracaat eden hastaların SGK'na maliyeti hesaplanırken hizmet başına ödeme esas alınarak hesaplama yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda minimum 15,50 TL, maksimum 1.146,00 TL poliklinik maliyetinin olduğu hesaplanmıştır. Hastaların %48,9'unun 49,99 TL'den daha az poliklinik maliyeti oluşturduğu görülmektedir. Çalışma kapsamında iş kazasına maruz kaldığını beyan eden hastalar için ortalama poliklinik maliyeti 75,20 TL olarak hesaplanmıştır.

Meslek hastalığı şikâyetiyle müracaat eden hastaların Düzce KHBH'ne poliklinik maliyetleri incelendiğinde minimum 15,50 TL, maksimum da 595,90 TL poliklinik maliyetinin olduğu ve ortalama maliyetinde 75,61 TL olduğu hesaplanmıştır. Hastaların %52,6'sında 49,99 TL'den daha az poliklinik maliyetinin olduğu görülmüştür.

2010-2014 yılları arasında iş kazasına maruz kaldığını belirterek Düzce KHBH'nde muayene olan hastalara verilen raporlarla ilgili bulgular Tablo 8'de gösterilmiştir.

Tablo 8. İş kazası nedeniyle müracaat eden hastalara verilen rapor gün sayıları.

Rapor Gün Sayısı	Erkek		Kadın		Toplam	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
Rapor verilmemiş	78	5,0	6	4,2	84	4,9
1 gün	167	10,6	16	11,1	183	10,7
2-3 gün	693	44,1	57	39,6	750	43,7
4-7 gün	453	28,8	44	30,6	497	28,9
10-30 gün	182	11,6	21	14,6	203	11,8
Toplam	1.573	100	144	100	1.717	100

İş kazası nedeniyle Düzce KHBH'ne müracaat eden hastaların %4,9'una herhangi bir rapor izni verilmezken, %43,7'sine 2-3 gün rapor izni düzenlendiği belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda iş kazası nedeniyle hastalara ortalama 4 gün rapor düzenlendiği belirlenmiştir. Gedik ve Sevim Korkut (2011) tarafından yapılan bir çalışmada meydana gelen iş kazaları sonucu çalışanlarda kalıcı sakatlıkların ortaya çıktığı (%17) ve iş kazası sonrası aktif işe dönme süresinin de hemen (%6) ve 45 gün (%17) arasında değiştiği belirtilmiştir [20].

2010-2014 yılları arasında meslek hastalığı şikâyeti ile Düzce KHBH'nde muayene olan hastalara verilen raporlarla ilgili bulgular Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9. Meslek hastalığı nedeniyle müracaat eden hastalara verilen rapor gün sayıları.

Rapor Gün Sayısı	Erkek		Kadın		Toplam	
	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde	Sayı	Yüzde
1-5 gün	17	45,9	20	54,1	37	64,9
6-10 gün	8	53,3	7	46,7	15	26,3
11-30 gün	3	60,0	2	40,0	5	8,8
Toplam	28	49,1	29	50,9	57	100

Meslek hastalığı nedeniyle Düzce KHBH’nde tedavi gören hastalara %64,9 oranında 1-5 gün arası rapor düzenlendiği belirlenmiştir. Meslek hastalığı nedeniyle başvuran hastalara ortalama 7 gün rapor tanzim edildiği hesaplanmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda meslek hastalığı nedeniyle müracaat eden erkek hastaların kadınlara göre daha fazla rapor aldıkları belirlenmiştir. Meslek hastalığı nedeniyle düzenlenen ortalama rapor gün sayısının iş kazası için belirlenen ortalama rapor gün sayısından fazla olduğu da görülmüştür.

5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sigortası Kanunu uyarınca; “hastalık nedeniyle geçici iş göremezliğe uğrayan sigortalıya iş göremezliğin başladığı tarihten önceki bir yıl içinde en az doksan gün kısa vadeli sigorta primi bildirilmiş olması şartıyla geçici iş göremezliğin üçüncü gününden başlamak üzere her gün için “Yatarak tedavilerde günlük kazancının yarısı, ayaktan tedavilerde ise günlük kazancın üçte ikisi tutarında geçici iş göremezlik ödeneği Sosyal Güvenlik Kurumunca ödenmektedir”. Dolayısıyla hastalık nedeniyle sigortalının istirahatli olduğu iki günlük süre için kurumca iş göremezlik ödeneği ödenmediği gibi, işvereni tarafından ücret ödeme gibi bir mecburiyet de bulunmamaktadır.

Çalışma kapsamında hastalara verilen raporların maliyet hesaplanmasında “Hastaya rapor düzenlendiği günkü brüt günlük asgari ücret ile almış olduğu rapor gün sayısı çarpılıp, çıkan sonucun üçte ikisi tutarında geçici iş göremezlik ödeneği Sosyal Güvenlik Kurumunca hastaya ödeme yapılır [14] hükmünce değerlendirmeler yapılmış ve ilgili olan yılın asgari ücreti dikkate alınarak hesaplamalar yapılmış ve bulguları Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10. SGK tarafından ödenen geçici iş göremezlik ödeneği maliyetleri.

Rapor maliyeti	İş kazası		Rapor maliyeti	Meslek hastalığı	
	Sayı	Yüzde		Sayı	Yüzde
0-74,99 TL arası	526	30,6	1-50 TL arası	6	10,5
75,00-149,99 TL arası	642	37,4	51-100 TL arası	8	14,0
150,00-299,99 TL arası	412	24,0	101-150 TL arası	19	33,3
300,00 TL ve üzeri	137	8,0	151-200 TL arası	6	10,5
			201 TL ve üzeri	18	31,6

İş kazası nedeniyle düzenlenen raporlarda maliyetlerin en fazla %37,4 ile 75-149,99 TL arasında olduğu belirlenirken, rapor düzenlenen hastalara ortalama 130,34 TL rapor maliyeti hesaplanmıştır.

Meslek hastalığı nedeniyle düzenlenen raporlarda 101-150 TL arasında oluşan rapor maliyetinin en yüksek oranda (%33,3) olduğu hesaplanırken, meslek hastalığı nedeniyle hastalara ortalama 208,58 TL rapor maliyeti hesaplanmıştır.

İş kazası ve meslek hastalığı nedeniyle Düzce KHBH’ne müracaat eden hastaların işyerlerine, SGK’na ve topluma yani müracaat eden hastalara olan maliyetleri Tablo 11’de verilen eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 11. İş kazası ve meslek hastalığının maliyetleri.

Hesap türü	Eşitlik	Açıklama
Rapor maliyetlerinin işçiye maliyeti ($M_{i\text{şçi}}$)	$M_{i\text{şçi}} = R_i * A\ddot{U}_{i\text{şçi}}$	R_i : Hastalara düzenlenen rapor gün sayısı $A\ddot{U}_{i\text{şçi}}$: Hastanın günlük asgari ücret tutarının üçte ikisi
Rapor maliyetlerinin işverene maliyeti ($M_{i\text{şveren}}$)	$M_{i\text{şveren}} = R_i * A\ddot{U}_{i\text{şveren}}$	R_i : Hastalara düzenlenen rapor gün sayısı $A\ddot{U}_{i\text{şv.}}$:Hastanın günlük asgari ücret tutarı
Rapor maliyetlerinin SGK maliyeti (M_{SGK})	$M_{SGK} = (R_i * A\ddot{U}_{i\text{şv.}}) + TH$	R_i : Hastalara düzenlenen rapor gün sayısı $A\ddot{U}_{i\text{şv.}}$:Hastanın günlük asgari ücret tutarı TH: Hastalara yapılan toplam tedavi harcaması
Toplam Maliyet	$TM = M_{i\text{şçi}} + M_{i\text{şv.}} + M_{SGK}$	Bu üç maliyetin toplamı toplam maliyeti oluşturacaktır.

2010-2014 yılları arasında iş kazası nedeniyle Düzce KHBH'ne müracaat eden hastaların işyerlerine, SGK'na ve topluma yani müracaat eden hastalara olan maliyetleri Tablo 12'de gösterilmiştir.

Tablo 12. İş kazası nedeniyle müracaat eden hastalarda yıllar itibariyle oluşan maliyetler (TL).

Yıllar	$M_{i\text{şçi}}$	$M_{i\text{şveren}}$	M_{SGK}	TM	
2010	Minimum	16,20	24,30	40,30	80,80
	Maksimum	169,00	253,50	721,00	1.143,50
	Ortalama	66,91	96,88	175,31	339,10
2011	Minimum	17,70	26,55	40,30	84,55
	Maksimum	531,00	796,50	994,79	2.322,29
	Ortalama	73,66	110,38	190,66	374,70
2012	Minimum	19,50	29,25	49,55	98,30
	Maksimum	627,00	940,50	1.065,20	2.632,70
	Ortalama	90,17	135,07	207,21	432,45
2013	Minimum	21,74	32,62	33,00	87,36
	Maksimum	681,00	1.021,50	1.798,50	3.501,00
	Ortalama	92,25	137,98	217,49	447,72
2014	Minimum	23,8	35,70	47,35	106,85
	Maksimum	756,00	1.134,00	1.208,70	3.098,70
	Ortalama	91,98	137,82	208,34	438,14

Yapılan hesaplamalar sonucunda iş kazası nedeniyle Düzce KHBH'ne müracaat eden hastalardan rapor almayan hastaların da olduğu görülmüştür. Hastaların aldıkları maksimum raporlu gün sayısı 30 gün olarak belirlenmiştir. Rapor maliyetlerinin işçiye maliyetleri incelendiğinde 0 TL ile 756 TL arasında değiştiği ve ortalama rapor gün sayısı olan 4 gün dikkate alındığında da ortalama maliyetin 100,8 TL olduğu hesaplanmıştır. 2021 yılı cari fiyatları ve ortalama rapor gün sayısı olan 4 gün dikkate alındığında ortalama maliyet 318 TL olduğu hesaplanmıştır.

2010-2014 yılları arasında iş kazasından kaynaklı olarak işverene yansıyan maliyetler incelendiğinde minimum 24,30 TL, maksimum 1.134,00 TL, ortalama maliyet 429,44 TL olarak hesaplanmıştır. 2010-2014 yılları arasında iş kazasından kaynaklı işverene yansıyan maliyetlerinin 2021 yılı cari fiyatları değerlendirildiğinde; minimum 119,25 TL, maksimum 3.577,50 TL olduğu hesaplanmıştır.

2010-2014 yılları arasında iş kazasından kaynaklı olarak SGK'na yansıyan maliyetler incelendiğinde minimum 40,30 TL, maksimum 1.798,50 TL, ortalama maliyet 599,86 TL olarak hesaplanmıştır. 2010-2014 yılları arasında iş kazasından kaynaklı SGK'na yansıyan maliyetlerin 2021 yılı cari fiyatları üzerinden güncel maliyetleri; minimum 169,25 TL, maksimum 4.354,50 TL ve ortalama maliyet de 636,25 TL hesaplanmıştır.

2010-2014 yılları arasında iş kazasından kaynaklı olarak toplam maliyetler incelendiğinde ise minimum

80,80 TL, maksimum da 3.098,70 TL, ortalama maliyet 536,21 TL olarak hesaplanmıştır. 2021 yılında güncel maliyetlere göre iş kazalarının maliyetleri incelendiğinde ise minimum 137,25 TL, maksimum 7.932,00 TL ve ortalama maliyet de 696,45 TL olarak tespit edilmiştir.

Bayram ve arkadaşları (2017) tarafından yapılan çalışmada iş sağlığı ve güvenliği kanununda belirtilen yükümlülüklerin yerine getirilmesi ile iş kazası oranlarında azalmanın olacağına ve bunun da iş kazasından kaynaklı olarak ortaya çıkacak maliyetlerin azalmasına dair bulgulara ulaşılmıştır [13].

2010-2014 yılları arasında meslek hastalığı nedeniyle Düzce KHBH'ne müracaat eden ayakta tedavi edilen hastaların işyerlerine, SGK'na ve topluma olan maliyetleri Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 13. Meslek hastalığı nedeniyle müracaat eden ve ayakta hastalarda yıllar itibariyle oluşan maliyetler (TL).

Yıllar		M _{işçi}	M _{işveren}	M _{SGK}	TM
2010	Minimum	67,60	101,40	150,80	319,80
	Maksimum	507,00	760,50	848,90	2.116,40
	Ortalama	297,55	446,32	530,63	1274,50
2011	Minimum	27,90	27,90	52,10	107,90
	Maksimum	558,00	877,50	1.432,90	2.868,40
	Ortalama	115,05	169,18	250,64	534,87
2012	Minimum	58,50	58,50	133,40	250,40
	Maksimum	585,00	877,50	1.082,40	2544,9
	Ortalama	197,81	293,06	373,22	864,09
2013	Minimum	32,62	32,62	70,82	136,06
	Maksimum	252,00	378,00	393,50	1.023,50
	Ortalama	129,04	187,44	227,13	543,61

2013 yılı 9. aydan sonra Düzce KHBH'lerine meslek hastalığı başvurusunda bulunan hastaların, meslek hastalıkları hastanelerine yönlendirildiği ve bu nedenle bu yıllara ait verilerin tutulmadığı tespit edilmiştir. 2013 yılı dikkate alındığında meslek hastalığının ortalama maliyetlerinin işçilere 129,04 TL; işverenlere 187,44 TL ve SGK'na da 227,13 TL, toplam maliyet 543,61 TL olduğu belirlenmiştir.

2010-2014 yılları arasında meslek hastalığı nedeniyle Düzce KHBH'ne müracaat eden yatarak tedavi gören hastaların işyerlerine, SGK'na ve topluma olan maliyetleri Tablo 14'de gösterilmiştir.

Tablo 14. Meslek hastalığı nedeniyle müracaat eden ve yatan hastalarda yıllar itibariyle oluşan maliyetler (TL).

Yıllar		M _{işçi}	M _{işveren}	M _{SGK}	TM
2010	Minimum	210,6	315,9	1063,73	1925,63
	Maksimum	574,6	861,9	1651,33	1967,23
	Ortalama	392,6	588,9	1357,53	1946,43
2011	Minimum	2232	334,8	227,82	813,72
	Maksimum	669,6	1004,4	982,65	1777,84
	Ortalama	492,36	738,54	635,99	1514,73

İncelemeler sonucunda Düzce KHBH'lerine 2012 yılında yatan hasta olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca 2013 yılının 9. aydan itibaren de meslek hastalığı tespiti için meslek hastalığı hastanelerine hastaların yönlendirilmesinden dolayı bu yıllara ait veriler kayıtlarda tespit edilememiştir.

Meslek hastalığı nedeniyle ayakta müracaat edenlere ortalama 12 gün rapor düzenlendiği göz önüne alındığında ortalama maliyet işçi için 208,2 TL, işveren için 312,3 TL ve SGK için de 462,200 TL olarak hesaplanmıştır. Meslek hastalığı nedeniyle ayakta tedavi olan ve rapor düzenlenen hastalarda ortalama toplam maliyetleri irdelendiğinde 1048,70 TL olarak belirlenmiştir.

Meslek hastalığı nedeniyle yatış yapılan hastalara ortalama 24 gün rapor düzenlendiği göz önüne alındığında ortalama maliyet işçi için 416,40 TL, işveren için 624,6 TL ve SGK için de 842,14 TL olarak hesaplanmıştır. Meslek hastalığı nedeniyle yatış yapılarak tedavi olan ve rapor düzenlenen hastalarda ortalama toplam maliyetleri irdelendiğinde 1657,59 TL olarak belirlenmiştir.

IV. SONUC

Yapılan bu çalışma ile 2010-2014 yılları arasında Düzce İli KHBH Genel Sekreterliğine bağlı hastanelere iş kazası ve meslek hastalığı nedeniyle müracaat eden hastalar irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ilgili yıllar içerisinde iş kazası nedeniyle %92 oranında erkekler, meslek hastalığında ise %52 oranında kadınlar şikâyetinde bulunmuşlardır. İlgili yıllar içerisinde veriler irdelendiğinde hem acil servise müracaat eden hasta sayısında hem de iş kazası şikâyetiyle müracaat edenlerin sayısında göreceli de olsa bir artış olduğu tespit edilmiştir. Ancak, aynı durum meslek hastalığı için söz konusu değildir. Meslek hastalığında toplam müracaatın %70'i 2011 yılında yapılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda iş kazası nedeniyle müracaat edenlerin ortalama yaşları 28 olarak belirlenirken, en çok müracaatın 21-25 yaş arasındaki çalışanlardan yapıldığı belirlenmiştir. Meslek hastalığı nedeniyle müracaat eden çalışanların ise ortalama yaşları 37 olarak tespit edilirken, şikâyetlerin ağırlıklı olarak 36 ve daha fazla yaşta olan çalışanlardan geldiği belirlenmiştir.

İş kazası nedeniyle hastanelerde acil servise müracaat eden çalışanların %63'ünün 5 dakikadan daha kısa sürede muayenesine başlandığı tespit edilmiştir. İş kazası nedeniyle hastaneye müracaat eden hastaların %57,5'inin hastanede en fazla 10 dakika kaldıkları hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda iş kazası ile müracaat eden hastaların yarısından fazlasının el ya da kol yaralanmalarından kaynaklı şikâyetle geldikleri ve bunu ayak ya da bacak yaralanmalarından kaynaklı şikâyetlerin izlediği belirlenmiştir.

2010-2014 yıllarında iş kazası nedeniyle hastaneye müracaat eden hastaların ortalama poliklinik maliyeti 75,20 TL hesaplanmıştır. İş kazasıyla hastaneye müracaat eden hastalara ortalama 4 gün rapor verilirken, meslek hastalığı nedeniyle müracaat eden hastalara da ortalama 7 gün rapor verildiği belirlenmiştir. İş kazası nedeniyle rapor düzenlenen hastalara ortalama 130,34 TL SGK tarafından geçici iş göremezlik ödeneği ödenmiştir. Meslek hastalığı nedeniyle rapor düzenlenen hastalara ortalama 208,58 TL SGK tarafından geçici iş göremezlik ödeneği ödenmiştir.

2010-2014 yılları arasında iş kazasından kaynaklı olarak hastalara düzenlenen raporlardan dolayı rapor maliyetlerinin işçiye yansımalarının 0-756 TL arasında değiştiği ve ortalama olarak da 100,8 TL olduğu hesaplanmıştır. İş kazalarından dolayı hastaneye müracaat eden çalışanların işverene yansıyan maliyetlerinin 24,30-1.134,00 TL arasında değiştiği ve ortalama olarak da 429,44 TL olduğu belirlenmiştir. Aynı yıllarda iş kazasından kaynaklı olarak SGK'na yansıyan maliyetler incelendiğinde ise 40,30-1.798,50 TL arasında değiştiği ve ortalama olarak da 599,86 TL olduğu hesaplanmıştır. Elde edilen bu verilere göre 2010-2014 yılları arasında iş kazasından kaynaklı olarak toplam maliyetler incelendiğinde ise minimum 80,80 TL, maksimum da 3.098,70 TL, ortalama maliyet 536,21 TL olduğu tespit edilmiştir.

2010-2014 yıllarında yer alan verilere göre düzenlenen ve hesaplanan bu sonuçların özellikle işletmeler açısından dikkatlice irdelenmesi ve buna bağlı olarak da işletmelerinin verimliliklerinde önemli bir etken olan iş kazası ve meslek hastalığına gerekli özeni ve önemi vermesi önerilmektedir. Özellikle işletme yöneticilerinin ve işletme sahiplerinin 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği kanununun gerekliliklerini tam olarak yerine getirmesi gerekmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Güzel ve A. R Okur, *Sosyal Güvenlik Hukuku*, Yenilenmiş 4. baskı. İstanbul, Türkiye: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., 1994.
- [2] A. C. Tuncay, *Sosyal Güvenlik Hukuku Dersleri*, Yenilenmiş 7. baskı, İstanbul, Türkiye: Beta Basım Yayım ve Dağıtım A.Ş., 1996.
- [3] L. Akın, “İş kazasından doğan maddi tazminat,” Doktora tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2000.
- [4] G. B. Yıldız, “İşverenin iş kazasından doğan hukuki sorumluluğu,” *Toprak İşveren Dergisi*, s. 86, 2010.
- [5] M. Koç ve N. Akbıyık, “Türkiye’de iş kazalarının maliyetleri ve çözüm önerileri,” *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 129-175, 2011.
- [6] Uluslararası Çalışma Örgütü. (1952, 28 Haziran). *Sosyal Güvenlik Sözleşmesi* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang-en/index.htm>.
- [7] Sosyal Güvenlik Kurumu. (2020, 1 Ocak). *Sosyal Güvenlik Kurumu Yıllıkları* [Çevrimiçi]. Erişim: http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari.
- [8] N. A. Akçın, ve E. Hamarat, “TTK’da meydana gelen iş kazası ve meslek hastalıklarının hukuki ve mali durumu,” *Türkiye 9. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1994, ss.151-166.
- [9] G. Ofloğlu ve F. Uysal, “İş kazaları ve meslek hastalıklarından kaynaklanan psiko-sosyal sorunların dışsal maliyeti,” *Kamu-İş İş Hukuku ve İktisat Dergisi*, c. 5, s. 4, ss. 1-8, 2000.
- [10] E. Demir, “Metal iş kolunda meydana gelen iş kazaları ve iş kazalarının oluşturduğu kayıpların ekonomik yönden analizi,” Yüksek Lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [11] O. Korkmaz, “İş kazaları ile verimlilik arasındaki ilişki: Türkiye Taşkömürü Kurumu örneği,” *Yaşar Üniversitesi Dergisi*, c. 6, s. 23, ss. 3805-3813, 2011.
- [12] I. Kamardeen, “E-OHS planning system for builders,” *Architectural Science Review*, vol. 54, no. 1, pp. 50-64, 2011.
- [13] M. Bayram, H. İskender ve A. Kökçam, “İmalat firmalarında iş sağlığı ve güvenliği yatırım harcamaları ile kaza oranları ve iş kazası maliyetleri ilişkisi: İşletme bütçesine İSG harcamaları için kaynak tahsis edilmesinin önemi,” *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 3, ss. 71-81, 2017.
- [14] 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu, *T.C. Resmi Gazete*, Sayı: 26200, 16.06.2006.
- [15] İ. O. Bekar ve E. Bekar, “İş kazası ve meslek hastalıklarının maliyeti (2005-2014),” *Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, c. 3, s. 3, ss. 479-489, 2017.
- [16] K. C. Akyüz, İ. Akyüz, T. Tugay ve T. Gedik, “Orman ürünleri sanayi sektöründe iş kazası istatistiklerine genel bir bakış,” *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormanlık Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 66-79, 2016.

- [17] O. Bütüner ve D. Uzun, “İş kazalarının maliyetleri ve hesaplamaları üzerine bir araştırma,” *MYO-ÖS 2010 Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu*, Ekim 2010, ss. 19-20.
- [18] D. Sevim Korkut and T. Gedik, “A research on occupational safety in forest products industry in Turkey,” *African Journal of Business Management*, 2010, vol. 4, no. 7, pp. 1423-1433.
- [19] T. Gedik ve A. İlhan, “Sakarya ili mobilya imalatçılarında iş sağlığı ve iş güvenliği üzerine bir inceleme,” *Türkiye Ormancılık Dergisi*, c. 15, s. 2, ss. 123-129, 2014.
- [20] T. Gedik ve D. Sevim Korkut, “A research on work accidents in forest products industry in Duzce,” *International Journal of the Physical Sciences*, vol. 6, no. 30, pp. 7065–7072, 2011.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Detonation Parameters of the Pentaerythritol Tetranitrate and Some Structures Descriptors in Different Solvents - Computational Study

 Cihat HİLAL ^{a,*},  Müşerref ÖNAL ^b,  Mehmet Erman MERT ^c

^{a,b} Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Ankara University, Ankara, TURKEY

^c Advanced Technology Research and Application Center, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Adana, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: chilal@ankara.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.896332

ABSTRACT

Pentaerythritol tetranitrate (PETN, C₅H₈N₄O₁₂) is a relatively stable explosive nitrate ester molecule. It has been widely used in various military and public industrial productions. In this study, the solubility tendency of PETN in different organic solvents was investigated theoretically. Several physicochemical parameters of PETN such as density, detonation pressure, temperature, rate and products of detonation reaction were investigated using the B3LYP functional and basic set of polarization functions (d, p) containing 6-31G**. The obtained results have been compared with the literature values. Furthermore, the stability and reactivity of PETN in acetone, diethyl ether, ethanol, tetrahydrofuran, toluene and methylene chloride were examined. Results revealed toluene is a good solvent to increase the explosive properties of PETN.

Keywords: Density Functional Theory, Organic Solvents, PETN

Pentaeritritol Tetranitratın Patlama Parametreleri ve Farklı Çözücülerdeki Bazı Yapı Tanımlayıcıları - Hesaplamalı Çalışma

Öz

Pentaeritritol tetranitrat (PETN, C₅H₈N₄O₁₂) nispeten kararlı bir patlayıcı nitrat esteridir. Çeşitli askeri ve kamuya ait endüstriyel üretimlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, PETN'nin farklı organik çözücülerdeki çözünürlük eğilimi teorik olarak araştırılmıştır. PETN'nin yoğunluk, patlama basıncı, sıcaklık, hız ve patlama reaksiyonunun ürünleri gibi çeşitli fizikokimyasal parametreleri, 6-31G** içeren B3LYP fonksiyonel ve temel polarizasyon fonksiyonları seti (d, p) kullanılarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, PETN'nin aseton, dietil eter, etanol, tetrahidrofuran, toluen ve metilen klorit içindeki stabilitesi ve reaktivitesi benzer şekilde incelenmiştir. Sonuçlar PETN'in patlayıcı özelliklerini arttırmak için, toluenin iyi bir çözücü olduğunu ortaya çıkardı.

Anahtar Kelimeler: Yoğunluk Fonksiyonu Teorisi, Organik Çözücüler, PETN

I. INTRODUCTION

The theoretical calculations have been extensively performed instead of the experimental studies. Especially, density functional theory (DFT) has been employed. It re-formulates the Schrödinger equation [1] which is described as a mathematical approximation that makes up the base of quantum mechanical matter definition from the perspective of wave-like properties of particles in a field. Thus it has been possible to clarify probable solutions in terms of chemical reactions [2]. It was established by Hohenberg and Kohn [3] almost sixty years ago. They declared that whole ground state properties can be presented as function of charge density. It must be minimized in energy. Then, Kohn and Sham put forth an alternative solution for available operations by modifying basic equations to collect dense electron relations in an 'exchange-correlation' functional [4]. Theoretical calculations support and/or predict the expensive experimental works. Density Functional Theory (DFT) is a successful tool defining specific features [5-14]. DFT provides many benefits such as time and money, aiming to define or even estimate the properties of molecular and condensed matter systems. Various computer programs have been developed that can be used in the field of molecular modeling (HyperChem, TeraChem, Scigress, Samson, Mopac, Gaussian, Spartan, etc.). Several properties such as structures, energies, chemical effects, state changes, IR-UV-NMR spectra, enzyme-surface interactions of molecules can be obtained quickly and reliably in many areas [5-14]. So, most physical parameters of various molecules can easily be determined in this way. have a great impact in this field because easily every these molecules due to their explosive properties. Since researchers cannot operate experimental procedures on organic explosive molecules easily, they usually employ DFT to characterize these molecules.

It is good start with a brief explanation of what is meant by explosives. Explosive is an energetic material that may explode when interacted with an energy pulsation of any sort. This causes the explosion on its own, not with any aid from external reactants. An explosion causes an immediate release of heat and gas. There are three main characteristics of an explosive that are generally investigated: First of all, it is a detonated chemical material or combination that is energetically unstable. It is inflamed by shock, heat friction and a number of other factors, in addition some of these factors together may also cause an explosion. Secondly, it decomposes immediately in a detonation when it is flamed. Lastly, following detonation, a significant amount of pressurized hot gases are produced, they become larger at size quickly and forcefully enough to withstand restricting effects. Although there are a lot of products that have explosive characteristics, this paper focuses on pentaerythritol tetranitrate (PETN).

PETN is one of the simplest molecules containing both fuel and oxidant of the same molecule, and the chemical structure is presented in Fig. 1. Some properties of the PETN molecule are indicated in Table 1 [15]. It is thermally very stable. It was first synthesized by Tollens and Wiegand at 141°C [16].

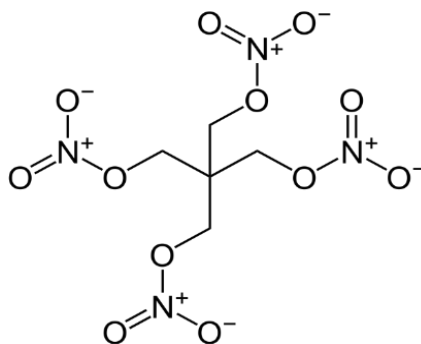


Figure 1. Molecular structure of pentaerythritol tetranitrate (PETN).

Commercially available nanocrystalline PETN is synthesized through the reaction of acetaldehyde and formaldehyde using a sol-gel process. Four equivalent formaldehyde and one equivalent acetaldehyde react in an aqueous solution containing calcium hydroxide or barium hydroxide at 65-70 °C to form PETN. Three molecules of the formaldehyde react with three hydrogens of acetaldehyde, while the

fourth acts as a reducing agent, converting the aldehyde group to alcohol and is oxidized itself to formic acid. Then it is mixed at 70 °C for two hours (the mixture turns a slightly yellow color), sulfuric acid is added to precipitate calcium, finally, it is filtered. Then vacuum evaporation is used for crystallization. Pentaerythritol crystallizes from water in white tetragonal crystals (Figure 2). PETN can also be produced commercially by many patented methods [17-24]. 100 grams of pentaerythritol is added to 400 mL nitric acid by keeping the temperature 25 - 30 °C. It is completed gradually by adding 400 mL of concentrated sulfuric acid while product separation and mixing continues. Crude PETN (85-90 % of theoretically) is filtered directly from the mixture and washed with 50 % sulfuric acid first and then with water [25].

Table 1. Some properties of the PETN molecule [15].

Property	Value	Unit
Color	Colorless crystal solid	
Chemical formula	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₂	
Molecular mass	316.1	(g/mol)
Energy of formation	-1509	(kJ/kg)
Enthalpy of formation	-1683	kJ/kg
Oxygen balance	-10.1 %	
Nitrogen content	17.72 %	
The volume of explosive gases	780	(L/kg)
Specific energy	1205	(kJ/kg)
Crystal density at 20 °C	1.76	(g/cm ³)
Melting temperature	286.3	(°C)
Fusion heat	36.4	(kcal/kg)
Specific combustion temperature	0.26	kcal/kg
Detonation velocity (ρ=1.7 g/cm ³)	8400	(m/s)
Detonation temperature	396	(°F)
Impact sensitivity	3	(Nm)
Friction sensitivity	60	(N)

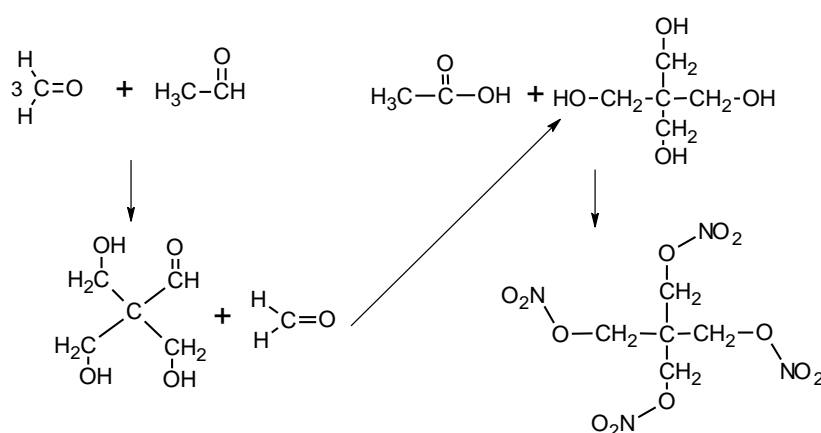


Figure 2. Production mechanism of PETN.

It can be mixed with nitrocellulose or synthetic rubber to be plastic moulded. It can be burnt above 100 °C emitting flaming red smoke and it can be burnt faster above approximately 210 °C [26]. Besides PETN can be added to gelatinous industrial explosives and this mixture can be used for seismic exploration [27].

II. MATERIAL AND METHODS

The initial geometry optimization of PETN structure was obtained with the help of molecular mechanics (MM). The semi-empirical PM3 self-consistent fields molecular orbital (SCF-MO) method [28, 29] at the restricted level [30]. Subsequently, optimization was obtained at Hartree-Fock (HF) level with the usage of several basis sets in a hierarchical manner (STO-3G, 3-21G, 6-31G* and 6-31G**) [31]. Then, geometry optimization was obtained by using the DFT method and 6-31G*,6-31G** basis sets respectively. Because, these basis sets reveal reliable results for determining the ground state and transition state geometries and thermochemistry [9, 10, 32-35]. The molecular geometry was optimized and the structure obtained was given in Figure 3. In DFT calculations, B3LYP comprises hybrid HF and local spin density (LSD) exchange functions with Becke's gradient correlation to LSD exchange [36, 37]. The correlation term of B3LYP comprises Vosko, Wilk, Nusair (VWN3) local correlation functional [38] and Lee, Yang, Parr (LYP) correlation functional [39]. DFT / B3LYP level 6-31G ** base set and Gaussian 03 computer program [40] Monte Carlo method was applied to determine thermodynamic properties and the average molecular volume of PETN molecule optimized in a vacuum. The ballistic characteristics for example, density, detonation velocity (D), detonation pressure (P), reaction temperature, reaction and products of PETN molecule were calculated using the B3LYP functional and basic set of polarization functions (d, p) containing 6-31G** and compared with the literature data (Table 5). Furthermore, we investigate the stability, the reactivity of PETN in different organic solvents (acetone, diethyl ether, ethanol, tetrahydrofuran (THF), toluene and methylene chloride) by using the mentioned functional and basis set. Finally, frontier orbital energy levels, dipole moment, electronegativity and chemical hardness values of PETN molecule were calculated at DFT / B3LYP level 6-31G ** for each organic solvents (Table 6).

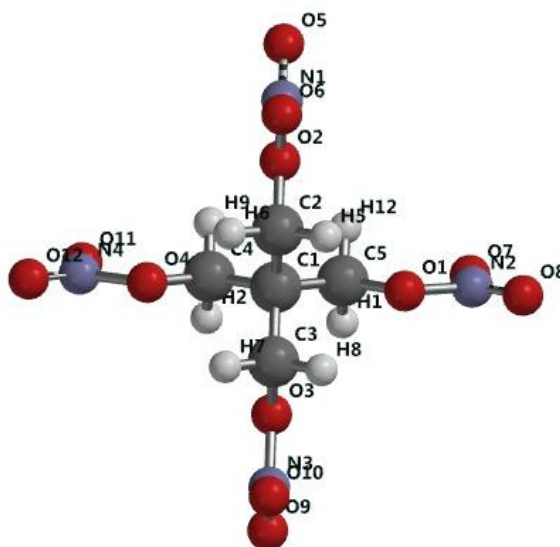


Figure 3. Optimized pentaerythritol tetranitrate molecule (PETN).

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. DENSITY

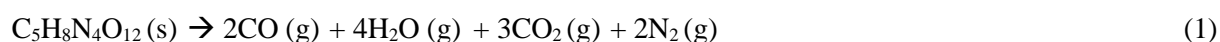
In theoretical studies, Monte Carlo is the most commonly used method for calculating the density, which is one of the properties affecting the explosive properties of energetic compounds [41-44]. First, the possible geometric shape of the explosive molecule is defined and the estimated volume has been calculated 100 times to determine the average volume. In order to calculate the average density, the ratio between molar mass and the average volume was used. In this study, Monte Carlo method in Gaussian 03 computer program was used to calculate the average volume of PETN molecule. Probable gas

products that may occur a consequence of the explosion reaction can be estimated by the help of the Kistiakowsky-Wilson rules shown in Table 2 [15].

Table 2. Kistiakowsky–Wilson Rules [15].

Order	Condition	Reaction
1	Oxygen atoms oxidize ‘H’ atoms to ‘H ₂ O’ molecules	2H + O → H ₂ O (g)
2	Remaining ‘O’ atoms oxidize all ‘C’ atoms to CO molecules	C + O → CO (g)
3	Remaining ‘O’ atoms oxidize all ‘CO’ molecules to ‘CO ₂ ’ molecules	CO + O → CO ₂ (g)
4	Excess of O, H, N atoms are converted to O ₂ , H ₂ and N ₂ Any excess C stays as C (solid)	2H → H ₂ (g)
		2N → N ₂ (g)
		2O → O ₂ (g)

When the PETN molecule is applied to the Kistiakowsky-Wilson Rules, the possible reaction products are estimated below given in equation 1;



As seen in equation 1, carbon atoms are converted to carbon monoxide, if any oxygen remains then hydrogen is than oxidized to water, if any oxygen still remains then carbon monoxide is oxidized to carbon dioxide, all the nitrogen is converted to nitrogen gas [15].

H₂O, CO₂, N₂ molecules are very stable products in explosion reactions. The more gas that is released as a product in explosion reactions, the greater the temperature of the explosion.

When the explosion reaction occurs, the energy released is named the detonation heat. It is equal to internal energy change if it occurs at a constant volume, or the enthalpy change if it occurs at a constant pressure [45]. In the detonation reaction, firstly, the bonds between the atoms constituting the explosive charge break off and a rapid bond formation occur to form new products. The explosion occurs in the form of chain reactions and the enthalpy change during multi-stage chain reactions is equal to the mathematical sum of the enthalpy changes in the steps. This is known as the Hess Law, and the heat of the explosion can be determined using equation 2 below [46-49].

$$\Delta H_d^0 = \Sigma \Delta H_f^0(\text{products}) - \Sigma \Delta H_f^0(\text{energetic material}) \quad (2)$$

Another characteristic that can be calculated theoretically the standard enthalpy of formation (ΔH_f^0). The PM3 quasi-experimental molecular orbital method is used to approximate the standard enthalpy value of formation [50]. The method gives quite satisfactory results in the calculation of standard formation enthalpy [51, 52].

B. THE DETONATION VELOCITY AND THE DETONATION PRESSURE

When assessing the energy efficiency of explosive chemicals, there are two fundamental characteristics to take into consideration. Most significant concepts in this matter are detonation velocity (D) and detonation pressure (P). For the aim of finding out the effectiveness of energetic matters these ballistic parameters (D, P) are used. In an explosion, supersonic waves emerge and heat is released into the environment, which causes a rapid rise in pressure [53]. As a matter of fact, an explosive's detonation is a consequence of a set of complex relations that happen amidst the chemistry and hydrodynamics. Along with the detonation wave, there is an immediate increase in pressure and temperature.

In a matter of microseconds, detonation energy is released as kinetic energy and heat. When an explosive is detonated, a supersonic wave is generated around the initiation point then it is spread throughout the

energetic materials, causing it to decompose exothermically. The detonation energy moves to the atmosphere, pushing an impulsive and extreme pressure similar to that of a powerful mechanical blast. In certain cases, when the explosive is combined with solid materials such as iron balls, nails, rocks etc the efficiency is enhanced with regards to this change. The gaseous materials begin to expand because of the degree to which the medium is hot in terms of temperature and it functions around the enclosing atmosphere once the shock wave has spread away from the explosive. The detonation pressure is formed by the amount of the gas expansion. Theoretically D and P values of an explosive might be determined with the help of Kamlet-Jacobs equations given below; [54-57]

$$D = 1.01 (N M^{1/2} Q^{1/2})^{1/2} (1+1.30 \rho) \quad (3)$$

$$P = 1.558 \rho^2 N M^{1/2} Q^{1/2} \quad (4)$$

where D is detonation velocity (km/s), P is detonation pressure (GPa), ρ is the density of the compound (g/cm^3), N is a mole of gaseous detonation products per gram of explosive (mol/g), M_{ave} is the average molar mass of gas products (g/mol), Q is the chemical energy of detonation (kJ/g).

Calculation methods of N, M and Q parameters are given in Table 3. We know that we face some problems because experimental techniques are inadequate for the calculation of Q and ρ parameters of some molecules. As per the principle of thermodynamic laws, the Q was determined using the deduction of reactant formation energies from product formation energies. The ρ was determined by dividing the molecular mass by the average molecular volume. The volume was described as inside a contour of 0.001 electrons Bohr³ density that was evaluated using a Monte Carlo integration. This approach has been applied to a wide range of CHNO molecules. [41-44, 58-60].

Table 3. Stoichiometric relations for calculation of N, M and Q parameters of $C_aH_bO_cN_d$ type explosives [56].

Stoichiometric relations			
Parameter	$c \geq 2a + b/2$	$2a + b/2 > c \geq b/2$	$b/2 > c$
N	$(b + 2c + 2d)/4M$	$(b + 2c + 2d)/4M$	$(b + d)/2M$
M	$4M/(b + 2c + 2d)$	$(56d+88c-8b)/(b+2c+2d)$	$(2b + 28d + 32c)/(b + d)$
$Q \times 10^{-3}$	$(28.9b+94.05a+0.239\Delta H_f^0)/M$	$[28.9b+94.05(c/2-b/4)+0.239\Delta H_f^0]/M$	$(57.8c+0.239\Delta H_f^0)/M$

ΔH_f^0 is the standard enthalpy of formation of the compound in kJ/mol

C. OXYGEN BALANCE/CONTENT

The mass percentage of the amount of oxygen they have in order to form stable products such as CO, H₂O and N₂ from explosive substances is defined as oxygen balance. In other words, the mass of the oxygen in the explosive is the surface of the explosive. The sensitivity of an energetic materials depends on their oxygen content [15, 46]. Although the calculation formulas of oxygen content are different in some studies [15, 46, 53], the results obtained are not different from each other. The oxygen content calculation formula for the percent area is given in equation 5 and the oxygen contents of some known explosives are given in Table 4.

$$\% \Omega = \frac{\mu_0}{\mu_{\text{exp}}} \left(c - 2a - \frac{b}{2} \right) \times 100 \quad (5)$$

where μ_0 is the molar mass of oxygen, μ_{exp} is the molar mass of explosive, a, b, c, d are the number of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen atoms in the molecule $[C_aH_bO_cN_d]$ respectively.

Table 4. Oxygen values of some explosives [50].

Explosive	Chemical formula	Oxygen balance
Ammonium nitrate	NH ₄ NO ₃	19.90
Nitroglycerine	C ₃ H ₅ N ₃ O ₉	3.50
EGDN	C ₂ H ₄ N ₂ O ₆	0.00
PETN	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₂	-10.13
RDX	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆	-21.60
HMX	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈	-21.62
Nitroguanidine	CH ₄ N ₄ O ₂	-30.70
Picric acid	C ₆ H ₃ N ₃ O ₇	-45.40
Tetryl	C ₇ H ₅ N ₅ O ₈	-47.39
TATB	C ₆ H ₆ N ₆ O ₆	-55.80
HNS	C ₁₄ H ₆ N ₆ O ₁₂	-67.60
TNT	C ₇ H ₅ N ₃ O ₆	-74.00

As can see in Table 5 and Table 6, some detonation parameters of PETN molecule are calculated using the B3LYP functional and basic set of polarization functions (d, p) containing 6-31G** and compared with the literature data.

Table 5. Some theoretical results were obtained for the PETN molecule in the gas phase.

μ_w (g/mol)	ρ (g/cm ³)	N (mol/g)	M (g/mol)	ΔH_f° (kJ/mol)	Q (kJ/g)	D (km/s)	P (GPa)	ΔH_d° (kJ/mol)	Ω (%)
316.14	1.758	0.0316	30.4	-357.15	1651.30	8.830	34.16	-2011.55	-10.13

In Table 5, μ_w is molecular mass, ρ is the density of the compound, N is moles of gaseous detonation products per gram of explosive, M is the average molar mass of gas products, ΔH_f° is standard heat of formation, Q is chemical energy of detonation, D is detonation velocity, P is detonation pressure, ΔH_d° is detonation heat, Ω is oxygen balance (content), respectively. The calculation of ΔH_d° is achieved according to equation 2. In this equation, $\Sigma \Delta H_f^\circ$ (products) is equal to $(4x\Delta H_{H_2O}^\circ + 2x\Delta H_{CO}^\circ + 3x\Delta H_{CO_2}^\circ + 2x\Delta H_{N_2}^\circ = 4x(-241.8 \text{ kJ/mol}) + 3x(-393.5 \text{ kJ/mol}) + 2x(-110.5 \text{ kJ/mol}) + 0 = -2368.7 \text{ kJ/mol}$; $\Sigma \Delta H_f^\circ$ (energetic material) is equal to -357.15 kJ/mol which is calculated according to PM3 quasi-experimental molecular orbital method.

Table 6. Some literature values for the PETN molecule in the gas phase [54, 61-68].

	Ref. [54]	Ref. [61]	Ref. [62]	Ref. [63]	Ref. [64]	Ref. [65]	Ref. [66]	Ref. [67]	Ref. [68]
ρ (g/cm ³)	1.765	1.780	1.770	1.770	1.763	1.845	1.760	1.778	1.760
D (km/s)	8.160	8.260	8.080	8.300	8.274	8.843	8.481	8.564	8.270
P (GPa)	30.41	30.00	28.70	33.50	31.50	33.80	30.44	31.39	33.70

Furthermore, we investigate the stability, the reactivity of PETN in different organic solvents (acetone, diethyl ether, ethanol, tetrahydrofuran (THF), toluene and methylene chloride) by using the mentioned functional and basis set. Therefore, HOMO and LUMO energy levels, dipole moment, electronegativity and chemical hardness values of PETN molecule were calculated at DFT / B3LYP level 6-31G** for each organic solvents.

The highest occupied molecular orbital (HOMO), the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) and the energy difference between them have been used in the understanding of organic reactions and chemical stability [69]. The tendency to donate an electron is reflected by the HOMO, while the tendency to receive an electron is reflected by the LUMO. In addition to HOMO & LUMO, there are some other chemical reactivity descriptors, such as electronegativity (χ) and chemical hardness (η) as defined by Koopman's theorem [3, 36, 70-74]. Electronegativity (χ), which is a measure of the power of an atom or a group of atoms to attract electrons, can be calculated from $\chi = -1/2(E_{\text{HOMO}} + E_{\text{LUMO}})$ [75, 76]. Chemical hardness (η), known as the resistance of an atom to charge transfer, can be calculated as $\eta = -1/2 (E_{\text{HOMO}} - E_{\text{LUMO}})$ [76-78]. HOMO, LUMO, Δ (LUMO–HOMO), dipole moment, electronegativity (χ), chemical hardness (η) and maximum charge transfer parameter [$\Delta N_{\text{max}} = -(E_{\text{HOMO}} + E_{\text{LUMO}})/2(E_{\text{LUMO}} - E_{\text{HOMO}})$] values of PETN molecule in different solvents are given in Table 7.

Table 7. Dipole moment, HOMO, LUMO, Δ (LUMO-HOMO), electronegativity (χ) and chemical hardness (η) values of PETN, calculated at the B3LYP 6-31G** (d,p) theoretical level.

Solvent	Dipole Moment (Debye)	HOMO (eV)	LUMO (eV)	LUMO–HOMO (eV)	χ (eV)	η (eV)	ΔN_{max}
Acetone	4.11	-8.79742	-2.17120	6.62622	5.48431	3.31311	0.82767
Diethyl ether	4.12	-8.78404	-2.15696	6.62708	5.4705	3.31354	0.82548
Ethanol	4.21	-8.87699	-2.22447	6.65252	5.55073	3.32626	0.83438
THF	4.24	-8.82215	-2.21129	6.61086	5.51672	3.30543	0.83449
Toluene	3.76	-8.90862	-2.33856	6.57006	5.63259	3.28503	0.85594
Methylene Chloride	3.92	-8.85411	-2.25783	6.59628	5.55597	3.29814	0.84229

It is easier for high HOMO energy molecules to donate their electrons than low HOMO energy molecules, making them more reactive in oxidation reactions. On the other hand, molecules having low LUMO energy are more convenient to accept electrons than molecules with high LUMO energy [79]. The sensitivity of explosives has a relation with the LUMO–HOMO energy gap. If it has narrowed the gap of the explosive is more sensitive [80-82]. A simple description of the electronegativity is the force of an atom to attract bonding electrons. In the case of 2 atoms that have a covalent bond, the electronegative one will attract strongly the shared electrons. The chemical hardness value of a compound is known to be related to its kinetic stability [83, 84] and it is recognized that the harder compounds have higher kinetic stability [44, 85, 86].

As seen in data from Table 7; electronegativity is aligned from large to small;

PETN in Toluene > PETN in Methylene Chloride > PETN in Ethanol > PETN in THF > PETN in Acetone > PETN in Diethyl ether.

Chemical Hardness (η) is large to small;

PETN in Ethanol > PETN in Diethyl ether > PETN in Acetone > PETN in THF > PETN in Methylene Chloride > PETN in Toluene.

According to the literature [87,88] the more electronegative compound is, the less susceptible it is to oxidation and that the hard molecules have a greater frontier orbital gap (ΔE) than the soft molecules.

As seen in data from Table 7; Stability; (LUMO–HOMO difference) is from large to small;

PETN in ethanol > PETN in Diethyl ether > PETN in Acetone > PETN in THF > PETN in Methylene Chloride > PETN in Toluene.

Polarity: (Dipole moment)

PETN in THF > PETN in ethanol > PETN in Diethyl ether > PETN in Acetone > PETN in Methylene Chloride > PETN in Toluene.

The lowest chemical hardness value ($\cong 3.28$ eV), the highest electronegativity value ($\cong 5.63$ eV) and the lowest LUMO–HOMO value ($\cong 6.57$ eV) for PETN dissolved in toluene were calculated (Table 7 and Figure 4). With these results, we can say that PETN molecule has a more unstable structure than other organic solvents studied in Toluene. So, it can interact with other molecules more easily. PETN in ethanol has a large frontier orbital gap so it has low chemical reactivity and high kinetic stability. Our theoretical results show that the PETN has more stability in ethanol than the other solvents. The ΔE of PETN in toluene narrow and not stable. So, it is more sensitive to explode. The solvents-PETN investigations are also classified according to ΔN_{\max} values, decreasing as PETN in Toluene > PETN in Methylene Chloride > PETN in Ethanol > PETN in THF > PETN in Acetone > PETN in Diethyl ether. These theoretical trends would be in good agreement with the enhanced explosive reactivity of PETN [89-90].

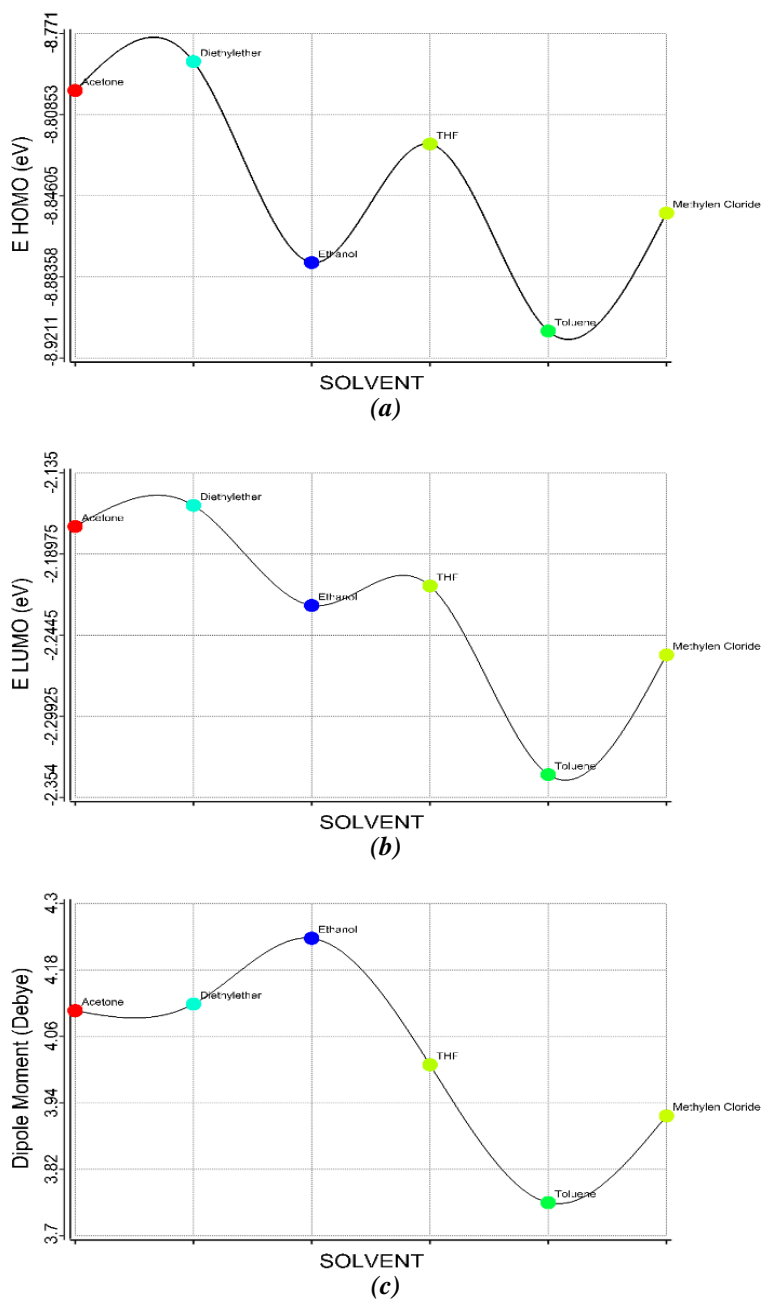


Figure 4. E_{HOMO} (eV) (a), E_{LUMO} (eV) (b) and Dipole moment (c) values of PETN for each solvent.

IV. CONCLUSION

An energetic material in the organic solvent is more prone to detonate than its pure form. The rate and pressure of the detonation can be related to the molecular structure both of the chemicals containing solvent. The interaction between solute and solvent molecules would be minimum in order to experience a detonation having maximum brisance. Toluene without any functional group was found theoretically the most convenient solvent to prepare an unstable explosive mixture PETN solution. Since the theoretically calculated energy gap of PETN in toluene is narrow, it is more sensitive to explode. The detonation rate and pressure can also change depending on the density, the number of gaseous products, the average molar mass of those, oxygen content, and enthalpy change by detonation reaction.

V. REFERENCES

- [1] E. Schrödinger, "An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules," *Physical Review*, vol. 28, no. 6, pp. 1049-1070, 1926.
- [2] D. N. Zwaan, "Nature of production blast malfunctions: a creighton mine case study," M.S. thesis, Department of Civil Engineering, Toronto University, Toronto, Canada, 2014.
- [3] P. Hohenberg, W. Kohn, "Inhomogeneous electron gas," *Physical Review*, vol. 136, no. 3B, pp. B864-B871, 1964.
- [4] W. Kohn, L.J. Sham, "Self-consistent equations including exchange and correlation effects," *Physical Review*, vol. 140, no. 4A, pp. A1133-A1138, 1965.
- [5] K. M. Al-Ahmary, M.M. Habeeb and S.H. Aljahdali, "Synthesis, spectroscopic studies and DFT/TD-DFT/PCM calculations of molecular structure, spectroscopic characterization and NBO of charge transfer complex between 5-amino-1,3-dimethylpyrazole (5-ADMP) with chloranilic acid (CLA) in different solvents," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 277, pp. 453-470, 2019.
- [6] J. K. Cooper, C.D. Grant, and J.Z. Zhang, "Experimental and TD-DFT Study of Optical Absorption of Six Explosive Molecules: RDX, HMX, PETN, TNT, TATP, and HMTD," *J Phys Chem A*, vol. 117, no. 29, pp. 6043-51, 2013.
- [7] P. Machado, et al., "Synthesis, characterization and DFT studies of a new unsymmetrical dinuclear Vanadium(IV) complex with a bipodal N₂O-donor ligand," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1193, no. 1, pp. 110-117, 2019.
- [8] N. Le, I. Schweigert, "Modeling solid–solid phase transitions in PETN using density functional theory," *AIP Conference Proceedings 1979*, vol. 040004, pp. 1-6, 2018.
- [9] L. Türker, "Interaction of TATB with Cu and Cu⁺¹. a DFT study," *Defence Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 27-37, 2019.
- [10] J. W. Yang, et al., "A study of UV–vis spectroscopic and DFT calculation of the UV absorber in different solvent," *Progress in Organic Coatings*, vol. 135, pp. 168-175, 2019.
- [11] M. K. Priya, et al., "Molecular structure, spectroscopic (FT-IR, FT-Raman, ¹³C and ¹H NMR) analysis, HOMO-LUMO energies, mulliken, MEP and thermal properties of new chalcone derivative by DFT calculation," *Materials Today*, vol. 8, pp. 37-46, 2019.
- [12] I. N. Booyesen, et al., "Synthesis, characterization, biological and DFT studies of new 4-substituted phthalonitriles," *Journal of Molecular Structure*, vol. 1191, pp. 244-252, 2019.

- [13] F. Tielens, et al., "Characterization of amorphous silica based catalysts using DFT computational methods," *Catalysis Today*, vol. 354, pp. 3-18, 2019.
- [14] X. Zhao, "A dirac semimetal phase diagram of the binary compound CuI(R-3m)," *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 131, pp. 62-68, 2019.
- [15] J. Akhavan, *The Chemistry of Explosives*, 3rd ed., United Kingdom, USA: RSC Paperback, 1998, pp. 37-38, 73-74.
- [16] B. Tollens, P. Wigand, "Ueber den penta-erythrit, einen aus formaldehyd und acetaldehyd synthetisch hergestellten vierwerthigen alkohol," *Justus Liebigs Annalen der Chemie*, vol. 265, no. 3, pp. 316-340, 1891.
- [17] N. G. Johnson, H. A. Lewis, "Explosive composition," U.S. Patent 2 033 196, Mar. 10, 1936.
- [18] J. A. Wyler, "Nitrated pentaerythritol mother liquor," U.S. Patent 2 152 372, Mar. 28, 1939.
- [19] J. A. Wyler, "Pentaerythritol tetranitrate explosive," U.S. Patent 2 154 552, Apr. 18, 1939.
- [20] W. O. Snelling, "Making granulated explosives," U.S. Patent 2 346 116, Apr. 4, 1944.
- [21] C. O. Davis, W. E. Kirst, "Explosive charge," U.S. Patent 2 371 879, Mar. 20, 1945.
- [22] C. O. Davis, W. E. Kirst, "Metod of preparing cast explosive charges," U.S. Patent 2 384 730, Sept. 11, 1945.
- [23] S. D. Ehrlich, "Pentaerythrol tetranitrate product," U.S Patent 2 597 926, May. 27, 1952.
- [24] R.S. Gow, J.F. Williamson, and A.J. Williamson, "Pentaerythrol tetranitrate," U.S Patent 2 867 647, Jan. 27, 1959.
- [25] H. B. J. Schurink, "Pentaerythritol", *Organic Syntheses Database Online*, 4rd ed., USA: John Wiley & Sons, 1925.
- [26] S. Fordham, *High Explosives and Propellants*, 2rd revised ed., Pergamon Press formerly of nobel's explosive Co. Ltd, 1980, pp. 31-32.
- [27] R. Meyer, J. Köhler, and H. A., *Explosives*, 5rd ed., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, 2002, pp. 134-139, 253-254.
- [28] J. J. P. Stewart, "Optimization of parameters for semiempirical methods II. applications," *Journal of Computational Chemistry*, vol. 10, no. 2, pp. 221-264, 1989.
- [29] J. J. P. Stewart, "Optimization of parameters for semiempirical methods I. method," *Journal of Computational Chemistry*, vol. 10, no. 2, pp. 209-220, 1989.
- [30] A. R. Leach, *Molecular Modelling*, 2rd ed., Essex, UK: Longman, 1997.
- [31] W. Kohn, L.J. Sham, "Quantum density oscillations in an inhomogeneous electron gas," *Physical Review*, vol. 137, no. 6A, pp. A1697-A1705, 1965.
- [32] Spartan, *Molecular Modeling in Physical Chemistry*, Irvine Calif., USA: Wavefunction, 2005, pp. 52-57.

- [33] D. Young, *Computational Chemistry: A Practical Guide for Applying Techniques to Real-world Problems*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2001.
- [34] L. Türker, "Borazine-embedded coronene—a DFT study," *Polycyclic Aromatic Compounds*, vol. 32, no. 1, pp. 61-74, 2012.
- [35] S. Zhu et al., "Molecular design and property prediction of a series of novel cyclotetramethylene tetranitramine derivatives as high energy density compounds," *Structural Chemistry*, vol. 29, no. 5, pp. 1457-1463, 2018.
- [36] R. G. Parr, W. Yang, *Density Functional Theory of Atoms and Molecules*, New York, USA: Oxford University Press, 1989.
- [37] A. D. Becke, "Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior," *Physical Review A*, vol. 38, no. 6, pp. 3098-3100, 1988.
- [38] S. H. Vosko, L. Wilk and M. Nusair, "Accurate spin-dependent electron liquid correlation energies for local spin density calculations: a critical analysis," *Canadian Journal of Physics*, vol. 58, no. 8, pp. 1200-1211, 1980.
- [39] C. Lee, W. Yang and R.G. Parr, "Development of the colle-salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density," *Physical Review B*, vol. 37, no. 2, pp. 785-789, 1988.
- [40] R.C. Gaussian, M. J. Frisch et al., *Gaussian*, Inc., Wallingford CT, 2004.
- [41] J. Yang et al., "A theoretical study on 1,5-diazido-3-nitrazapentane (DANP) and 1,7-diazido-2,4,6-trinitrazaheptane (DATNH): molecular and crystal structures, thermodynamic and detonation properties, and pyrolysis mechanism," *J Mol Model*, vol. 19, no. 12, pp. 5367-76, 2013.
- [42] P. Eaton, R. Gilardi and M.X. Zhang, "Polynitrocubanes: advanced high-density, high-energy materials," *Advanced Materials - Advan Mater*, vol.12, pp. 1143-1148, 2000.
- [43] L. Türker, S. Variş, "Structurally modified RDX - a DFT study," *Defence Technology*, vol. 13, no. 6, pp. 385-391, 2017.
- [44] J. Chen et al., "Combination high energy with stability: polynitrogen explosives N14 and N18," *Communication*, pp. 1-10, 2018.
- [45] M. H. Keshavarz, "Simple procedure for determining heats of detonation," *Thermochimica Acta*, vol. 428, no. 1-2, pp. 95-99, 2005.
- [46] P. W. Cooper, *Explosives Engineering*, Toronto, New York: Wiley-VHC, 1997, pp. 131-132.
- [47] J. K. Labonowski, J. W. Andzelm, *Density Functional Methods in Chemistry*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1991.
- [48] J. M. Seminario, P. Politzer, *Theoretical and Computational Chemistry (Modern Density Functional Theory: A Tool for Chemistry)*, Amsterdam, The Netherlands, 1995, pp. 371-374.
- [49] P. Atkins, J. D. Paula, *Atkin's Physical Chemistry*, 8rd ed., New York: Oxford University Press, 2006, pp. 45, 53-55,
- [50] T. Atalar, "Molecular design of some potential explosives," Ph.D. thesis, Department of Chemistry, METU, Ankara, Turkey, 2009.

- [51] G. Wang et al., "Calculation of detonation velocity, pressure, and electric sensitivity of nitro arenes based on quantum chemistry," *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, vol. 31, no. 5, pp. 361-368, 2006.
- [52] J. Zhang, J. Xiao and H. Xiao, "Theoretical studies on heats of formation for cubyl nitrates using density functional theory B3LYP Method and semiempirical MO methods," *International Journal of Quantum Chemistry - Int J Quantum Chem*, vol. 86, pp. 305-312, 2002.
- [53] S. Varış, "Molecular modelling of some explosives and propellants," Ph.D. thesis, Department of Chemistry, METU, Ankara, Turkey, 2013.
- [54] M. J. Kamlet and S. J. Jacobs, "Chemistry of detonations. I. A simple method for calculating detonation properties of C H N O explosives," *J. Chem. Phys.*, pp. 48, 1968.
- [55] M. J. Kamlet and J. M. Short, "The chemistry of detonations. VI. a "rule for gamma" as a criterion for choice among conflicting detonation pressure measurements," *Combustion and Flame*, vol. 38, pp. 221-230, 1980.
- [56] L. Qiu et al., "Theoretical studies on the structures, thermodynamic properties, detonation properties, and pyrolysis mechanisms of spiro nitramines," *J. Phys. Chem. A*, vol. 110, pp. 3797-3807, 2006.
- [57] K. Jeong, "New theoretically predicted RDX and β -HMX-based high-energy-density molecules," *International Journal of Quantum Chemistry*, vol. 118, no. 6, 2018.
- [58] Y. Zhou, X. Long and Y. Shu, "Theoretical studies on the heats of formation, densities, and detonation properties of substituted s-tetrazine compounds," *J Mol Model*, vol. 16, no. 5, pp. 1021-1027, 2010.
- [59] H. Lin et al., "Theoretical design and screening potential high energy density materials: combination of 1,2,4-oxadiazole and 1,3,4-oxadiazole Rings," *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, vol. 55, no. 5, pp. 547-554, 2019.
- [60] Y. Li, B. Li and L. Xie, "Design and properties prediction of modified CL-20 energetic derivatives," *Journal of the Chinese Chemical Society*, 2019.
- [61] L. L. Altgilbers et al., *Explosive Pulsed Power*, London: Imperial College Press, 2011.
- [62] F. H. Ree, "A statistical mechanical theory of chemically reacting multiphase mixtures: application to the detonation properties of PETN," *J. Chem. Phys.*, vol. 81, no. 3, pp. 1251-1263, 1984.
- [63] P. Politzer, P. Lane and J.S. Murray, "Computational characterization of a potential energetic compound: 1,3,5,7-Tetranitro-2,4,6,8-Tetraazacubane," *Central European Journal of Energetic Materials*, vol. 8, no. 1, pp. 39-52, 2011.
- [64] C. M. Tarver, R.D. Breithaupt and J.W. Kury, "Detonation waves in pentaerythritol tetranitrate," *Journal of Applied Physics*, vol. 81, no. 11, pp. 7193 -7202, 1997.
- [65] K. Stark et al., "Crystal structure, sensitiveness and theoretical explosive performance of xylitol pentanitrate (XPN)," *Propellants Explosives Pyrotechnics*, vol. 44, pp. 541-549, 2019.
- [66] J. C. Oxley et al., "Characterization and analysis of tetranitrate esters," *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, vol. 37, no. 1, pp. 24-39, 2012.

- [67] Y. H. Joo and J.M. Shreeve, "Polynitramino compounds outperform PETN," *Chem Commun (Camb)*, vol. 46, no. 1, pp. 142-4, 2010.
- [68] M. L. Hobbs and M. R. Baer, "Calibrating the BKW-EOS with a large product species data base and measured C-J properties," *Tenth Symposium (International) on Detonation*, pp. 409-418, 1993.
- [69] S. Gunasekaran et al., "Experimental and theoretical investigations of spectroscopic properties of N-acetyl-5-Methoxytryptamine," *Canadian Journal of Analytical Sciences and Spectroscopy*, vol. 53, pp. 149-162, 2008.
- [70] C.J. Cramer, *Essentials of Computational Chemistry: Theories and Models*, 2nd ed., Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd, 2004, pp. 149,194-195.
- [71] F. A. Cotton and G. Wilkinson, *Advanced Inorganic Chemistry*, 3rd ed., New York: InterScience Publisher, 1972.
- [72] P. O. Löwdin, "Density functional theory: a source of chemical concepts and a cost-effective methodology for their calculation," in *Advances in Quantum Chemistry*, Academic Press, 1998, pp. 303-328.
- [73] R.G. Pearson, "Hard and soft acids and bases," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 85, pp. 3533-3539, 1963.
- [74] R.G. Parr and R.G. Pearson, "Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 105, pp. 7512-7516, 1983.
- [75] R.G. Pearson, "Absolute electronegativity and absolute hardness of lewis acids and bases," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 107, pp. 6801-6806, 1985.
- [76] M. Godarzi et al., "Effect of B₁₂N₁₂ junction on the energetic and chemical features of PATO: a density functional theory investigation," *Int. J. Nano Dimens.*, vol. 10, no. 1, pp. 62-68, 2019.
- [77] R.G. Parr and W. Yang, "Density functional approach to the frontier-electron theory of chemical reactivity," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 106, pp. 4049-4050, 1984.
- [78] L. Türker and S. Varış, "Prediction of explosive performance properties of z-DBBD and its isomers by quantum chemical computations," *Journal of Energetic Materials*, vol. 31, no. 3, pp. 203-216, 2013.
- [79] L. Türker, C. Bayar, "A DFT study on estrone - TNT interaction," *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*, vol. 639, no. 10, pp. 1871-1875, 2013.
- [80] L. Türker, "Interaction of TNT and aluminum - A DFT treatment," *Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie*, vol. 641, no. 2, pp. 408-413, 2015.
- [81] A. Smirnov et al., "Basic characteristics for estimation polynitrogen compounds efficiency," *Central European Journal of Energetic Materials*, vol. 8, no. 4, pp. 233-247, 2011.
- [82] L. Türker, "A DFT study on TNGU isomers and aluminized cis -TNGU composites," *Defence Technology*, vol. 14, no. 2, pp. 109-118, 2017.
- [83] J. I. Aihara et al., "Further test of the isolated pentagon rule: thermodynamic and kinetic stabilities of c84 fullerene isomers," *Journal of Computational Chemistry*, vol. 17, no. 12, pp. 1387-1394, 1996.



- [84] Y. H. Azeez, S. Hekim and S. Akpınar, "The theoretical investigation of the HOMO, LUMO energies and chemical reactivity of C₉H₁₂ and C₇F₃NH₅Cl molecules," *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials*, vol. 2, no. 1, pp. 29-31, 2019.
- [85] D. E. Manolopoulos, J. C. May and S. E. Down, "Theoretical studies of the fullerenes: C₃₄ to C₇₀," *Chemical Physics Letters*, vol. 181, no. 2, pp. 105-111, 1991.
- [86] D. Zhai et al., "Molecular design and properties of bridged energetic pyridines derivatives," *RSC Advances*, vol. 9, no. 65, pp. 37747-37758, 2019.
- [87] N. Jadhao, A. Naik, "Effect of electronegativity on structural, spectrophotometric and thermochemical properties of fluorine and chlorine substituted isoxazoles by DFT method," *Cogent Chemistry*, 2017.
- [88] L. Xiao et al., "Preparation and characteristics of a novel PETN/TKX-50 co-Crystal by a solvent/non-solvent method," *RSC Advances*, vol. 9, no. 16, pp. 9204-9210, 2019.
- [89] I. Bouabdallah et al., "Hartree–Fock and density functional theory studies on tautomerism of 5,50-diisopropyl-3,30-bipyrazole in gas phase and solution", *Chemical Physics Letters*, vol. 588, pp. 208-214, 2013.
- [90] Z. Demircioğlu, C. C. Ersanlı, "(±)-(1SR,8RS,10RS)-9,9,10-tribromtrisiklo[6.2.1.02,7] undeka-2,4,6-trien molekülünün hesaplamalı kimya yöntemiyle lokal ve global kimyasal aktivite ve DNA bazları ile yük transferinin tayini", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, c. 14, ss. 165-178, 2019.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yürünebilirliğin Nitel ve Nicel Veriler Üzerinden Ölçülmesi; Düzce Örneği

 Zeynep MIHÇI^{a,*},  Ayşegül TANRIVERDİ KAYA^b

^a Mimarlık Bölümü, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

^b Mimarlık Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: zeynep75911@duzce.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.844165

ÖZ

Yürümek bireylerin günlük hayatlarında sıklıkla yaptıkları kolay ve kullanışlı bir ulaşım çeşididir. Aynı zamanda sağlıklı bir aktivite olan yürüme, bireyler arasındaki etkileşimi arttırmakla kalmayıp, kent kullanıcılarının ekonomik olarak kalkınmasını, sosyalleşmesini sağlarken, kent ile kentli arasında bağ oluşmasına da yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla yürünebilirlik mekânda yaşam kalitesi ve yaşanabilirlik ile bağdaştırılan fiziki bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Yürünebilirlik kavramı, fiziki mekânlarda ölçülebilir bir kavramdır. Toplumsal mekânı yürünebilirlik açısından değerlendirmek için niteliksel ve niceliksel olmak üzere kentsel tasarım ölçütleri bulunmaktadır. Bu araştırma yürünebilirlik olgusunu nitel ve nicel veriler üzerinden ölçmeyi hedeflemektedir. Düzce ili Spor Sokak ve Gaziantep Caddesi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada nitel verileri elde etmek ve mekânsal algının ölçülmesi için anket yöntemi, nicel verileri elde etmek için ise, kaynak tarama, gözlem, fotoğraflama, GIS gibi yöntemler kullanılmıştır. Ankette katılımcıların sosyo-demografik yapı analizi yapıldıktan sonra mekâna yönelik algılarını ölçmek adına canlılık, çeşitlilik, kimlik, anlaşılabilirlik, güvenlik, konfor ve bağlantılılık ile ilgili sorular sorulmuştur. Mekansal analizler için ArcGIS (10.7) programı kullanılmıştır. Toplanan veriler sokak ölçeğinde yürünebilirlik ile ilişkilendirilmiştir. Kentsel mekân olan sokakların her yaş, cinsiyet ve sosyo-kültürel gruptan insanlara hitap edecek şekilde tasarlanmasının yürünebilirliği artıran önemli bir etmen olduğu, çeşitlilik ve ulaşılabilir olma özellikleri ile de desteklenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Tasarım kararları alınmadan önce bu gibi sosyal analizlerin yapılmasının önemli olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın bölgede yapılması planlanan kentsel tasarım projelerine bir altlık olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Algı, Mekansal algı, Nitel veriler, Nicel veriler, Yürünebilirlik*

Measuring Walkability by Qualitative and Quantitative Data; Düzce Case

ABSTRACT

Walking is an easy and convenient form of transportation that individuals often do in their daily lives. At the same time, walking is a healthy activity, that does not only increase the interaction between individuals but also helps urban users to develop and socialize economically and to create a connection between the urban realm. The concept of walkability is a measurable concept in physical spaces and can be evaluated by urban design criteria which are both qualitative and quantitative, to measure social space in terms of walkability. The perceptibility of the urban space is an important phenomenon that establishes the communication between the citizen and the city gives clues about the architectural space and enables the use of these experiences when designing new spaces. While perception is the experience created by the stimuli coming from the environment and received directly, perceptibility is the effect of the properties of the surrounding objects and various stimuli on the perception. This

research aims to measure the walkability phenomenon over qualitative and quantitative data. Düzce province Spor Sokak and Gaziantep Street were selected as the study area. In the study, the survey method was used to obtain qualitative data, and methods such as literature research, observation, photographing, and GIS were used to obtain quantitative data. ArcGIS (10.7) software was used for spatial analysis. In the survey, after analyzing the socio-demographic structure of the participants, questions were asked about vitality, diversity, identity, intelligibility, security, and comfort in order to measure their perception of the place. It has been concluded that the design of urban streets to appeal for people of all ages, genders and socio-cultural groups is an important factor that increases walkability and should be supported with diversity and accessibility features. It seems important to conduct such social analysis before making design decisions. It is thought that this study can be a basis for the urban design projects planned to be made in the region.

Keywords: Perception Spatial perception, Qualitative data, Quantitative data, Walkability

I. GİRİŞ

Yürüme eylemi insanların yüzyıllardan beri süregelen alışkanlıklarından biridir. Kimi zaman bir yerden bir yere ulaşma amacı taşıyan kimi zaman ise insanların topluluklara katılarak kendi kimliğini ortaya koymasına yardımcı olan bir aktivitedir. Bu aktivite ile insanlar çevrelerini algılamaya başlayarak geçip gittiği veya bulunduğu mekanları anlamaya böylece bu mekanları yaşamaya başlar. İnsan sağlığı bakımından da yürümenin önemi oldukça büyüktür. Sağlık sorunları (obezite, kalp ve akciğer rahatsızlıkları vb.) artmaya başlayan toplumlarda yürümenin ve yürünebilirliğin kullanımının azaldığı görülmektedir.

Kentsel tasarımın en önemli bileşenlerinden olan yaya hareketleri, sosyal etkileşim ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan mekânsal ve ekonomik canlılığı artırması sebebi ile de günümüzde tasarımcı ve kent planlamacılarının odak noktası haline gelmiştir [1]. Bununla birlikte çok sayıda yayanın kullanacağı mekanlar yeni yatırımcıları bu cazip mekanlara yönlendirmektedir. Bu sayede bu alanlarda iş ve istihdam olanaklarının artması ile mekanların cazibesinin artmasını sağlamaktadır. Yürünebilir çevrelerin tasarımı çok farklı unsurun bir arada uyum içerisinde bulunmasını gerektirmektedir. Bu çevrelerin tasarımı günümüzde kent tasarımcıları ve ulaşım planlamacılarının etkisi altındadır. Kent tasarımcıları durumu daha küçük ölçekten ve detayları ile değerlendirirken ulaşım planlamacılar daha büyük ölçekten genel hatları ile ele almaktadır.

Yürünebilirliğin ölçülebilir bir kavram olması mekânların kapasitelerinin bazı niteliksel ve niceliksel veriler yardımıyla incelenebilir olması ile ilgilidir. Yürüme ve yürünebilirlik olgusunu inceleyen bu çalışmanın amacı; elde edilen nitel ve nicel veriler ile çalışma alanı olarak seçilen sokak ve caddelerin yürünebilirliğinin ölçülmesidir. Çalışma, mekânsal uyarım sonucu ortaya çıkan, niceliksel olarak ölçülemeyen algısal yargıların; mekanların fiziksel bileşenlerinin niteliksel olarak ölçülmesi sonucunda aralarındaki ilişkinin somut verilerle açıklanması bakımında önemlidir.

II. KAVRAMSAL ALTYAPI

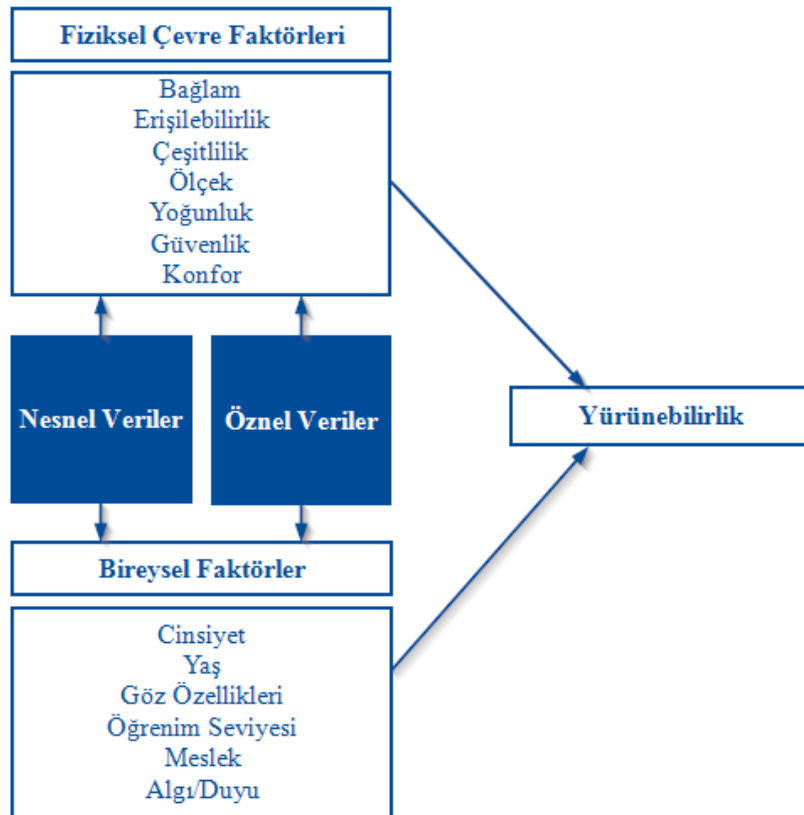
A. YÜRÜNEBİLİRLİK VE TASARIM ÖLÇÜTLERİ

Yürünebilirlik; bir yerden bir yere ulaşmayı sağlayan hareket eylemini tanımlayan bir kavramdır. Yürüme eyleminin en basit ve masrafsız olan halidir [2]. Fiziksel çevre-insan arasındaki ilişkinin kurulmasının ise, en elverişli biçimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Hutabarat (2009) [3]'da her yaş grubundan insanın temel fiziksel aktivitesi olan yürüme eylemini; basit ve ekonomik bir ulaşım biçimi olarak tanımlamıştır. Yürüme sadece bir ulaşım şekli değil aynı zamanda kentsel tasarımı belirleyen unsurların (sokak dokusu, kaldırım genişliği/niteliği, yolun durumu, yapılı çevre vb.) sayesinde kamusal yaşama dahil olabilme ve sosyalleşmenin aracıdır [4]. Greenberg (2005) [5], yürüme eyleminin kendisinin bir amaç olduğunu belirtmektedir. Southworth (2005) [6] ve Yazıcıoğlu Halu (2010) [7], yürünebilirliği “yayaları yürümeye cesaretlendiren bir yapılı çevrenin ötesinde, konforu ve güvenliği

sağlayan, makul zaman ve mesafede farklı güzergahlarda çeşitli insanlarla iletişime imkan veren ve sokak örüntüsünde gezinirken görsel çekicilik sunan mekan” olarak tanımlamaktadır. Kısaca yürünebilirlik, fiziksel çevre ve bireysel faktörlerin etkisi altında özne-nesne etkileşiminde gerçekleşen bir olgu olarak tanımlanabilir [8], [9].

Bradshaw (1993) [10]’e göre yürünebilirliği etkileyen dört temel etken vardır. Bunlar; konfor koşulları, kullanımlar, doğal çevre ve yerel kültürdür. Litman (2003) [2]’e göre ise yürünebilirliğin temelinde yürüyüş olanakları ve güvenliğinin olması, konfor ve rahat yürüme, yürüme koşullarının kalitesi yatmaktadır. Yürünebilirliği belirsiz olarak gören Krambeck (2006) [4] ise, ölçümünün tartışmalar ve uyumsuzluklara sebep olabileceğini savunmaktadır.

Yürünebilirliğin ölçülmesi onu etkileyen faktörlerin bilinmesi ile daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilir (Şekil 1). Literatürde yürünebilirliği etkileyen faktörler birçok kez tartışılmıştır. Bu tartışmalarda; mekan algısı ve bireysel tepkiler daha çok öne çıkmıştır [11], [12]. İşlevlerin/kullanımların çeşitliliği, bağlantılar, konfor ve güvenlik fiziksel çevre faktörleri içerisinde yer almaktadır [9]. (Ewing vd. (2006) [11]’ya göre mekanın algısal niteliği ile ilişkilendirilen kavramlar; okunabilirlik ve zihinde canlandırma, kapalılık, insan ölçeği, saydamlık ve karmaşıklık. Kültür ve fiziksel algısal karakteristik yürüme eylemini en çok etkileyen unsurlardır. Çünkü bu iki faktör en genel tanımda diğer faktörleri içermektedir. Jacobs, (2011) [13], sokak kullanımını ölçek, yoğunluk, mekan kalitesi, erişilebilirlik ve güvenlik kavramları ile ilişkilendirmiştir. Kriken ve diğ. (2010) [14], sürdürülebilirlik, erişilebilirlik, çeşitlilik, açık mekan, uyumluluk, adapte olabilmek, teşvik, yoğunluk ve kimlik kavramlarını planlama kriteri olarak belirlemişlerdir. Saelens ve diğ. (2003) [15]’ne göre yürünebilirlik; yoğunluk, çeşitlilik, erişilebilirlik, bağlantılılık, yürümek ve bisiklet kullanmak için yolların varlığı, estetik, trafik ve suç oranı gibi faktörlere bağlıdır. Bu yaklaşımlardan yola çıkarak bu çalışma için yürünebilirliği önemli ölçüde etkileyen fiziksel çevre kriterinden bağlam, erişilebilirlik, çeşitlilik, ölçek, yoğunluk, güvenlik ve konfor kavramları seçilmiştir.



Şekil 1. Yürünebilirlik [8].

A. 1. Bağlam

Bağlam, yapı alanı topografyası ile koşulları bakımından öne çıkarken; doğal, yapay ve fiziksel şartlar ile oluşan sosyal, kültürel, ekonomik ve tarihi çevre olarak da tanımlanabilir [16], [17]. Kimi araştırmacılara göre ise bağlam çevreye ait fiziksel koşullar ve verilerden oluşmaktadır.

Yürünebilirlik kapsamında bağlam çoğunlukla yapılı çevrenin karakteriyle alakalıdır. Yürünebilir yapılı çevrenin bağlamı mekanın karakteri ile doğrudan ilişkilidir. Yürünebilirlik kapsamında sokağın ve kentsel bölgenin veya kentin kendisi bağlamı oluşturmaktadır. Bu durum ölçeğin değişimine göre farklılık göstermektedir. Küçük yerleşimlerde sokağın ve yerleşimin karakteri bağlamı etkilerken, büyük ölçekli metropollerde sadece sokağın kendisi veya kentsel bölgenin kendisi bağlamı etkilemektedir [18].

A. 2. Erişilebilirlik

Erişilebilirlik, kavramsal olarak kullanıldığı yere göre farklı şekillerde ele alınmış ve tanımlanmıştır. Literatürde en yaygın olarak; “etkileşimi arttıracak olanakların potansiyeli” (Hansen, 1959) [19], “bireylerin özgürce farklı aktivitelere katılabilmesi” Burns, (1979) [20], “insanların ve ticari öğelerin kolay bir şekilde istediği tesis, ürün ve aktivitelere ulaşabilmesi” Bhat ve diğ., (2001) [21] şeklinde tanımlanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında yolcuların istasyon vb. ulaşım tesislerine kolay ulaşması bölgenin erişilebilirlik düzeyini belirlediği görülmektedir [22].

Yayanın kentin sokaklarında ve caddelerinde ne kadar hareket edebildiğini gösteren erişilebilirlik yol şemasının biçimlenişine ve yapı adalarının büyüklüğüyle yakından ilişkilidir [6], [14]. Otomobil odaklı geniş caddeler ve geniş yapı adaları yürünebilir veya yaya dostu değildir. Bunun yerine dar caddelerin ve küçük yapı adalarının bulunduğu örüntüler daha geçirgen ve erişilebilirdir [14]. Yaya erişilebilirliği kentsel mekanın nasıl biçimlendiğiyle alakalıdır. Yeterli ve güvenli yaya yollarının kaldırılmalarının olması ve kesintiye uğramaması önemlidir. Yayalar her zaman eğimli yola oranla düz yolu tercih ederler. Yolun eğiminin artması, yolun yürünebilirliğini olumsuz etkiler [23]. Kaldırım taşının yapısı da bazı kullanıcılar için her zaman uygun olmayabilir. Yüzeyi engebeli girintili çıkıntılardan oluşan kaldırım taşları tekerlekli yayalar veya topuklu ayakkabı giyen kadınlar için erişilebilir olmadığından kullanımı da tercih edilmez. Yeterli ve kesintisiz kaldırımın olması kentsel mekanda erişilebilirliği artırırken kentlerin daha erişilebilir olması yol çizelgesinin sürekli ve bağlantılı olması ile sağlanabilir. Süreklilik, yolların ne kadar devamlı olduğuyla ilgilidir. Yolun bağlantılılığı ise bir yolun diğer yollarla ne sıklıkla ve doğrulukta kesiştiğiyle ilgilidir. Süreklilik ve bağlantılılığın belli bir hiyerarşisi bulunmaktadır. Bu hiyerarşi ölçüsünde optimum seviyelerde kurulan yol şeması yayalar için daha erişilebilir bir kent oluşturur.

A. 3. Çeşitlilik

Çeşitlilik genel anlamda bakıldığında pek çok sosyal ve ekonomik faydaları olan bir kavramdır. Kamusal aktivitelerin çeşitlendirilmesi ile mekanların çekiciliği artar bu sayede ekonomi canlanır. Farklı aktivite merkezlerinin oluşmasına katkı sağlamış olur. Kamusal alanlarda zaman ve mekanlarını paylaşan insanlar arasında sosyal yakınlaşma ve topluluk duygusu oluşmaya başlar. İnceoğlu (2007) [24]'nin tanımına göre ise çeşitlilik; sosyalleşebilme, her yaştan insanın bir arada var olabilmesi, çeşitli aktivitelerin ve alışveriş imkanlarının sunulmasıdır. Ewing ve diğ., (2011) [25], [1] çeşitliliği “Belli bir alanda farklı kullanım(fonksiyon) çeşitlerini barındırarak, kısa mesafelerde birçok yeri erişilebilir kılan yerin karma kullanımı” anlamında kullanmaktadır. Karma kullanım; farklı fonksiyonların (konaklama, iş, konut, eğlence ve ticaret vb.) bir araya getirilmesidir. Böylece günün 24 saati işleyen mekanların oluşması ve etkin kullanılması sağlanmış olur [14].

Kentsel çeşitlilik ise canlı sokak yaşantısının en önemli etkenlerinden birisidir. Mekan kullanımı ve kullanıcı arasındaki ilişkiyi etkileyen yapılı çevre düzenlemeleri farklı fonksiyonları bir arada

bulundurduğu takdirde kentsel çeşitliliği artırır [26], [1]. Çeşitliliğin çok olduğu canlı kentler birbirine geçmiş, net bir ayırım yapılamayan, bütün mekanlarının iç içe olduğu kentlerdir.

A. 4. Ölçek

Ölçek kavramı ile ilgili literatürde pek çok tanımlama bulunmaktadır. Günümüzde yapılan araştırmalarda kavram daha çok niceliksel yönleri karşımıza çıkmaktadır. Ölçek, herhangi bir şeyin boyutunun referans alınan standartla kıyaslanması ile bulunabilir [27]; görece hangi oranda küçük veya hangi oranda büyük olduğunu anlamaya yardımcı olur. Kıyaslama yapılırken yoğunlukla insan imgesi kullanılmaktadır [28]. Ching'e göre bir şeyin verdiği büyüklük hissi insan ölçeğine karşılık gelmektedir [29]. Kentsel mekandaki insan ölçeğini ise kent mobilyası, cadde genişlikleri ve hizmetler ile ihtiyaçlara yürüyerek ulaşabilme yansıtmaktadır [30].

Yapılı çevrede ölçeği kıyaslayabileceğimiz en önemli unsurlar; bina yükseklikleri ve büyüklükleri, yapı adası büyüklükleri ve sokak genişlikleridir. Yürünebilirlikle ilişkisini incelemek için ise genellikle kentsel mekandaki sokak ve kaldırımların genişlikleri, yapıların yükseklikleri, yapı adalarının büyüklüğü, sokak donatılarının büyüklüğü, yolun genişliği vb. etkenlere bakılmaktadır. Yürünebilir çevre kentsel mekanın bu niteliklerinin insan ölçeğinde olduğunda sağlanmaktadır.

A. 5. Yoğunluk

Yoğunluk genel anlamda birim alandaki insan, iş ya da konutun ölçülmesiyle tanımlanmaktadır. [25]. Tasarımın yoğun ve kompakt olması daha çok ve daha kullanışlı kentsel alanların olması ile ilgilidir. Mekan kullanımının yoğunluğu ne kadar fazla ise insan yoğunluğu da o mekanlarda aynı oranda fazla olacaktır [31], [1]. Yaşayan kentlerin oluşabilmesi için kentlerin belli bir yoğunluğa erişmiş olması gerekir [13]. Yoğunluk tasarlanırken bazı tasarım kriterlerine dikkat edilmelidir. Mesela insanlar yürüme mesafesinde tüm ihtiyaçlarına ulaşabilmelidir. Ayrıca bu bölgelerin tasarımında sokaklar güneş ışığından faydalanabilecek ölçüde geniş olmalıdır ki bu da insanların güneş ışığından faydalanabilmesi açısından önemlidir [14]. Yapıların yüksekliği arttıkça kullanıcı sayısı da artacağından sokaklardaki yaya yoğunluğu artacaktır [32], [1]. Bu yoğunluğu karşılayabilecek kapasitede sokak ve ihtiyaçların karşılanması oradaki yürünebilirlik açısından önemlidir. Yoğunluğun arttığı oranda yaya çevrelerinin de geliştirilmesi gerekmektedir. Tek başına yoğunluk canlılık anlamına gelmez [23]. Yoğunluğun başarılı olabilmesi optimum seviyede tutulmasında gizlidir.

A. 6. Güvenlik

Yürünebilir sokakların oluşmasında en çok etkisi olan etmenlerden biri de güvenlik unsurudur. İnsanlar kendilerini güvende hissettikleri alanlarda yürümeyi tercih ederler. Literatür taramasında suç oranlarındaki temel etmenin yapıları çevrenin fiziksel özellikleri olduğu görülmektedir. Alfonzo (2005) [33]'e göre güvenliğin sağlanması kentsel tasarım, arazi kullanımındaki çeşitlilik ve insan yoğunluğu ile sağlanabilir. Yayaların kendilerini güvende hissetmeme sebepleri sokakların yeterince aydınlatılmaması, kör cepheler, hızlı ve yoğun trafik ile suç oranlarının çok olması olabilir. Sokaklara açılan kapı, pencere ve balkonların olduğu sokaklar insanları daha çok güvende hissettirir [34], [1]. Bunun sebebi ise doğal gözetimin varlığıdır. Bunun yanında çıkmaz ve dar sokaklar da insan algısında suç işlemeye daha elverişli mekanlar olarak yer edindiğinden güvensizlik hissi yaratabilir. Kesintiye uğramayan, süreklilik gösteren sokak ve caddeler, kullanıcılar tarafından daha güvenli olarak algılanmaktadır ve yürümek için daha çok tercih edilmektedir [35].

A. 7. Konfor

Birey yürürken kendini rahat hissedeceği mekanlarda bulunmak ister. Bunun için de mekânın belirli fiziksel özelliklerinin olması gerekmektedir. Konfor düzeyini etkileyen başlıca fiziksel unsurlar; kaldırım genişliği, sokaklarda kullanılan döşeme malzemesinin kalitesi, iklim koşullarının olumsuz etkilerinden koruyan yardımcı elemanların varlığı, trafik düzenleme elemanlarının varlığı, sokak peyzaj

öğeleri vb.dir. Yayılar yürüyemedikleri ya da yürümekte zorlandıkları rotaları tercih etmezler. Yolun tercih edilmesini ise coğrafyaya, kültüre ve yaşayış biçimine göre değişen konfor koşulları belirlemektedir.

Konforlu kentsel bir mekan; belirli unsurlarla sınırlandırılarak biçimlenmiş mekandır [34]. Bu sınırlar sokağın kenarındaki ağaçlar da olabilir yapıların cepheleri de olabilir. Oluşan bu biçimin konforu sağlayabilmesi için sokağın genişliği ile yapıların uzunluğu arasında uygun bir oran olması gerekmektedir. Oranın sağlandığı sokaklarda yürüyen kişi kenti oluşturan parçaları, binaları ya da yapıların cephelerini rahatlıkla kavrayabilir, açıklığın sağladığı geniş bakış açısıyla simgesel yapıları görerek sokak ağı üzerinde rotasını belirleyebilir [36].

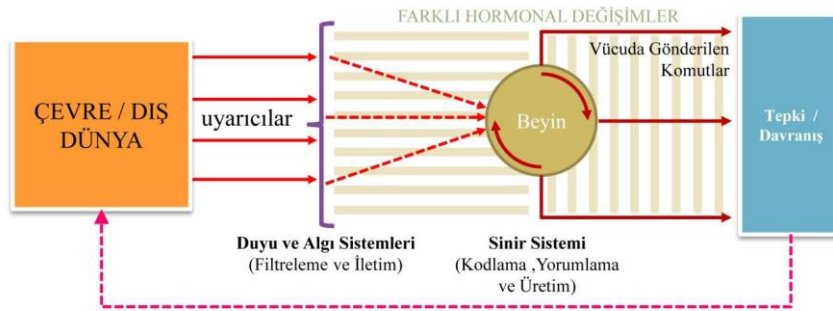
Yapılar arasındaki kentsel boşlukların bölgenin iklimine göre tasarlanması yayaları yürümeye ve bisiklet kullanmaya teşvik etmektedir. Hava sıcaklığı, nem, rüzgar serinliği ve güneş ısısı gibi faktörlere bağlı olan konfor çeşididir [23].

Peyzaj öğelerinin sokaklarda kullanımı yürünebilirliği olumlu yönde etkilemektedir. Ağaçlandırılmış sokaklar sokağı ve yaya yolunu tanımlı hale getirir, trafiği yumuşatıp yayaları trafikten korur, rahatsız edici güneş ışığını engeller, sıcak havalarda serinlik verir, sokak görüntüsünü yumuşatıp düzen ve doğal güzellik verir [34], [32]. Kaldırımların bulunduğu yer iklimine uygun olacak malzeme ile kaplanması ve yaya hareketini kısıtlamayacak genişliğe sahip olması konfor düzeyini artırır. [37], [1]. Sokaklara belli bir düzen içinde yerleştirilmesi gereken kent mobilyası, peyzaj ögesi, tabelalar, otobüs durakları gibi elemanlar da yürümeyi oldukça kolaylaştırmaktadır [1].

Tüm bu konfor koşullarına ek olarak temizlik faktörünü de ekleyebiliriz. Temiz kaldırım, cadde ve kent mobilyaları daha hijyenik bir ortam oluşmasını sağlar ve mekanın konforunu artırır.

B. ALGI / MEKANSAL ALGI

Algı; insan davranışını belirleyen en önemli unsurlardan biridir. Bu kavram birçok anlam ve mesaj içerip ileten fiziksel dünyanın, duyar aracılığıyla kişisel bilince aktarılması olarak da tanımlanabilir [38]. Algılama ise; tüm bu fiziksel dünyadan toplanan iletiler ile çevrenin temsil edilmesi ve anlaşılması için duysal bilgilerin düzenlenmesi, tanımlanması ve yorumlanmasıdır. Tüm algılamaların sinir sisteminde içerdiği sinyaller bulunur. Böylece duyu organları, fiziksel veya kimyasal uyarılmaya sebep olmaktadır. Ancak algı, bu şekilde pasif bir süreç olmaktan öte öğrenme, hafıza, beklenti ve dikkat içeren bir süreçtir [39]. Norberg-Schulz, (1966) [40]'a göre ise algılama; çevreden bilgi alma sürecini, alınan bilgilerin zihinde gruplanarak organize edilmesini ve anlamlandırılmasını kapsayan bir olgudur.



Şekil 2. Çevre-davranış dönüşüm süreci [41], [42], [43].

Şekil 2'ye bakıldığında bireyler dış dünyadaki uyarıcıları duyarları yardımı ile algılar ve beyin bu uyarıcıları örgütleyip yorumlamaya başlar. Psikolojik etkilerin oluşmasında tüm bu süreçle birlikte bireylerin kişisel özellikleri de katkı sağlamaktadır. Kişisel özelliklerden bireyin fizyolojik özelliği, sinir sistemi, hormonal yapısı ile sosyo-kültürel özellikleri, ihtiyaçları ve geçmişte edindiği deneyimleri de psikolojik etkilerin şekillenmesine katkı sağlamaktadır [44], [45]. (Ittelson, (1960) [46]'da algının kişisel bir deneyim olduğunu belirtir. Rapoport, (1977) [47]'un algılama süreci analizlerine göre ise

fiziksel çevre uyarıcıları; kullanıcının fizyolojik ve sosyo-psikolojik özelliklerinin filtrelerden geçmesiyle, kullanıcıların her biri için farklı mekân algısı oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 3).



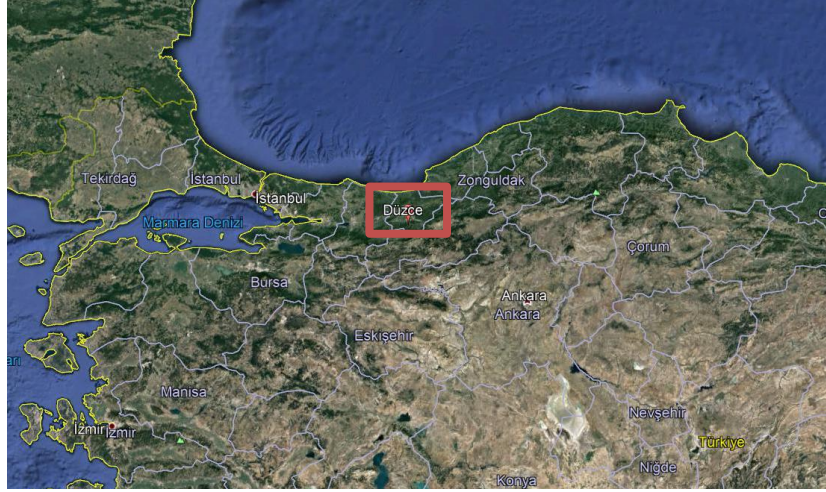
Şekil 3. Algılama süreci [47].

Yürünebilirliği önemli ölçüde etkileyen mekânın algısal niteliği Ewing vd., (2006) [11] tarafından okunabilirlik, zihinde canlandırma, kapalılık, insan ölçeği, saydamlık ve karmaşıklık bileşenlerinden oluşmaktadır. Kevin Lynch (1960) [48], okunabilirliği “Bir çevrenin fark edilebilir ve tutarlı bir örüntü içinde organize edilebilir olmasıdır” şeklinde tanımlamıştır. Lynch’in bu tanımından okunabilirliğin çevrenin insan zihninde oluşturabildiği imge sayısı ile doğru orantılı olduğu anlaşılmaktadır [48]. O’Neill (1991), [49] için okunabilirlik, tasarlanmış öğelerin insan zihninde etkili bir imaj oluşturarak zihin haritasına katkı sağlayabilme derecesidir. Bir yerin okunabilirliğini arttırmak için; yön bulmayı kolaylaştıracak, sokakları tanımlı hale getirecek fiziksel elemanlar kullanılmaktadır [11]. Zihinde canlandırma yapılı çevrenin farklı, akılda kalan ve unutulmayan nitelikleri olarak tanımlanabilir. Tasarımda akıllıca kullanılacak unsurlar ve düzenlemeler, kullanıcılarda farklı etkilere yol açarak mekânı unutulmaz hale getirecektir [11]. Tarihi yapılar, referans noktaları, panorama ve vistaların varlığı mekana karakter kazandırarak akılda kalıcılığını arttırmaktadır. Kapalılık, sokak vd. mekânların; çevredeki bina, duvar, ağaç vb. fiziksel elemanlar ile sınırlandırılma derecesini göstermektedir. Kapalılığın kalitesini mekânı tanımlamada kullanılan dikey unsurlar ile bu unsurların arasındaki yatay boşlukların oranı belirlemektedir [11]. İnsan ölçeği, mekânı tanımlamada kullanılan fiziksel unsur boyutlarının, yapı oranlarının, kullanıcılar tarafından kolay algılanabilir olmasını ifade etmektedir. Saydamlık, kullanıcının bulunduğu yerden, bir mekânın girişi ile mekândaki aktiviteleri görebilmesi, algılayabilmesidir. Karmaşıklık ise bir yerin görsel zenginliğini anlatırken fiziksel çevrenin çeşitliliği ile ölçülmektedir. Karmaşıklığın fazla olması kullanıcının kafasının karışmasına sebep olarak yürünebilirliği olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

III. MATERYAL - METOT

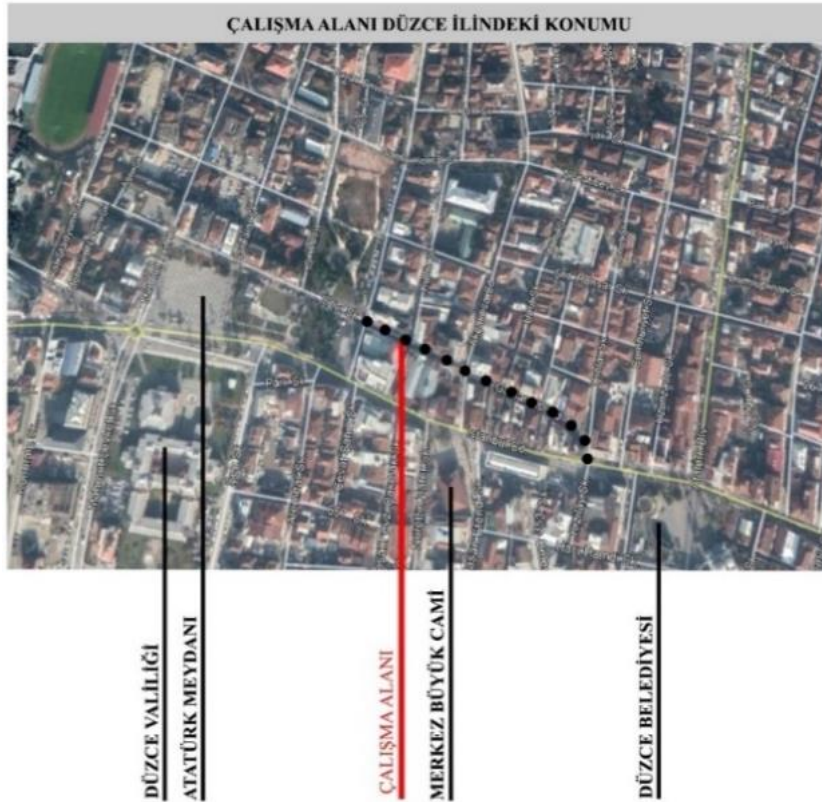
A. MATERYAL

Araştırmanın materyalini Düzce il merkezi Spor Sokak ve Gaziantep Caddesi, kullanıcısı olan halk, seçilen yollar boyunca bulunan binalar ve diğer peyzaj elemanları oluşturmaktadır. Araştırma alanı, Batı Karadeniz Bölgesi, Düzce ilinde bulunmaktadır. Düzce’nin kuruluşu 12 Kasım 1999 depremi sonrasında Bolu ilinden ayrılması ile başlamıştır. En eski tarihi 15. yy. a kadar dayanmaktadır. Bitinyalılar, Roma ve Bizans, Osmanlı ve Cumhuriyet dönemi evrelerini geçirmesi sonucunda önemli tarihi kalıntılara da ev sahipliği yapmaktadır. Düzce ili İstanbul ve Ankara yol aksı üzerindeki konumu bakımından önemli bir yere sahiptir (Şekil 4).

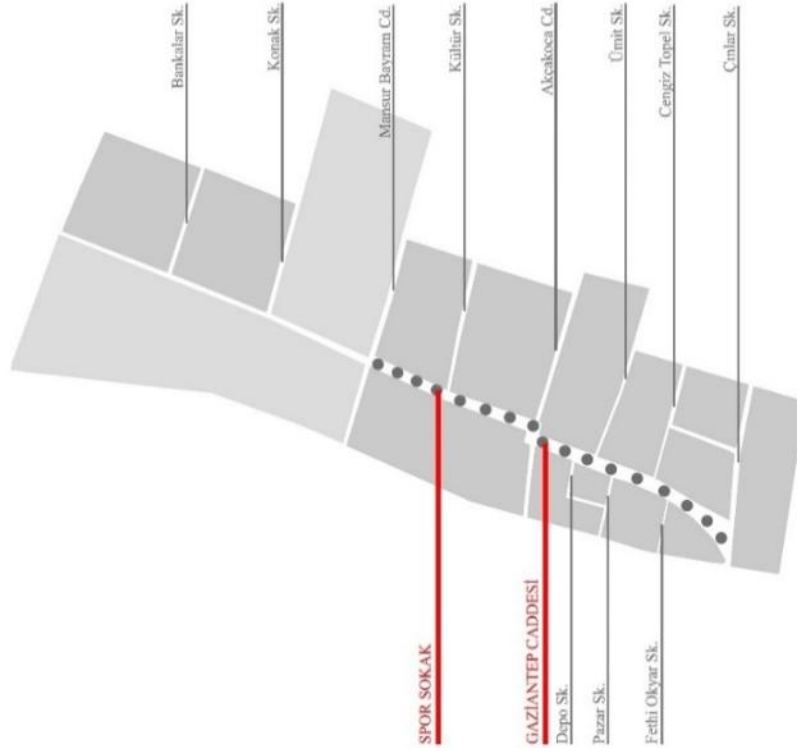


Şekil 4. Düzce ilinin çevre illere göre konumu.

Çalışma alanı olarak; Düzce Spor Sokağının sadece yayalar tarafından kullanılan bölümü ile Gaziantep Caddesinin tamamı belirlenmiştir. Spor Sokak Atatürk Meydanından başlayarak Gaziantep Caddesinin başlangıcına kadar uzanan bir sokaktır. Gaziantep Caddesi ise Spor Sokağın bitiminden Çınlar Sokağa kadar devam eden bir caddedir. Bu alan devlet kurumları, dini yapılar, kent meydanı ile önemli iş merkezlerine yakın olması sebebi ile kent merkezinin en işlek alandandır (Şekil 5), (Şekil 6). Bu bölgenin çalışma alanı olarak seçilmesinin sebebi; Düzce'nin en çok kullanılan, araç trafiğine kapalı yaya aksı olup ticaret, eğlence, hizmet gibi farklı işlevleri bir arada barındırmasıdır.



Şekil 5. Çalışma alanının Düzce il merkezindeki konumu.



Şekil 6. Çalışma alanı çevresindeki yapı adaları ve sokaklar.

B. METOT

Bu çalışma kapsamında nitel ve nicel veriler üzerinden yürünebilirlik olgusu incelenmektedir. İlk aşamada Düzce ili merkez ilçesinde seçilen Spor Sokak ve Gaziantep Caddesinde nitel veri elde edilecek anket yöntemi uygulanmıştır. 2020 Ocak ayında uygulanmaya başlanmış ve 2 ay gibi bir sürede tamamlanmıştır. Günün erken saatlerinde başlanarak akşam saatlerine kadar devam eden anketler caddeyi kullananlar ile iş yeri sahiplerine uygulanmıştır. Anket örneklem grubu, sokakta bulunan rastgele seçilen, ankete katılmayı kabul eden kişilere uygulanmıştır. Yüz yüze, soru-cevap yapılan anketlere ek dükkan sahiplerine dağıtılıp cevaplayanlardan sonraki günlerde toplanarak değerlendirmeye alınan anketler de olmuştur. Toplamda 130 kişiye uygulanan anketlerde ankete katılan kişiler belirlenen cinsiyet ve yaş kriterlerinin sayıca birbirine yakın olacak şekilde seçilmiştir. Uygulanan anket verileri SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programına aktarılarak uzman desteği ile analizler yapılmıştır. SPSS programında güvenilirlik ölçeği olarak “Cron-bach alfa” kullanılmıştır. Cron-bach tarafından 1951 yılında geliştirilen yöntem, anket maddeleri 1-3, 1-4, 1-5 şeklinde sıralı (ordinal) puanlama yapıldığında kullanılan bir yöntemdir. Cronbach alfa katsayısı, ölçekte yer alan k maddenin varyansları toplamının genel varyansa oranlanması ile bulunmaktadır[50]. İkinci aşamada ise nicel verileri elde edebilmek için çalışma alanına gidilerek Spor Sokak ve Gaziantep Caddesi boyunca bulunan mekanların tüm zemin kat cepheleri fotoğraflanmış bu sayede zemin kat kullanım grafikleri elde edilmiştir. Aynı zamanda sabah saat: 10.00, öğle: 14.00, akşam: 18.00, gece: 22.00’ da beş gözlem noktasından sokaklar fotoğraflanarak kullanıcı yoğunluğu gözlemlenmiştir. Çalışma alanındaki fiziki unsurların (sokak lambaları, çöp kutuları, mazgallar, güvenlik kameraları ve ağaçlar) konumları yerinde gözlem yapıldıktan sonra GIS (Geographic Information System) yazılımı olan ArcGIS (10.7) programında toplanan veriler aktarılmış ve mekânsal analizler yapılmıştır.

IV. BULGULAR

A. NİTEL VERİLER

A. 1. Anket Bulguları

Çalışmanın örneklem yapısı Düzce’de yaşayan 130 kişiden oluşmaktadır. Bu yapının sosyo-demografik özelliklerine bakıldığında %53’ünün erkeklerden, %47’sinin kadınlardan; %27’sinin 18-25 yaş arası, %46’sının 26-40 yaş arası, %27’sinin 41 yaş ve üzeri bireylerden; %2’sinin ilkokul, %7’sinin ortaokul, %25’inin lise, %6’sının ön lisans, %42’sinin lisans, %18’inin lisansüstü mezunlarından; %2’sinin emekli, %10’unun memur, %32’sinin serbest meslek, %19’unun öğrenci, %18’inin eğitimci, %13’ünün mimar/mühendis, %6’sının işçi olduğu bireylerden; %67’sinin Merkezde, %11’inin Konuralp’te, %17’sinin Kalıcı Konutlarda, %5’inin Merkez dışında yaşayanlardan; %41’inin Düzce’de 0-10 yıl, %21’inin 11-20 yıl, %14’ünün 21-30 yıl, %12’sinin 31-40 yıl arasında, %12’sinin 41 yıl ve üzerinde yaşayanlardan; %24’ünün sabah (07.00-09.00), %23’ünün öğle (11.30-14.00), %53’ünün akşam (16.00-20.00) saatlerinde alanı kullananlardan ve alanı %23’ünün iş, %36’sının alışveriş, %7’sinin eğlence, %24’ünün yeme-içme, %2’sinin kestirme olarak, %8’inin diğer sebepler için kullananlardan oluştuğu Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Örneklemeye ilişkin sosyo-demografik yapı analizi.

Katılımcıların Özellikleri	%	
Cinsiyet	Kadın	47
	Erkek	53
Yaş	18-25yaş arası	27
	26-40yaş arası	46
	41 yaş ve üzeri	27
Öğrenim Seviyesi	İlkokul	2
	Ortaöğretim	7
	Lise	25
	Ön lisans	6
	Lisans	42
Meslek Grupları	Lisansüstü	18
	Emekli	2
	Memur	10
	Serbest Meslek	32
	Öğrenci	19
Düzce’de Yaşanılan Yer	Eğitim	18
	Mimar/Mühendis	13
	İşçi	6
	Merkez	67
Düzce’de Yaşanılan Süre	Konuralp	11
	Kalıcı Konutlar	17
	Merkez Dışı	5
Sokakların Kullanıldığı Saatler	0-10 yıl	41
	11-20 yıl	21
	21-30 yıl	14
	31-40 yıl	12
	41 yıl ve üzeri	12
Sokakların Kullanılma Sebepleri	Sabah (07.00-09.00)	24
	Öğle (11.30-14.00)	23
	Akşam (16.00-20.00)	53
	İş	23
Sokakların Kullanılma Sebepleri	Alışveriş	36
	Eğlence	7
	Yeme-İçme	24
	Kestirme olması	2
	Diğer	8

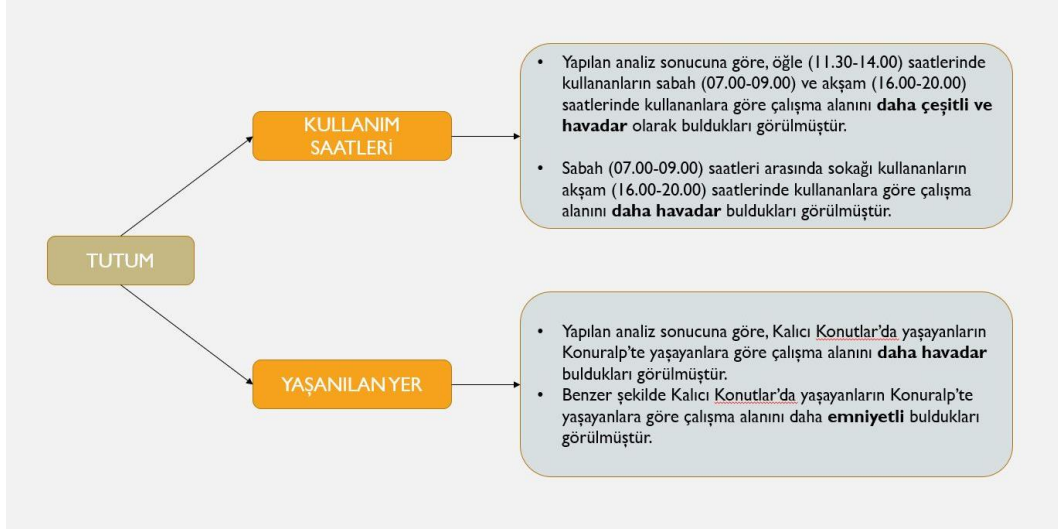
Düzce kent merkezindeki sokakları kullanıcıların nasıl tanımladığını belirlemek üzere frekans analizi uygulanmıştır. Kullanıcıların alanı tanımlaması için 12 adet kriter değerlendirmeye alınmıştır. Frekans analizi sonucunda, Düzce kent merkezindeki sokakları tanımlamada kullanılan kriterler; erişilmez, cansız, karışık, tehlikeli, güvenilir, kimliksiz, çeşitli, havadar, konforlu, zevkli, modern ve bakımlı olarak sıralanmaktadır (Tablo 2). Alanı tanımlamada kullanılan ölçeğin güvenilirliğinin test edilmesi sonucunda ise cronbach's alpha değerinin %95 olduğu belirlenmiştir ve ölçek oldukça güvenilir olarak bulunmuştur. Analiz sonuçları aşağıda karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Şekil 7), (Şekil 8), (Şekil 9).

Tablo 2. Mekansal algı frekans analizi.

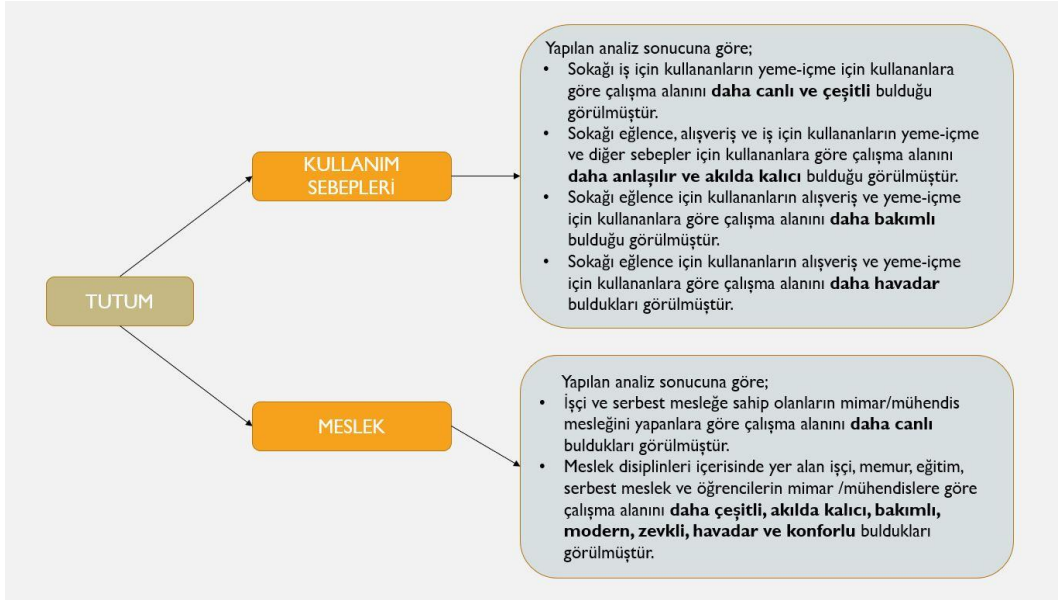
Tutum	Aritmetik Ortalama
Canlı-Cansız	4,67
Çeşitli-Tekdüze	3,98
Akılda Kalıcı-Kimliksiz	4,19
Anlaşılır-Karışık	4,32
Bakımlı-Bakımsız	3,41
Havadar-Bunaltıcı	3,95
Güvenli-Tehlikeli	4,27
Konforlu-Rahatsız	3,67
Modern-Eski Moda	3,45
Emniyetli-Güvenilmez	4,27
Zevkli-Sıkıcı	3,57
Bağlantılı-Erişilmez	5,35



Şekil 7. Belirlenen tutumların cinsiyet, yaş, öğrenim seviyesi, yaşam süresine göre değerlendirilmesi.



Şekil 8. Belirlenen tutumların kullanım saatleri ve yaşanılan yere göre değerlendirilmesi.



Şekil 9. Belirlenen tutumların kullanım sebepleri ve mesleğe yere göre değerlendirilmesi.

B. NİCEL VERİLER

B. 1. ArcGIS Bulguları

Çalışmanın bu bölümünde alandaki yürünebilirlik ve mekânsal algıyı etkileyen unsurlar saha çalışması ve ArcGIS 10.7 programı ile analiz edilecektir. Alanda yapılan gözlem ve fotoğraflama çalışmalarının sonuçları ArcGIS 10.7 programına aktarılmıştır. Bu bağlamda gözlem yapılan unsurlar; mekanların zemin kat işlevleri, kat sayıları, saatlere göre kullanıcı yoğunluğu, sokak lambaları/çöp kutuları/drenaj elemanları/güvenlik kameraları konum, tür ve sayıları olmuştur.

B. 1. 1. Bağlam

“Yürünebilirlik ve Mekânsal Algı Arasındaki İlişkinin İrdelenmesi: Düzce Örneği” başlıklı çalışmada amaç; Düzce ilinin belirlenen çalışma alanında yürünebilirlik değerinin nitel ve nicel veriler yardımı ile ölçülmesidir. Bu amaç doğrultusunda kent merkezinde yaya tarafından en sık kullanılan iki ana yaya

yolu çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Seçilen yaya yollarından biri Spor Sokak diğeri ise Gaziantep Caddesidir. Spor sokak hem taşıt yolu hem de yaya yolu olmak üzere iki kullanıma hizmet etmektedir. Çalışmaya ise sadece yaya yolu olarak kullanılan kısmı dahil edilmiştir. Gaziantep Caddesi Spor Sokağın taşıt yolu olarak kullanılan Akçakoca Caddesinin kestiği yerden başlayarak Düzce ilinde ana taşıt yolu olarak kullanılan İstanbul Caddesine kadar uzanır. Spor Sokak ve Gaziantep Caddesi kuzeyde Kültür Sokak, Ümit Sokak, Cengiz Topel Sokaktan; güneyde Depo Sokak ve Pazar Sokaktan; Gaziantep Caddesinin bitiminde Çınlar Sokaktan beslenir.



Şekil 10. Çalışma alanı sınırları ve alanın yakınında bulunan taşıt yolları.

Şekil 5 ve Şekil 10'da görüldüğü üzere çalışma alanı ilin merkezi ve en işlek bölgesinde olması, kamusal mekanlara yakın olması (belediye binası, merkez büyük cami, Atatürk meydanı, valilik binası) ona kimlik kazandırmıştır. Kazandığı bu kimlik sayesinde yürünebilirlik değerleri olumlu yönde etkilenmiştir.

B. 1. 2. Erişilebilirlik

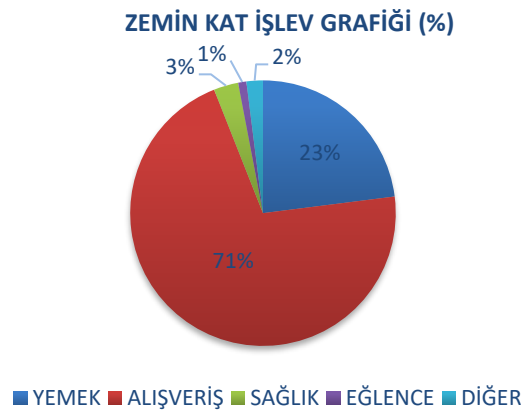
Çalışma alanı yaklaşık 300m uzunluğunda, Spor Sokak 7m genişliğinde başlayıp 8m genişliğinde sonlanmış, Gaziantep Caddesi ise 9m genişliğinde başlayarak 18m genişliğinde sonlanmıştır (Şekil 11). Çevresinde bulunan yapı adaları küçüktür. Çalışma alanının etrafına genel olarak bakıldığında ise ızgara sisteme sahip bir sokak dokusu bulunmaktadır. Bu sayede geçirgen ve erişilebilir olduğunu söylemek mümkündür. Aynı zamanda bu alan eğimi olmayan eşit erişilebilir bir yapıdadır. Spor Sokak ve Gaziantep Caddesini keskin bir şekilde ayıran taşıt yolu (Akçakoca Caddesi) erişilebilirlik düzeyini düşürse de trafiğin yavaş akmasından dolayı çok fazla etkili olmamaktadır (Şekil 11).



Şekil 11. Çalışma alanı yol uzunluğu ve sokak genişliği.

B. 1. 3. Çeşitlilik

Yaya yollarında zemin katlar kullanıcıların en çok etkileşimde bulunduğu mekanlardır. Spor Sokak ve Gaziantep Caddesinde bulunan tüm zemin katlardaki mekan işlevleri gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucunda; 9 telefon ve elektronik eşya, 6 kozmetik ürünler, 3 ayakkabı, 3 aksesuar ürünleri, 2 iç çamaşır, 2 spor ürünleri, 1 beyaz eşya, 1 müzik aletleri, 1 gümüş, 1 ziraat ürünleri, satan mekanlar; 18 restoran, 16 butik, 4 büfe, 1 kafe, 2 eczane, 1 kırtasiye, 1 pastacı, 1 kuaför, 1 pub, 1 şarküteri, 1 saatçi, 1 fotoğrafçı, 1 hırdavatçı bulunmaktadır. Ayrıca Spor Sokakta 5 pasaj bulunur. Bunlardan 2 tanesi İstanbul Caddesi ile bağlantılı olup içinde ağırlıklı olarak alışveriş mekanları bulundurulur. Mekanları işlevlerine göre; alışveriş, yemek, sağlık, eğlence ve diğer hizmet mekanları olarak gruplandırılarak yüzdelere baktığımızda her iki aks genelinde %71 alışveriş, %23 yemek, %3 sağlık, %1 eğlence ve %2 diğer hizmet mekanları yüzdeleri ile en çok alışveriş mekanlarının bulunduğu görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Spor Sokak ve Gaziantep Caddesi zemin kat işlev dağılımı (yüzde olarak).

B. 1. 4. Ölçek

Kat sayısı çevresel algıyı etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Yapı kat adedi arttıkça mekandaki kapalılık hissi artar. Spor Sokak ve Gaziantep Caddesi aksında bulunan yapı kat analizine bakıldığında en çok 5 katlı yapıların bulunduğu görülmektedir (Şekil 13), (Şekil 14). Bu kat adetleri oldukça yaya ölçeğinde olup kullanıcıyı ezmeyecek boyutlardadır. Alandaki sınırlama ve kapalılık hissini vermeye yeterlidir.



Şekil 13. Kat adedi analizi.



Şekil 14. (a) Spor Sokak Görünüm, (b) Gaziantep Caddesi Görünüm.

B. 1. 5. Yoğunluk

Saha çalışmasında yapılan gözlem sonucunda; bu yaya yollarının genel olarak bakıldığında Şekil 15’te işaretlenen bölgeleri daha yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmüştür. Spor Sokak ve Gaziantep Caddesinin merkez noktalarının daha yoğun olmasının sebebi; buralardaki mekanlarının işlevlerinin daha çeşitli olmasıyla birlikte beklemlerin artmasından, giriş çıkışlara göre daha dar alanların oluşmasından kaynaklı yoğunluğun arttığı söylenebilir. İki yolun kesiştikleri Akçakoca Caddesinin önceki açıklanan yerlere göre daha yoğun olmasını bu caddenin taşıt yolu olması ve iki yol aksındaki yaya akışını keskin bir şekilde kesmesidir. Yayaalar burada karşıdan karşıya geçerken taşıtları beklemekte beklerken de o bölgelerde yoğunluğun artmasına sebep olmaktadırlar.



Şekil 15. Bölgelere Göre Yoğunluk Analizi.

Tablo 3. Spor Sokak ve Gaziantep Caddesinde saatlere göre yaya yoğunluk analizi.

SPOR SOKAK VE GAZİANTEP CADDESİNDE SAATLERE GÖRE YAYA YOĞUNLUĞU					
Mekân/ Saat	1	2	3	4	5
10.00					
14.00					
18.00					
22.00					

Genel değerlendirmenin sonrasında alanda saatlere göre yaya yoğunluğunu analiz etmek için gözlem ve fotoğrafçılık çalışmaları yapılmıştır. Sabah, öğle, akşam ve gece değerlendirmesi için saat 10:00, 14:00, 16:00 ve 22:00'de aynı gözlem noktalarından farklı açılardan fotoğraflar çekilmiştir (Tablo 3). Bu çalışmanın sonucunda ise; günün sabah saatlerinde sokakların oldukça sakin ve boş olduğu, öğle saatinden akşam saatine kadar en yoğun kullanıcının bulunduğu, akşam saatlerinde ise bunun azalarak devam ettiği görülmüştür. Gece saatlerinde; sabah saatlerine benzer bir durum oluşmaktadır. Sokaklar yoğun öğle ve akşam saatlerinden sonra sakinliğe bürünmüştür.

B. 1. 6. Güvenlik

Güvenlik faktörü mekanın kullanıcılarını orada güvende hissetmeleri açısından oldukça önemli bir faktördür. Kullanıcıların kendilerini güvende hissettiği mekanlarda bulunma isteği ise güvenilirliğin

artması ile doğru orantılıdır. Bu bağlamda sokaktaki güvenlik etmeni güvenlik kameraları ve sokak lambaları analizi ile irdelenmiştir.

Belediyenin sağladığı güvenlik kameraları Spor sokağın başında ve sonunda yani Gaziantep Caddesi ile kesiştiği noktalarda bulunmaktadır (Şekil 16). Ayrıca alanda her dükkânın kendine ait güvenlik kamerası da bulunmaktadır. Anket yapma aşamasında alanı sürekli kullanan esnafın güvenlik kameralarının konulmasından sonra olayların azaldığını belirttiği görülmüştür. Bu da en başta bahsedilen cümleleri destekler durumda bir cevap olmuştur.



Şekil 16. Güvenlik Kamerası Konumları Analizi.



(a)



(b)

Şekil 17. (a) Belediye tarafından konulan mobese kameraları, (b) Dükkan sahiplerinin şahsi güvenlik kameraları.

Aydınlatma mekanların algılanmasında görünebilirliği etkilediği için önemli bir faktördür. Aynı zamanda insanlar karanlık mekanların daha az güvenilir olduğunu düşündükleri için bu alanlarda yürümekten kaçınmaktadırlar. Bu bağlamda çalışma alanındaki sokak lambalarının konumları, sıklığı ve türleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda Spor sokağın başında ve Gaziantep caddesinin bitiminde büyük spot lambaların bulunduğu görülmektedir. Sokak ve cadde boyunca belirli aralıklarla sokak lambalarının konumlandırıldığı, Gaziantep Caddesinde ise bunlara ek olarak ara sokakların aydınlatılması için konulan küçük spot lambaların yer aldığı görülmektedir (Şekil 18).



Şekil 18. Sokak lambası konumları ve türleri analizi.



Şekil 19. (a) Gaziantep Caddesindeki ara sokakların aydınlatılması için konulan spot lambalar, (b) Sokak lambaları, (c) Sokak başlarındaki büyük spotlar.

B. 1. 7. Konfor

Çalışma alanındaki konfor, çöp kutuları, peyzaj ve zemin döşemesi ile yağmur suyu drenajı analiz edilerek değerlendirilmiştir. Alandaki çöp kutusu analizine baktığımızda; yine Gaziantep Caddesinin başında ve sonunda büyük çöp konteynerlerinin olduğu ve sabit küçük çöp kutularının konumlandırıldığı görülmektedir (Şekil 20). Bununla birlikte bu sokak ve caddenin gün içerisinde belediye işçileri tarafından süpürüldüğü gözlenmiştir. Çöp kutuları aydınlatma ve küçük spot ışıklarının hemen yanında ve sokakların kenarlarında konumlandırıldığından yürümeye engel teşkil etmemektedirler.



Şekil 20. Çöp kutusu konumları ve büyüklükleri analizi.



(a)



(b)

Şekil 21. (a) Küçük çöp kutuları, (b) Sokak başlarındaki büyük çöp konteynerleri.

Drenaj, aşırı yağmur ve kar yağışı durumlarında suyun sokaklardan uzaklaştırılması açısından önemlidir. Drenaj unsuru olan mazgallar alanda incelendiğinde; Spor Sokağın başı ile ortasındaki yan yolla birleştiği bölgede ve Gaziantep Caddesinin başında daha büyük ebatlarda mazgal kullanıldığı görülmektedir. Bu mazgallara ek olarak sokak lambaları, çöp kutuları gibi belirli olmayan aralıklarla daha küçük ebatlarda mazgallar konumlandırılmıştır. Su yollarının sonlarında bulunan delikler de drenaja katkıda bulunmaktadır. Fakat genel olarak bakıldığından su yollarının ve deliklerin sigara izmariti gibi unsurlarla dolmuş olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 22).

Çalışma alanında yapılan anketler sonucunda insanların en çok şikayetçi oldukları durumun yağmur veya kar yağdığında sokaklarda kullanılan döşeme malzemesinin altında biriken suyun sıçraması olduğu sonucuna varılmıştır. Bu hem kaplama malzemesinin işçiliğinin iyi yapılamayışından hem de suyun alandan uzaklaştırılmasının yeterli olmayışından kaynaklanmaktadır (Şekil 23).



Şekil 22. Mazgal Konumları Analizi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 23. (a) Büyük mazgallar, (b) Küçük mazgallar, (c) Su yollarının sonundaki delikler.

Bitkiler sokaklarda yürümeye bir engel olarak görülebilmektedir. Fakat mekanların daha sıcak algılanmasına sebep olmaktadır ve kullanıcıları buldukları bölgelere çekerek yürünebilirliği pozitif yönde etkiledikleri söylenebilmektedir. Alandaki ağaç analizine bakıldığında ağaçların Gaziantep Caddesi boyunca sıralandığı görülmektedir (Şekil 24).



Şekil 24. Ağaç Konumları Analizi.

Kentsel alanlarda yapılacak ağaçlandırmaların öncelikle kullanıcılarının beklentilerini, kentin estetik ve işlevselliğini karşılayabilecek etkili bir tasarım ve planlamaya sahip olması, gelecekteki gelişmeleri dikkate alması gerekmektedir [51].

Kentsel tasarım projeleri yapılırken sokak, cadde ve yolun tasarımı, aydınlatma direkleri, elektrik ve telefon hatları, kanalizasyon, drenaj gibi alt yapı donanımları ayrıca dikkate alınmalıdır. Ağaçların dikim yerleri bu tesislere zarar vermeyecek şekilde ve onarımlarına engel olmayacak şekilde belirlenmelidir [52].

Ağaç türlerinin taç yüksekliği ve genişliği ile sokak aydınlatma elemanları, elektrik ve telefon kabloları vb. yapılar kesişmemelidir. Yaya ve taşıt trafiğinin engellenmemesi için yollarda bulunan ağaç taçlarının altında yayalar için en az 2.5 m, taşıtlar için ise en az 4.5 m taç altı yüksekliği olmalı ve bu yükseklik dikim sırasında göz önünde bulundurulmalıdır. Taç altı yüksekliği sağlanıncaya kadar ve doğal taç görünümü bozulmayacak şekilde budama yapılmalıdır [52].

Çalışma alanındaki ağaç konumlarına ve yüksekliklerine bakıldığında sokak aydınlatmalarının aralarına belirli aralıklarla dikildiği, yakınlarında bulunan yapılara mesafeli bir şekilde konumlandırıldığı, budanmış hallerinin ise Şekil 25'te de görüldüğü gibi yaya ölçeğinde yürümeyi engellemediği belirlenmiştir.



Şekil 25. Çalışma alanından ağaç görselleri.

IV. SONUÇ

Bu araştırmada, nitel ve nicel ölçütler ile çalışmada elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda mekânların yürünebilirlik kapasitesini bulmaya yönelik analizler yapılmıştır; analizler sonucunda, Düzce ili merkez ilçesinin ana omurgalarından olan Spor Sokak ve Gaziantep Caddesi test edilmiştir. Tasarım ölçütlerinden bağlam, erişilebilirlik, çeşitlilik, ölçek, yoğunluk, güvenlik, konfor ve çevresel algı kriterleri üzerinden alandaki yürünebilirlik değerinin ölçülmesi hedeflenmiştir.

Alanda yapılan anket ve gözlem çalışmaları Rapoport (1977) [47]'nin algılama süreçleri çizelgesine göre değerlendirildiğinde elde edilen nitel veriler; bireyin fiziksel özelliklerinden cinsiyet, yaş ve algının; bireyin sosyo-psikolojik özelliklerinden öğrenim seviyesi ve mesleğinin; fiziksel çevre koşullarından yaşanan yerin ve yaşam süresi ile bunlara ek olarak alanın kullanılma sebebi ve saatinin mekanı algılamada farklılıklara neden olduğunu göstermiştir. Mekanı algılamada kadınlar bu alanı yeterince bakımlı, konforlu ve modern bulmamışlardır. Yaş ilerledikçe mekanın olumlu algılandığı fakat gençlerin beklentilerini yeterince karşılamadığı görülmüştür. Yine aynı şekilde eğitim seviyesi arttıkça

memnuniyetsizliğinde arttığı görülmektedir. Düzce ilinde yaşanmışlık süresi arttıkça sokakların daha olumlu özelliklere sahip olduğu vurgulanmış, yaşanan yerin niteliğine göre ise olumlu olarak tariflenmesi doğru orantılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Yaşanmışlık, aidiyet duygusunu güçlendirmekte ve sosyal mekan olarak sürekli kullanılan kent mekanlarına sahip çıktığını göstermiştir. Kullanım saatlerine göre bakıldığında ise en çok öğle saatlerindeki kullanımda olumlu yanıtlar alınmıştır. Kullanım sebeplerinden mekanın iş için kullanılanlar yeme-içme, eğlence, alışveriş için kullananlara göre beklentilerinin az olmasından dolayı daha olumlu cevaplar vermişlerdir.

Nicel veri kriterleri de aşağıdaki şekilde yorumlanabilir;

- **Bağlam:** Spor Sokak ve Gaziantep Caddesi konumu bakımından Düzce ilinin merkez bölgesinde bulunmaktadır. Belediye, valilik binası, cami, meydan gibi kamusal alanlara yakın bir konumda olması yürünebilirlik değerini olumlu etkilemektedir.
- **Erişilebilirlik:** Izgara sisteme sahip, güvenli sokak dokusu ve küçük yapı adaları ile erişilebilirlik değeri yüksektir. Eğimin olmaması, zemin döşeme malzemesinin yürümeye engel olmaması ile eşit erişilebilir sokaklardır.
- **Çeşitlilik:** Farklı işlevli mekanların bir arada olması bu sokakları daha eğlenceli ve canlı hale getirmektedir. Kent merkezinde yemek, alışveriş, ticaret, ofis, kültürel kullanımlarla birlikte, turizm, eğlence, konut işlevlerinin iç içe bulunması, mekanın 24-saat yaşayan bir yer olmasını böylece canlılığın ve algılanan güvenliğin artırılmasını sağlamaktadır.
- **Ölçek:** Deprem bölgesinde bulunması sebebi ile çok yüksek katlı binaların yapılamaması ve alanda mevcut binaların en yüksek 5 katlı olması insan ölçeğinde bir mekan tanımlar. Sokak boyunca uzanan yapıların birbirine olan mesafesi kısmen kapalılık hissini vermekte ve alanı tanımlı hale getirmektedir.
- **Yoğunluk:** İnsan, işlev ve yapı yoğunluğu bakımından değerlendirildiğinde; en çok günün öğle saatlerinde kullanıcı yoğunluğu olduğu gözlemlenmiştir. Sokak boyunca karşılıklı olarak bulunan zemin katlardaki iş yeri sayısı çeşitlilik bakımından ihtiyacı karşılayamasa da orantılıdır.
- **Güvenlik:** Sokak lambaları ve güvenlik kameraları suç işleme eyleminde caydırıcı olduklarından kullanıcının özellikle akşam saatlerinden sonra kendisini güvende hissetmesini ve rahat bir şekilde yürüebilmesine sebep olmaktadır. Alandaki sokak lambaları ve güvenlik kameralarının artırılması sağlanabilir.
- **Konfor:** Sokakların döşeme niteliği, sokaklardaki engeller, reklam panoları, sokak aydınlatması, çöp kutuları, peyzaj öğelerinin varlığı ve konumları gibi unsurların her iki yaya yolunda bütünsel olarak ele alınarak, her kesimden kullanıcıya (eğitim seviyesi, gelir düzeyi vb.) hitap edebilecek bir çalışma bu mekanların daha yaşanabilir hale gelmesine katkı sağlayacaktır. Sadece geçiş yeri özelliğinde olan bir takım oturma nişleri, peyzaj elemanlarının eklenmesi ile mekansal kalitenin artırılması öngörülmektedir.

Ayrıca çalışmanın bu bölgede yapılması planlanan kentsel tasarım projeleri için kullanıcıların fiziksel ve sosyo-psikolojik özellikleri analizleri ile alanın fiziksel analizlerin değerlendirilmesi yönü ile bir altlık olabileceği; bireylerin ihtiyaç ve beklentilerinin planlanarak tasarım sürecinin gelişmesi daha yürünebilir kentlerin oluşabileceği yönü ile de bir öneri olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2019.09.04.915).

V. KAYNAKLAR

- [1] G. Ertuğrul, “Kentsel mekanda yürünebilirlik olgusu: Moda ve Bahariye aksları,” Yüksek Lisans tezi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [2] T. A. Litman. (2020, September 20). *Economic Value of Walkability* [Online]. Available: <https://www.vtpi.org/walkability.pdf>.
- [3] R. H. Lo, “Walkability: What is it?,” *Journal of Urbanism*, vol. 2, no. 2, pp. 145-166, 2009.
- [4] H. Krambeck, J. Snah, “The global walkability index: Talk the walk and walk the talk,” presented at The Better Air Quality Conference (BAQ), Yogyakarta, Indonesia. 2006.
- [5] M. Greenberg, J. Renne, “Where does walkability matter the most? An environmental justice interpretation of New Jersey data,” *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, vol. 82, no. 1, pp. 90-100, 2005.
- [6] M. Southworth, “Designing the walkable city,” *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 131, no. 4, pp. 246-257, 2005.
- [7] Z. Y. Halu, “Kentsel mekan olarak caddelerin mekansal karakterinin yürünebilirlik bağlamında irdelenmesi Bağdat Caddesi örneği,” Doktora tezi, Mimarlık Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [8] T. Pikora, B. G. Corti, F. Bull, K. Jamrozik, R. Donovan, “Developing a framework for assesment of the environmental determinants of walking and cycling,” *Social Science & Medicine*, pp. 1693-1703, 2003.
- [9] A. Tekel, Y. Özalp, “Mekanın fiziksel ve algısal niteliğinin yürünebilirliğe ve mekanda yürümeden duyulan memnuniyete etkisi: Ankara Atatürk Bulvarı örneği,” *Planlama*, c. 26, s. 1, ss. 40-50, 2016.
- [10] C. Bradshaw, “Creating -- and using -- A rating system for neighborhood walkability towards an agenda for “Local Heroes,” presented at 14th International Pedestrian Conference, Boulder, Colorado, 1993.
- [11] R. Ewing, S. Handy, R. C. Brownson, O. Clemente, E. Winston, “Identifying and measuring urban design qualities related to walkability,” *Journal of Walkability Physical Activity and Health*, vol. 3, no. 1, pp. 223-240, 2006.
- [12] A. Rapoport, *History and Precedent in Environmental Design*, USA, New York: Plenum Press, 1990.
- [13] J. Jacobs, Çev. B. Doğan, *Büyük Amerikan Şehirlerinin Ölümü ve Yaşamı*, İstanbul, Türkiye: Metis Yayıncılık, 2011.
- [14] J. L. Kriken, P. Enquist, R. Rapoport, *City Building: Nine Planning Principles for The Twenty First Century*, New York: Princeton Architectural Press, 2010.
- [15] B. E. Saelens, J. F. Sallis, J. B. Black, D. Chen, “Neighborhood-based differences in physical activity: an environment scale evaluation,” *American Journal of Public Health*, vol. 93, no. 9, pp. 1552-1558, 2003.
- [16] B. Bielefeld, S. El Khouli, *Adım Adım Tasarım Fikirleri*, İstanbul, Türkiye: Yem Yayınları,

2005, ss. 15-32.

[17] F. Tigges, A. Janson, *Fundamental Concepts of ARCHitecture: The Vocabulary of Spatial Situations*, Basel, Switzerland: Birkhäuser, 2014.

[18] A. Madanipour, *Urban Design, Space and Society*, London, UK: Palgrave Macmillian, 2014.

[19] W. G. Hansen, "How accessibility shapes land-use," *Journal of the American Institute of Planners*, vol. 25, no. 2, pp. 25,73-76, 1959.

[20] L. D. Burns, *Transportation, Temporal, and Spatial Components of Accessibility*, Toronto, Canada: Lexington Books, 1979.

[21] C. Bhat, S. Handy, K. Kockelman, H. Mahmassani, Q. Chen, I. Srour, L. Weston, "Assessment of accessibility measure," Center for Transportation Research, Univ. Texas, Austin, Rep. FHWA/TX-01/4938-3. Aug. 2001.

[22] M. Özuysal, "Şehirsel yerleşimlerde erişilebilirlik ölçütünün modellenmesi ve kullanımı: Ulaşım türü seçimi üzerindeki etkisinin incelenmesi," Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2010.

[23] J. Gehl, *Cities for People*, Washington DC, USA: Island Press, 2010.

[24] M. İnceoğlu, "Açık mekanların kalite açısından değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım: İstanbul meydanlarının incelenmesi," Doktora tezi, Mimarlık Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.

[25] R. Ewing, G. Meakins, G. Bjarnson, H. Hilton, *Making Healthy Places; Designing and Building For Health, Well-being, and Sustainability*, Washington DC, USA: Island Press, 2011, pp. 149-169.

[26] A. Rapoport, *Culture, Architecture, and Design*, Chicago, USA: Locke Science Publishing Company, Inc., 2005.

[27] F. D. K. Ching, Çev. S. Lökçe, *Mimarlık: Biçim, Mekân ve Düzen*, İstanbul, Türkiye: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 2002, ss. 278.

[28] F. D. K. Ching, Çev. Ç. Birkan, *Mimarlık ve Sanatta Yaratıcı Bir Süreç*, İstanbul, Türkiye: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 2003, ss. 65.

[29] F. D. K. Ching, Çev. B. Elçioğlu, *İç Mekân Tasarımı İstanbul*, İstanbul, Türkiye: Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, 2004, ss. 136-138.

[30] C. Moughtin, *Urban Design: Street and Square*, Oxford, UK: Architectural Press, 1992.

[31] G. Banz, *Elements of Urban Form*, New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 1970.

[32] J. Speck, *Walkable City: How Downtown Can Save America, One Step at a Time*, New York, USA: North Point Press, 2012.

[33] M. A. Alfonzo, "To walk or not to walk? The hierarchy of walking needs," *Environment and Behavior*, vol. 37, no. 6, pp. 808-836, 2005.

[34] J. Massengale, V. Dover, *Street Design the Secret to Great Cities and Towns*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2013.



- [35] K. Lynch, Çev. İ. Başaran, *Kent İmgesi*, İstanbul, Türkiye: İş Bankası Kültür Yayınları, 2011.
- [36] P. von Meiss, *Elements of Architecture: From Form to Place*, Londra, UK: E&FN Spon, 1990.
- [37] C. Alexander, S. Ishikawa, M. Silverstein, *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction: 2*, New York, USA: Oxford University Press, 1977.
- [38] N. Bayramoğlu, "Kullanıcı algısı bağlamında kentsel kimlik: Barbaros Bulvarı-Büyükdere kentsel aksı," Yüksek Lisans tezi, Kentsel Tasarım Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [39] S. Malek, "Mekansal bilişim: Mekan dizim yönteminin Beyazıt, İstanbul kapsamında uygulanması," Yüksek Lisans tezi, Kentsel Tasarım Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [40] C. Norberg-Schulz, *Intentions in Architecture*, London, UK: Allen and Unwin Ltd., 1966.
- [41] D. Linaraki, G. Voradaki, "The interaction of space with the human nervous system and its impact on human psychology," presented at Academy of Neuroscience for Architecture Conference (Salk Institute for Biological Studies), San Diego, California, 2012.
- [42] D. Cüceloğlu, *İnsan ve Davranışı*, İstanbul, Türkiye: Remzi Kitapevi A.Ş., 1991.
- [43] M. Banasiak, "Cultivating a culture for neuro-architecture: Linking cognitive science to architectural experience in design education," presented at Academy of Neuroscience for Architecture Conference (Salk Institute for Biological Studies), San Diego, California, 2012.
- [44] T. P. McNamara, J. Sluzenski, B. Rump, "Human spatial memory and navigation," in *Learning and Memory: A Comprehensive Reference*, 1st ed., Cambridge, USA: Academic Press, 2008, ch. 4, pp. 157-178.
- [45] İ. E. Kürkçüoğlu, "Kentsel dokuda yaya hareketlerinin mekansal ve psikolojik etki değerlendirmesi," Doktora tezi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [46] W. H. Ittelson, *Visual Space Perception*, New York, USA: Springer Pub. Co, 1960, pp. 1241-1242.
- [47] A. Rapoport, *Human Aspects of Urban Form*, Oxford, UK: Pergamon Press, 1977, pp. 38.
- [48] K. Lynch, *The Image of the City*, Massachusetts, USA: The M.I.T. Press, 1960.
- [49] M. J. O'Neill, "Effects of signage and floor plan configuration on wayfinding accuracy," *Environment and Behavior*, vol. 23, no. 5, pp. 553-574, 1991.
- [50] S. Kılıç, "Cronbach's Alpha reliability coefficient," *Journal of Mood Disorders (JMOOD)*, vol. 6, no. 1, pp. 47-48, 2016.
- [51] S. Ürgenç, "Kent ağaçlarının yetiştirilmesi, bakımı ve korunmaları konusunda bazı öneriler," Kent Ağaçlandırmaları ve İstanbul Sempozyumu'nda sunuldu, İstanbul, Türkiye 1998.
- [52] *Şehiriçi yol ve meydan ağaçlandırma kuralları*, TSE 8146 Standart, 1990.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Nanosentezde Yeşil Mühendislik Kavramı ve Çevre Mühendisliğindeki Yeri

 Şennur Merve YAKUT^{a,b*},  Mustafa KARATAŞ^b

^a Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, TÜRKİYE

^b Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: sennurmerve@nevsehir.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.799609

ÖZ

Bu çalışmada ağırlıklı olarak, son yıllarda artan çevreci yaklaşıma uygun yeşil nanomalzemelerin üretimi ve çevre mühendisliğindeki kullanım alanlarına değinilmektedir. Bilim insanları, özellikle nüfus artışı ve endüstrileşme sonucunda ortaya çıkan çevre kirliliği sonucunda, bu kirliliği durdurmak ya da en aza indirmek için çalışmalar gerçekleştirmektedir. Bu çalışmaların büyük bir kısmı geleneksel kimyasal içerikli yöntemlere dayanmaktadır. Ancak, bu durumda bir taraftan kirleticiler etkin bir şekilde giderilirken bir taraftan da ikincil bir kirlenme ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden doğal yollarla üretilmiş nanopartiküller önem kazanmıştır. Çevreci yaklaşımla sentezlenen nanopartiküller, tamamen biyolojik kökenli materyaller kullanılarak oluşturulmaktadır. Böylece çevre için zararlı çözücü maddeler yerine tamamen doğal bileşenler kullanılmakta ve arıtım verimi yüksek nanomalzemeler üretilmektedir. Sonuç olarak, yeşil kimya ve nanoteknoloji kavramları birleştirilerek gerçekleştirilen bu nanomalzemelerin gelecekte daha çok kullanılacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arıtım, Nanoteknoloji, Yeşil sentez

Green Engineering in Nanosynthesis and Its Place in Environmental Engineering

ABSTRACT

This study mainly focuses on the production of green nanomaterials suitable for the environmentalist approach that has increased in recent years and their use in environmental engineering. Scientists carry out studies to stop or minimize this pollution, especially as a result of population growth and industrialization. Most of these studies are based on traditional chemical methods. However, in this case, while pollutants are effectively removed, a secondary pollution arises. Therefore, naturally produced nanoparticles have gained importance. The nanoparticles which synthesized with an environmental approach are create using completely biological materials. Thus, completely natural components are used instead of solvents harmful to the environment and nanomaterials with high treatment efficiency are produced. As a result, it is thought that these nanomaterials, which are realized by combining the concepts of green chemistry and nanotechnology, will be used more in the future.

Keywords: Treatment, Nanotechnology, Green synthesis

I. GİRİŞ

Endüstrileşme ve nüfus sayısının hızla arttığı son yüzyılda, çevre kirliliği konusu büyük önem teşkil etmektedir. Çevre kirliliği denilince özellikle su kirliliği, hava kirliliği, toprak kirliliği konularında yoğunlaşmaktadır. Doğanın dengesinin bilinçsiz insan faaliyetleri ile bozulmasıyla gerçekleşen bu etkenler sonucu çevresel konularda endişeler gün geçtikçe artmaktadır. Alınan bazı önlemler ile bu kirliliklerin önüne geçilmesi hedeflense de çevre kirliliği tam anlamıyla yok edilememektedir. Dolayısıyla günümüzde çevre kirliliğini önlemek ya da azaltmak için fazlaca çalışma yapılmaktadır. Ancak, bu çalışmaların bir kısmı ilgili ortamdaki kirleticiyi giderirken başka ortamlardaki habitat için olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Örneğin su arıtımında kullanılan bir takım kimyasal maddeler suyu arıtmakta fakat kullanılan kimyasalların alıcı ortama karışmasıyla o ortamda bulunan canlılar negatif olarak etkilenebilmektedir. Bu sorunların ortaya çıkması, çevreye daha az ya da hiç zarar vermeyecek teknolojilerin geliştirilmesini sağlamıştır.

Günümüzde, çevre dostu yaklaşımların bir dalı olarak “yeşil kimya” kavramı önümüze çıkmaktadır. Özellikle 2000 yılından sonra bu kavram eğitim alanında da öğrencilere anlatılmaya başlanmıştır. Yeşil kimyanın başlıca özellikleri; ekonomik olması, çevre dostu olması ve diğer teknolojilere göre üzerinde çalışılmasının daha güvenilir olmasıdır [1]. Yeşil kimyanın asıl amacı, atıkları ortaya çıktıktan sonra gidermektense atığın oluşumunu minimize etmek ya da atığın oluşumuna asla izin vermemektir [2]. Yeşil kimya kavramının yanında, yeşil mühendislik olgusu da meydana gelmektedir. Sürdürülebilirlik kavramı; çevresel, sosyal ve ekonomik kavramlarının birleşim kümesidir. Yeşil kimya ve yeşil mühendisliği sürdürülebilirlik kavramı ile bütünleştirmek gereklidir. Bu kapsamda, sürdürülebilir ve yeşil proseslerin dizayn edilmesinin sağlanması için hem kimyacılar hem de mühendisler görev düşmektedir. Geleneksel kimya ve mühendislik içerisine “yeşil” terimini eklemek başta zor bir kavram olarak görünse de sonuçları oldukça tatmin edici olacaktır. Bu kapsamdaki önemli bazı kavramlar şunlardır [3]:

1. Çevre sağlığı ve güvenliği açısından en uygun olan tepken seçilmelidir.
2. Araştırma ve geliştirme aşamasında oluşacak yan ürünler ve bunların oluşturacağı atıklar iyi bilinmelidir.
3. Seçilen malzemelerin, prosesin üretiminden başlayarak oluşan atıkların bertarafına kadar geçen tüm süreçleri planlanmalıdır.
4. Proses dizayn edilip geliştirilirken ham madde ve enerji ihtiyaçları mümkün olduğunca minimize edilmelidir.
5. Kullanılacak ham malzemelerin yenilenebilir kaynaklardan olması sağlanmalıdır.

Nanopartikül sentezi günümüz mühendislik koşullarında oldukça gelişmiştir. Bu nanoparçacıklar çevre mühendisliğinde özellikle su arıtımında adsorban ve katalizör olarak kullanılmakta ve başarılı sonuçlar göstermektedir. Ancak bir dizi kimyasal üretim aşamalarında kullanılan çözücü, indirgeyici maddeler çevresel açıdan endişeleri arttırmaktadır. Çünkü bu maddeler insan ve çevre için ekstra bir kirlilik yükü oluşturmakta ve aynı zamanda sağlık açısından da risk oluşturmaktadır. İşte bu nedenlerden dolayı nanopartikül üretiminde, yeşil mühendislik prensibinin benimsendiği bir yol izlemek çok önemlidir [4]. Çevre dostu ve biyoyumlu malzemelerin kullanımıyla oluşan nanopartiküllerin sentezinde, çözücü olarak tercihen suyun kullanımı, ultrases, mikrodalga, biyolojik yöntemler, reaksiyonların oda sıcaklığında gerçekleşmesi gibi teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniğe de “yeşil sentez” adı verilmektedir. Son yıllarda özellikle bitki ekstraktı gibi doğal ürünler kullanılarak gerçekleşen nanopartikül üretimi çalışmaları çoğalmaktadır [5-7]. Bitki ekstraktından başka, bakteri, maya, alg gibi mikroorganizmalar da kullanılabilir. Yapılan çalışmalar, bitkisel kaynaklı nanopartiküllerin daha stabil ve hızlı olduğunu göstermektedir [8]. Bitki ekstraktı ile gerçekleştirilen yeşil sentezde, metal tuzları kullanımı oldukça yaygındır. Böylece metal tuzları indirgenerek bitki bazlı nanopartiküllerin üretimi gerçekleşmiş olmaktadır [9].

II. NANOMALZEMELER VE MÜHENDİSLİK ALANINDAKİ UYGULAMALARI

A. NANOMALZEMELER VE ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANIMI

Nanoteknoloji kavramı 1960'lı yılların sonlarından beri geliştirilmektedir [10]. Nanoteknoloji terimi ilk kez Norio Taniguchi isimli bir bilim insanı tarafından, "Atom-atom ya da molekül-molekül bozma, ayırma ve birleştirme işlemlerine nanoteknoloji denir" şeklinde ifade edilmiştir. Nanoteknoloji; çevre, malzeme, sağlık, ziraat, uzay gibi birçok alanda kullanılmakta ve üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar da her geçen gün artmaktadır [11]. Tanım olarak, 100 nanometreden küçük, geniş yüzey alanına sahip, fiziksel ve kimyasal olarak çeşitli özellikler gösteren yapılar nanomalzeme olarak anılmaktadır. Nanomalzemeler, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı tarafından 4 kategoriye ayrılmıştır. Bunlar; karbon bazlı, metal oksit bazlı, metal bazlı, polimerik yapıda ve yığın form içerisinde kompozitlerdir [12].

Çevre Mühendisliği alanında özellikle son birkaç yıldan beri, nanoteknoloji alanında çalışmalar artış göstermektedir. Geleneksel metotların kullanımına alternatif olarak nanomalzemelerin kullanımıyla hem daha çevre dostu hem de daha ekonomik malzemeler elde edilmeye başlanılmıştır. Nanomalzeme ya da mühendislikte kullanılan şekliyle nanopartiküller, çevre mühendisliğinde hava kirliliği, su arıtımı, toprak iyileştirme gibi çeşitli alanlarda kendine yer bulmuştur. Örneğin; demir, titanyum, çinko gibi metaller hem içme suyu arıtımında hem de atıksuların arıtımında kullanılmaktadır [13].

A. 1. Nanopartikül Sentez Yöntemleri

Nanopartikül sentezi temel olarak iki başlık altında incelenmektedir. Bunlar; "yukarıdan aşağıya" ve "aşağıdan yukarıya" adı verilen yöntemlerdir. Yukarıdan aşağıya yöntemi, kimyasal ya da mekanik müdahaleler ile büyük boyuttaki maddelerin nano boyuta indirgenmesi prensibine dayanmaktadır. Bilyeli öğütücüler ile yapılan işlem buna bir örnektir. Ayrıca bu işlemde yüksek enerji tüketimi gerçekleşmektedir. Aşağıdan yukarıya metodunda ise atom ya da moleküllerin bir takım kimyasal tepkimelerle büyütülmesi işlemi gerçekleşir. Bu metot, fiziksel olan yukarıdan aşağıya metodunun aksine kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Örneğin; buhar birikimi, sol- jel prosesi, sprey ve lazer piroliz, yoğunlaştırma, aerosol prosesler ve biyoredüksiyon buna örnektir [14]. İki başlıkta toplanacak olursa, fiziksel ve kimyasal yöntemlerden bazıları özet olarak Tablo 1'de gösterilmektedir [15].

Tablo 1. Nanopartikül sentezinde kullanılan bazı metotlar

Fiziksel Metotlar	Kimyasal Metotlar
Asal gaz yoğunlaşması	Ters misel
Şiddetli plastik şekil değişimi	Kontrollü kimyasal çöktürme
Yüksek enerjili bilyeli öğütme	Kimyasal buhar yoğunlaşması
Ses ötesi atışla dövme	Sıvı alev püskürtme
	Gaz fazda indirgeme
	Sıvı fazda indirgeme

Doğada bulunan bazı malzemelerin içerisindeki moleküller, kimyasal ve elektriksel bağlarla bir arada bulunurlar. Laboratuvar şartlarında bu malzemeler birtakım işlemlerden geçirilerek nanomalzemeler elde edilir [16]. Fiziksel metotlarda genel olarak, enerji, basınç, mekanik yük gibi başlıklar etkiliyken, kimyasal metotlarda daha çok kimyasal bileşenler ya da gazların kullanımı sentez işlemlerini etkilemektedir.

A. 2. Nanopartiküllerin Mühendislikteki Yeri

Nanopartiküllerin üzerine yapılan araştırmaların çoğalmasında ve verimli sonuçlar elde edilmesiyle birçok alanda kullanımı artmıştır. Özellikle mühendislik alanında bu malzemelerin kullanılması sıklıkla

karşımıza çıkmaktadır. Örneğin; pil yapımında, klasik lityum iyon pillerine alternatif olarak karbon nanotüplerin kullanımı üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Çevre alanında, nanomalzemelerin geniş yüzey alanına sahip olmalarından yararlanılarak, arıtımda kullanım çalışmaları yapılmaktadır. Nanomalzemelerin değişken iletkenliklerinden yararlanılarak sensör olarak kullanımına ek olarak, yapı malzemesi olarak ve süper iletken madde olarak farklı mühendislik alanlarında da kullanımı mevcuttur. Biyomedikal alanında, nanomalzemelerden, nanobiyosensör olarak kullanılarak bazı hastalıkların tespitinde yararlanılmaktadır. Diğer bir mühendislik alanı olarak tekstil mühendisliğinde ise, kendi kendini temizleyen kumaşlar ve insanları dış hava şartlarından koruyan kumaşlar imal edilmektedir [17]. Tablo 2’de farklı mühendislik alanlarında kullanılan nanopartiküllere ait bazı örnekler verilmektedir.

Tablo 2. Farklı mühendislik dallarında nanopartikül kullanımına dair örnekler

Uygulanan Yöntem	Elde Edilen Nanomalzemenin Cinsi	Kullanım Alanı	Kaynak
Alginat ile Sentez	Al ₂ O ₃ , ZnO, ZrO ₂	Ağır Metal Giderimi	[18]
Sol-Jel	Cu-TiO ₂	Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması	[19]
Kaplama	Zein (Mısırdada bulunan bir protein)	Tekstil Ürünlerine Hidrofobiklik ve Antimikrobiyal Özellik Kazandırımı	[20]
Kimyasal Sentez	MgO	Atıksulardan Renk Giderimi	[21]
Kaplama, Kendiliğinden Yapılanma	Grafen/Gümüş Nanotel, Gümüş Nanotel	Saydam İletken Elektrot Üretimi	[22]
Kimyasal Sentez	Nanokompozit Polietilen Film	Gıda Ürünlerinin Raf Ömrünün Uzatılması	[23]
Kimyasal ve Elektrokimyasal Sentez	Polianilin Nanomateryal	Yüksek Yüzey Alanı ve İletkenliğe Sahip Malzeme Üretimi	[24]
Kimyasal Çöktürme	ZnO, NiO	LCD’ler için Yüksek Çözünürlük Sağlayıcı Malzeme Üretimi	[25]
Elle Yatırma Yöntemi	Poliakrilontiril, Polivinilklorür ve Termoplastik Poliüretan Polimerlerinin Nanofiberleri	Nanokompozit Malzeme Üretimi	[26]
Sol- Jel	Ag-ZnO	Nanobiyosensör	[27]
Kimyasal Sentez	Nişasta bazlı SiO ₂	Yüksek Performanslı Ahşap Yapıştırıcısı	[28]

Teknolojik gelişmeler sonrasında nanopartiküllerin üretiminin her geçen gün artması, zamanla bu malzemelerin daha çevre dostu şekillerde üretimine yönelimi getirmiştir. Böylelikle bilimsel olarak hem gelişme sağlanacak hem de çevre için fazladan bir yük oluşturulmamış olacaktır. Yeşil sentez kavramının da yaygınlaşmasıyla, bilim insanlarının nanopartikül sentezlerini bu yaklaşım prensibini benimseyerek gerçekleştirmelerine olanak sağlanmıştır. Örneğin; Roy ve ark. [29], *Klebsiella pneumoniae*, *Eschrechia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterilerinin büyümesini önleyici, antibakteriyel bir gümüş nanopartikül sentezi gerçekleştirmişlerdir. Bunun için gümüş tuzları ve indirgeyici ajan olarak maydanoz yaprağı özütü kullanmışlardır. Elveren [30], siyanür tespiti için altın nanopartikül sentezi gerçekleştirmiştir. Altın nanopartikül sentezinde, melissa yaprağı, nar ve adaçayı kullanıp, adaçayı bazlı altın nanopartikül dışında diğer nanopartiküllerin plazmonik substrat olarak kullanımının uygun olduğunu tespit etmiştir. Sekmen [31], daha iyi iletkenliğe, elektrotransfer hızına ve elektrokatalitik aktiviteye sahip elektrot modifikasyonunda kullanılmak üzere, altın, gümüş, bakır, demir ve nikel nanopartikül sentezi gerçekleştirmiştir. Yeşil sentez metodunu kullanarak yaptığı

çalışmada, bitki ekstraktı olarak; domates, salatalık, kabak, elma, erik, kereviz ve karnabahar özütleri kullanmış olup, elektrot modifiyesinde başarı sağlamıştır. Biyosensör olarak altın nanopartikülleri kullanan Kumar ve ark. [32], zencefil özütü kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında bu nanopartikülün, kanla doğrudan temasın olduğu durumlar için uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Bahsedilen çalışmalarda genellikle bitkisel malzemeler kullanıldığı görülmektedir, ancak yeşil sentez sadece bitkisel kaynaklı yapılmamaktadır. Sebze ve meyvelere ek olarak alg, maya ve mantar kullanımına da rastlanılmaktadır [33- 35]. Vágó ve ark. [36], yaptıkları bir çalışmalarında indirgeyici ajan olarak *Schizophyllum commune* isimli bir mantar kullanmışlardır. Metal kaynağı olarak gümüş nitrat kullanarak elde ettikleri gümüş nanopartikülleri antibakteriyel bir madde olarak kullanarak başarı elde etmişlerdir.

B. ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE NANOTEKNOLOJİ

Nanoteknolojinin günümüzün yükselen teknolojisi olması nedeniyle birçok alanda bu konuda yapılmış çalışmalar bu alanda da denenmeye başlanmıştır. Çevre mühendisliğinde bilhassa su arıtımı konusunda adsorban madde ya da katalizör olarak kullanımı oldukça göze çarpmaktadır. Sıfır değerlikli demir nanopartiküller, toprak iyileştirmede ve radyoaktif atıklarda kullanımı göze çarpmaktadır. Hava kirliliği açısından ise, karbondioksit, azot bazlı gazlar, metan gazları, partikül maddeler gibi hava kirleticilerinin gideriminde geleneksel filtreler yerine, titanyum dioksit gibi nanomalzemeler kullanılmaktadır. Böylece kirleticilerin daha etkili filtrelenmesi elde edilmektedir [13]. Buna ek olarak çevre mühendisliğinde nanoteknolojinin kullanımının yanı sıra diğer mühendislik alanlarında da nanomalzeme üretilirken çevreye de zarar vermeme ilkesi benimsenmelidir. Çevresel alanlarda yapılan çalışmalarda elde edilen nanomalzemelerin arıtımda başarı sağladığı literatürdeki kaynaklarda açıkça görülmektedir.

Kale ve Kane [37], polivinilpirolidon polimeri ile stabilize edilmiş nikel nanopartiküller ile C. I. Reactive Blue 21 isimli boyarmadde gideriminde % 98'lik verim ve ayrıca Kimyasal Oksijen İhtiyacı giderimini de sağlamışlardır. Ge ve ark. [38], kadmiyum, çinko, kurşun ve bakır ağır metallerinin gideriminde Fe_3O_4 nanopartikülleri kullanmışlardır. 3-aminopropiltrioksilon, akrilik asit ve krotonik asit kopolimerleri ile modifiye edilmiş demir nanopartikülleri ile pH, 5.5'te yüksek oranda ağır metal giderimi gerçekleştirmişlerdir. İlaç kalıntısı giderimi üzerine yapılan bir çalışmada, Sarkar ve ark. [39], kalsiyum aljinat ile immobilize edilmiş TiO_2 kullanmışlardır. Sonuç olarak, bir çeşit antibiyotik olan klorheksidin diglukonat, ibuprofen, atenolol ve karbamazepin etken maddeleri giderimi için kullanılan bu nanopartiküllerin ilaç kalıntısı gideriminde başarılı oldukları belirtilmiştir. Topuz ve Uyar [40], polisiklik aromatik hidrokarbon giderimi üzerine yaptıkları çalışmalarında silika nanopartikülleri kullanmışlardır. Çalışmalarında, modifiye ettikleri silika nanopartiküllerin, aktif karbon gibi sıklıkla kullanılan başarılı materyallere alternatif olarak kullanımının umut verici olduğunu belirtmişlerdir.

Birçok alanda artan teknolojik malzeme ihtiyacıyla, yeni, modifiye edilebilir malzeme üretimi göze çarpmaktadır. Bu nanoteknoloji kavramının tercih edilmesinin nedeni, daha küçük malzemenin verimi artırması ve çoğunlukla bu malzemelerin hem ekonomik olması hem de performansının yüksek olmasıdır [41]. Buna ek olarak nanoteknolojinin ülkemizde son yıllarda tercih edilmeye başlaması bu alana olan ilgiyi arttırmakta ve çalışmaların yaygınlaşmasıyla da nanomalzemeler ile ilgili yeni özellikler keşfedilmektedir. Özellikle çevre mühendisliği uygulamalarında, malzemenin yüzey alanının artmasıyla, o malzemenin kirletici giderme veriminin artması doğru orantılı olduğu düşünüldüğünden çoğunlukla küçük boyutlu malzemeler tercih edilmektedir. Ayrıca bu malzemelerin yeniden kullanım için olanak tanınması çevre mühendisliği açısından büyük önem arz etmektedir. Böylece hem kirletici maddelerin giderim verimi artacak hem de elde edilen malzeme tekrar tekrar kullanılacak ve çevre için fazladan bir kirlilik yükü oluşturulmayacaktır. Çevreye ekstradan kirlilik yükü oluşturmamak konusu üzerine gidildiğinde ise, nanomalzeme oluşturulurken (sentez aşamasında) daha doğa dostu malzemeler kullanımı ya da tamamen biyolojik kaynaklı ham maddelerin kullanımı göze çarpmaktadır. Bu sebeple diğer mühendislik alanlarında olduğu gibi çevre mühendisliği çalışmalarında da nanoteknolojik ürünler kullanılırken ürünlerin daha önceden bahsedilen “yeşil sentez” metoduna göre elde edilmesi, üzerinde ayrıca durulması gereken önemli bir konudur.

III. YEŞİL SENTEZİN ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİNDE UYGULANMASI

Çevre mühendisliği diğer mühendislik dallarından farklı olarak doğal kaynakları tüketmek yerine, bu kaynakları korumaya ya da bozulan ortamı eski haline getirme prensibine dayalı bir mühendislik dalıdır. Dolayısıyla ekosistem için en uygun şartlar oluşturulmalıdır. Yeşil kimya gibi yaklaşımlarla bu şartların elde edilmesi sağlanmaktadır. Böylece hem kirlilik azaltılmış veya giderilmiş olacak hem de çevre kirlenmemiş olacaktır.

Bunun yanında, kullanılan nanomalzemelerin kullanılmaya başlandığı aşamadan itibaren davranışları da bir diğer önemli konudur. Bu malzemelerin, nüfuz ettikten sonra form değişikliğine uğrayıp uğramadığı, atık kalıntı olarak kalıp kalmadığı gibi konular da ekstra bir inceleme konusudur [42]. Genel olarak nanopartikül/nanomalzeme sentezi; metal bazlı, karbon bazlı, polimer bazlı ve seramik bazlı gerçekleşmekte olduğu daha önceden belirtilmişti. Yeşil sentezde ise; en sık kullanılan metal bazlı nanopartikül sentezidir [8]. Metal bazlı nanopartikül sentezinin daha çok tercih edilmesinin sebebi; metallerin üstün kimyasal, mekanik, manyetik ve optik özellikleri göstermesinden dolayıdır [43]. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi metal nanopartiküller farklı bilim alanlarında kullanılmakta olup, bu bölümde ise çevre mühendisliği alanında yapılan çalışmalara değinilecektir.

A. TOPRAK KİRLİLİĞİ GİDERİMİNDE YEŞİL SENTEZ

Toprak, canlılar için önemli olan temel yaşam kaynaklarından biridir. İçerisinde barınan canlılar doğal ekosistemin birer parçaları olduklarından bu ortamın kirlenmemiş olması çok önemlidir. İşte bu yüzden toprak kirliliği kavramı birçok alanı olumsuz etkileyen bir kavramdır. Çevre mühendisliğinde kirlenmiş toprakların ıslahı üzerine çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Toprak kirliliğinin giderimi için pahalı yöntemlere (bölgenin kazılarak kirliliğinin bertarafı, toprak yıkama, termal desorpsiyon gibi) alternatif olarak nanopartiküllerin kullanımı dikkat çekmektedir [44]. Tablo 3’de toprak kirliliğinin giderimi için kullanılan nanopartiküllerle ilgili literatürde bulunan bazı kaynaklar derlenmiştir.

Tablo 3. Toprak kirliliğinin gideriminde kullanılan nanopartiküller

Yeşil Sentez Kaynağı	Kirlilik Kaynağı	Kullanılan Nano Metal Kaynağı	Kaynak
Yeşil Çay	Ağır Metal, Cr (VI)	Kil destekli, sıfır değerlikli demir (nZVI)	[45]
<i>Euphorbia cochinchinensis</i> Yaprağı	Ağır Metal, As	Demir (Fe)	[46]
<i>Br assica alba, Ficus sycomorus, Ipomoea carnea</i>	İnsektisit (Klorfenapir)	Demir ve Gümüş	[47]
<i>Sapindus mukorossi</i>	Bazı PAHlar (polisiklik aromatik hidrokarbonlar)	Demir hekzasiyanoferrat	[48]
Yeşil Mango Kabuğu	Petrol Hidrokarbonları	Demir (nZVI)	[49]
<i>A. indica</i>	PAH	TiO ₂ bazlı çinko hekzasiyanoferrat	[50]

Tablo 3’de verilen örnekler doğrultusunda yeşil sentez metodu ile elde edilen nanopartiküllerin, toprak kirliliği için özellikle önem teşkil eden, ağır metaller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve zirai ilaçların gideriminde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

B. SU ARITIMINDA YEŞİL SENTEZ

Su, tüm canlılar için temel bir ihtiyaçtır. Dolayısıyla suyun korunması tüm insanlık için temel bir görev olmalıdır. Bu doğrultuda, su ile ilgili olarak özellikle çevre mühendisliği alanında oldukça fazla

çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar arttıkça, zamanla su arıtılırken başka kirliliklerin ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Yani, suyun arıtımında kullanılan bazı malzemelerin ikincil bir kirlilik olarak atıksulara karışması bilim insanları tarafından endişe oluşturmaktadır. Dolayısıyla, bir kaynağı iyileştirirken, diğer kaynağa zarar vermemek için daha yeşil teknolojilerin kullanılması öncelikli hedefimiz olmalıdır. Çevreci bir prensip olan yeşil kimya, tam da bu noktada devreye girmektedir. Yeşil kimya yaklaşımıyla yapılan çalışmaların amacı çevreye zarar vermemek ya da en az zararla atılmaya, kısacası su kalitesini iyileştirmeye yöneliktir. Su arıtımında temel olarak iki başlık vardır: Atıksu arıtımı ve içme suyu arıtımı. Hem atıksuların hem de içme sularının belirli bir kalite standartında olması için iyileştirme çalışmaları diğer bir deyişle arıtım çalışmalarında kullanılan yeşil nanopartiküller ile ilgili literatürde bulunan bazı çalışmalar Tablo 4’te verilmektedir.

Tablo 4. Su arıtımında kullanılan nanopartiküller

Yeşil Sentez Kaynağı	Kirlilik Kaynağı	Kullanılan Nano Metal Kaynağı	Kaynak
<i>Punica granatum</i> yaprağı	Metilen Mavisi	CuO	[51]
Çay yaprakları	Monoklorobenzen	FeNP	[52]
<i>D. vulgaris</i>	Bazı ilaç kalıntıları (17 β -estradiol, sülfametoksazol ve siprofloksasin)	PtNP	[53]
<i>Rosa damascene, Thymus vulgaris ve Urtica dioica</i>	Cr(VI)	nZVI	[54]
<i>Mangifera indica, Murraya Koenigii, Azadiracta indica, Magnolia champaca,</i>	Evsel Atıksu (KOİ, Amonyum nitrojen, fosfor)	FeNP	[55]
Murt yaprağı	Telon Blue AGLF	CuO	[56]
<i>Cerantonia siliqua</i> (keçi boynuzu)	Amoksisilin	FeONP	[57]
Alg (<i>Anabaena cylindrica</i>)	İçme Suyu Dezenfeksiyonu	CuO	[58]
<i>Spirulina sp.</i>	Tetrasiklin	TiO ₂	[59]
Silika	İçme Suyu Dezenfeksiyonu	Cu (CAS)	[60]
Senegal akasyası	Direct Blue 129	ZnO	[61]
<i>Biophytum sensitivum</i>	Metilen mavisi ve Metilen turuncusu	AgNP	[62]

Tablo 4’te verilen bilgiler doğrultusunda, çevre mühendisliğinde bu nanopartiküllerin özellikle atıksu arıtımında kullanıldığı görülmektedir. Endüstri kaynaklı atıksulardan boyar madde giderimi ve ağır metal giderimi sıklıkla karşımıza çıkmakta olduğundan yapılan çalışmalar genellikle bu alanlarda gerçekleşmiştir. Deneysel sonuçlara baktığımızda oldukça verimli sonuçlara rastlanılmakta ve bu malzemelerin daha büyük alanlarda kullanımı beklenilmektedir. İçme sularında ise çalışmalar genellikle dezenfeksiyon üzerine gerçekleştirilmektedir. Dezenfeksiyon işleminde özellikle ortaya çıkan toksik yan ürünler, bu dezenfektanların kullanımında şüphe oluşturmaktadır. Bu amaçla çevre dostu nanopartiküllerin kullanımı bu endişeleri azaltabilir ve maliyeti de düşürebilir. Bu konuda daha çok çalışmanın yapılmasıyla daha somut verilere ulaşılması çevrenin geleceği için büyük önem teşkil etmektedir.

C. HAVA KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜNDE YEŞİL SENTEZ

Canlılar içinde buldukları ortamda temiz havaya ihtiyaç duyarlar. Hava kalitesinin düşük olduğu ortamlarda kısa ve uzun vadede sağlık sorunları oluşmaktadır. Genel olarak hava kirleticiler doğal ve yapay sebeplerden ötürü ortaya çıkmaktadırlar. Doğal sebepler; yangınlar, tozlar, yanardağların püskürttüğü küllerden kaynaklanan kirliliği ifade ederken, yapay sebepler; kentleşme ve endüstrileşme sonucu ortaya çıkan kirlilikleri ifade etmektedir [63]. Özellikle insan faaliyetleri sonucu açığa çıkan hava kirleticiler (CO, NO_x, SO₂, uçucu organik bileşikler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH)

gibi) canlılar için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Bu kirleticilerin hava yoluyla insanlara geçmesiyle insan vücudunda birikim yaparak özellikle kanser hastalıklarına sebep olduğu bilinmektedir.

Hava kirliliğinde nanoteknoloji membranlarla karbondioksit gideriminde, TiO₂ kullanılarak da azot oksitlerin nitrik asite dönüşümünde kullanılabilir [64].

Tablo 5'te hava kirliliği alanında yapılan yeşil çalışmalardan bazıları verilmektedir.

Tablo 5. Hava kirliliği gideriminde kullanılan yeşil nanopartiküller

Yeşil Sentez Kaynağı	Kirlilik Kaynağı	Kullanılan Nano Metal Kaynağı	Kaynak
Sarımsak (<i>Allium sativum</i>)	PAH'lar	Ag	[65]
Kauçuk ağacı yaprağı (<i>Ficus elastica</i>)	SO ₂	Ag	[66]
Yeşil Çay	Karbon monoksit (CO)	Pd	[67]
<i>Jatropha curcas</i>	Asetaldehit	CeO ₂	[68]
<i>Ficus carica</i> ve <i>Euphorbia amygdaloides</i>	Metan gazı tespiti	γ-Fe ₂ O ₃	[69]

Hava kirliliği, küresel olarak problem oluşturmakla birlikte, tüm dünya olarak ortak önlemlerin alınması gereken bir sorundur. Tablo 5'te verilen bazı çalışmalarda da görüldüğü üzere hava kirleticilerden PAH'ların, karbon monoksit, kükürt dioksit gibi gazların gideriminde ve bazı gazların tespitinde yeşil nanopartiküllerin kullanımı son yıllarda artan bir durumdur. Küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi gibi ciddi sorunlara yol açan hava kirleticilerin gideriminde yeşil teknolojilerin kullanılması umut vericidir.

D. YERALTI SUYU ARITIMINDA YEŞİL SENTEZ

Dünyamızda su kaynakları temel olarak iki bölümden oluşmaktadır: yüzeysel sular ve yeraltı suları. Yeraltı suları; yağmurlar, göl, nehir suları gibi kaynakların topraktan sızmasıyla oluşmaktadır. Sular topraktan sızarken birkaç katmandan geçtiği için bu aşamada kısmi bir filtreleme işleminden geçmektedir. Dolayısıyla, kalitesi yüksek bir su kaynağı karşımıza çıkmaktadır. Bu sular genellikle, içme suyu olarak, tarımsal sulama suyu olarak ve endüstriyel amaçlarla kullanılabilir. Ancak yeraltı sularının iyi korunmaması, bilinçsizce aşırı miktarda çekilmesi, foseptik sularının karışması, evsel ve endüstriyel atıksuların karışması bu sular için tehlike oluşturmaktadır [70].

Aşağıda verilen Tablo 6'da yeraltı sularının çevreci yaklaşımla üretilmiş nanopartiküllerle arıtımı üzerine yapılan bazı çalışmalar gösterilmektedir.

Tablo 6. Yeraltı ve sızıntı suyu arıtımında kullanılan yeşil nanopartiküller

Yeşil Sentez Kaynağı	Kirlilik Kaynağı	Kullanılan Nano Metal Kaynağı	Kaynak
Yeşil Çay	Yeraltı suyunda Cr(VI)	nZVI	[71]
<i>Citrus paradisi</i>	Yeraltı suyunda patojen ve florür	Ag/MgO	[72]
Yeşil Çay	Yeraltı suyunda Cr(VI)	nZVI/Ni	[73]
Yeşil Çay	Yeraltı suyunda Cr(VI)	Demir/Cu	[74]
Biyokömür	Yeraltı suyunda Cr(VI)	nZVI	[75]
<i>Moringa oleifera</i>	Yeraltı suyunda nitrat	Fe	[76]

Tablo 6'da görüldüğü üzere yeraltı suları için çoğunlukla krom iyonu giderimi üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Kromun +6 değerlikli yapısına çoğunlukla evsel ve endüstriyel atıksuların yeraltına sızması sonucunda rastlanılmaktadır [77]. Dolayısıyla dış kaynaklı bu metalin giderimi önem kazanmaktadır. Bunun dışında; nitrat, florür, bazı mikroorganizmaların da yeraltı sularından giderimi üzerine yapılmış çalışmalara da rastlanılmaktadır. Nanomalzemelerin boyutları gereği geniş yüzey alanına sahip olmalarından dolayı kirletici maddeleri daha iyi adsorbe edeceği düşünülmektedir.

Yeraltı sularının kalitesine bakıldığında içme suyu olarak iyi bir kaynak olmasından dolayı bu suların arıtımında yeşil yaklaşımlı nanomalzemelerin kullanımının artmasının ve üzerine yapılan araştırmaların çoğalmasında umut vericidir.

IV. SONUC

Çevre dostu, eko-sürdürülebilir teknolojiler her zaman dikkat çekmektedir. Bu kapsamda karşımıza “yeşil kimya”, “çevre dostu” gibi kavramlar çıkmaktadır. Bu kavramların günümüz teknolojisine uyarlanmasıyla “yeşil sentez” adı verilen hem teknolojik hem de çevre dostu olan bir sentez metodu ortaya çıkmıştır. Yeşil sentezde esas olan geleneksel kimyasal çözücülere alternatif olarak doğada kolayca bulunan tamamen organik yapıların kullanılmasıdır. Farklı birçok mühendislik alanında nanomalzemeler kullanılmakta ancak bu malzemeler gerçekleştirilirken çevreye zarar verilmemesi gerektiği unutulmamalıdır. Çevre mühendisliğinde ise su arıtımı başta olmak üzere, toprak kirliliğinde, hava kalitesi iyileştirmede, yeraltı sularının arıtılması gibi konularda yeşil nanomalzemelerin kullanımına rastlanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanımıyla yüksek verimlerin elde edilmesi, geleneksel nanomalzemelerin kullanımına bir alternatif olacağını düşündürmektedir. Böylece hem arıtım gerçekleşecek hem de çevre için bir yük oluşturulmamış olacaktır. Ayrıca ekonomik ve kolayca uygulanabilir olması en büyük avantajlarından. Zararlı çözücüler yerine organik maddelerin kullanılmasıyla, sentez aşamasında çalışan kişilerin sağlığı da olumsuz olarak etkilenmemiş olacaktır.

TEŞEKKÜR: Bu derleme çalışması 2020-039 No’lu Aksaray Üniversitesi BAP Birimi tarafından desteklenen doktora tez projesinin bir bölümüdür.

V. KAYNAKLAR

- [1] Z. Gerçek, “Kimya’nın yeni rengi: yeşil kimya,” *Yükseköğretim ve Bilim Dergisi/Journal of Higher Education and Science*, c. 2, s. 1, ss. 50-53, 2012.
- [2] O. Sogut ve B. Çelebi, “Daha temiz analizler: yeşil kimya,” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 160-175, 2020.
- [3] C. Jiménez-González, D. J. C. Constable, *Yeşil Kimya ve Mühendislik Pratik Bir Tasarım Yaklaşımı*, 1. Baskıdan çeviri, Ankara, Türkiye: Nobel Yayıncılık, 2016, T. K. Aşkar, Çev., ss. 670-673.
- [4] Y. Wang, D. O’Connor, Z. Shen, I. M. Lo, D. C. Tsang, S. Pehkonen, S. Pu and D. Hou, “Green synthesis of nanoparticles for the remediation of contaminated waters and soils: Constituents, synthesizing methods, and influencing factors,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 226, pp. 540-549, 2019.
- [5] O. V. Kharissova, H. R. Dias, B. I. Kharisov, B. O. Pérez and V. M. J. Pérez, “The greener synthesis of nanoparticles,” *Trends in biotechnology*, vol. 31, no. 4, pp. 240-248, 2013.
- [6] B. Kumar, K. Smita, L. Cumbal, A. Debut and Y. Angulo, “Biofabrication of copper oxide nanoparticles using Andean blackberry (*Rubus glaucus* Benth.) fruit and leaf,” *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 21, pp. S475-S480, 2017.
- [7] R. Yuvakkumar, J. Suresh, A. J. Nathanael, M. Sundrarajan and S. I. Hong, “Novel green synthetic strategy to prepare ZnO nanocrystals using rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel extract and its antibacterial applications,” *Materials Science and Engineering: C*, vol. 41, pp. 17-27, 2014.

- [8] S. Gündüz, “Manyetik demir nanopartiküllerin yeşil sentez metodu ile üretilmesi ve nanobiyosensör olarak kullanımının incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, Nano Bilim ve Nano Mühendislik Anabilim Dalı, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2018.
- [9] S. Saranya, A. Eswari, E. Gayathri, S. Eswari and K. Vijayarani, “Green synthesis of metallic nanoparticles using aqueous plant extract and their antibacterial activity,” *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, vol. 6, no. 6, pp. 1834-1845, 2017.
- [10] M. M. Norhasri, M. S. Hamidah and A. M. Fadzil, “Applications of using nano material in concrete: A review,” *Construction and Building Materials*, vol. 133, pp. 91-97, 2017.
- [11] A. Korkmaz, “ZnO nanomalzemelerinin yapısal özelliklerinin reaksiyon basıncı ve reaksiyon süresi ile kontrol edilmesi,” Yüksek Lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2020.
- [12] Ö. Nazıkcın, “Farklı üretim özelliğine sahip nanomalzemelerin bitkiler üzerindeki etkilerinin incelenmesi,” Yüksek Lisans tezi, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2015.
- [13] E. Esmeray ve O. Özata, “Nanopartiküllerin çevre mühendisliğinde kullanımı ve temel laboratuvar malzemeleri ile gümüş nanopartikül (AgNPs) sentezi,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 16, ss. 521-527, 2019.
- [14] B. Bilgili, “Gümüş nanopartiküllerin (AgNP) sentezi ve karakterizasyonu,” Yüksek Lisans tezi, Kimya Anabilim Dalı, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye, 2014.
- [15] U. B. Şimşek, “Farklı sentez koşullarında sıfır değerlikli nanopartikül üretimi, optimizasyonu ve tekstil boyar maddelerin giderimine uygulanması,” Yüksek Lisans tezi, Nanoteknoloji ve İleri Malzemeler Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2015.
- [16] Z. Tüylek, “Küçük şeylerin hikâyesi: nanomalzeme,” *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 5, s. 2, ss. 130-141, 2016.
- [17] M. Yer, “Gümüş nanopartiküllerin sentezlenmesi ve karakterizasyonu,” Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2012.
- [18] T.N. Çevik, “Nanomalzeme ile oluşturulan kompozit alginat boncukları ile ağır metal giderimi,” Yüksek Lisans tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2019.
- [19] V. V. Ram, R. Singhal and R. Parameshwaran, “Energy efficient pumpable cement concrete with nanomaterials embedded PCM for passive cooling application in building,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 28, no. 2, pp. 1054-1063, 2020.
- [20] J. Gonçalves,, N. Torres, S. Silva, F. Gonçalves, J. Noro, A. Cavaco-Paulo,A. Riberio and C. Silva, “Zein impart hydrophobic and antimicrobial properties to cotton textiles,” *Reactive and Functional Polymers*, vol. 154, pp. 104664, 2020.
- [21] M. Ç. Yavuzaslan, “MgO bazlı nanomalzeme ile atıksulardan renk gideriminin incelenmesi: renk giderim mekanizmasının araştırılması,” Yüksek Lisans tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Türkiye, Mersin, 2019.
- [22] B.T. Çamiç, “Grafen ve Gümüş Nanomalzeme tabanlı saydam iletken elektrot üretimi, karakterizasyonu ve organik güneş hücrelerine uygulanması,” Doktora tezi, Fizik Anabilim Dalı, Gebze Teknik Üniversitesi Gebze, Türkiye, 2018.

- [23] T. Gokkurt,, F. Findık,, H. Unal, and A. Mimaroglu, “Extension in shelf life of fresh food using nanomaterials food packages,” *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 51, no. 7 ,pp. 701-706, 2012.
- [24] M. Delvaux,, J. Duchet,, P. Y. Stavaux,, R. Legras, and S. Demoustier-Champagne, “Chemical and electrochemical synthesis of polyaniline micro-and nano-tubules,” *Synthetic Metals*., vol. 113, no. 3, pp. 275-280, 2000.
- [25] M.İlhan, “LCD ekranlar için nanomalzeme esaslı sıvı kristallerin üretilmesi,” Yüksek Lisans tezi, Fizik Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [26] V. Özkan, “Petrol türevi polimerlere nanopartikül katkılandırarak nanokompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu,” Doktora tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye, 2019.
- [27] B. Şahyar, “Balıkçilerinde tazelik indikatörü olarak ksantin nanobiyosensörü geliştirilmesi ve gıda analizlerinde endüstriyel kullanımı,” Doktora tezi, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2019.
- [28] Z. Wang, Z Gu., Y. Hong, Cheng. L and Z. Li, “Bonding strength and water resistance of starch-based wood adhesive improved by silica nanoparticles,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 86, no. 1, pp. 72-76, 2011.
- [29] K. Roy, C. K. Sarkar and C. K. Ghosh, “Plant-mediated synthesis of silver nanoparticles using parsley (*Petroselinum crispum*) leaf extract: spectral analysis of the particles and antibacterial study,” *Applied Nanoscience*, vol. 5, no. 8, pp. 945-951, 2015.
- [30] B. Elveren, “Green synthesis of metal nanoparticles and their applications as plasmonic substrates,” Yüksek Lisans tezi, Biyoteknoloji Anabilim Dalı, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2018.
- [31] E. Sekmek, “Bazı metal nanopartiküllerin çeşitli biyoekstreler ile yeşil sentezi, karakterizasyonu ve grafit elektrot modifikasyonunda kullanımı,” Yüksek Lisans tezi, Kimya Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.
- [32] K. P. Kumar, W., Paul and C. P. Sharma, “Green synthesis of gold nanoparticles with *Zingiber officinale* extract: characterization and blood compatibility,” *Process Biochemistry*, vol. 46, no. 10, pp. 2007-2013, 2011.
- [33] H. M. El-Rafie, M. El-Rafie and M. K. Zahran, “Green synthesis of silver nanoparticles using polysaccharides extracted from marine macro algae,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 96, no. 2, pp. 403-410, 2013.
- [34] S. Seshadri, K. Saranya and M. Kowshik, “Green synthesis of lead sulfide nanoparticles by the lead resistant marine yeast, *Rhodospiridium diobovatum*,” *Biotechnology progress*, vol. 27, no. 5, pp. 1464-1469, 2011.
- [35] A. Vágó, G. Szakacs, G. Sáfrán, R. Horvath, B. Pécz and I. Lagzi, “One-step green synthesis of gold nanoparticles by mesophilic filamentous fungi,” *Chemical Physics Letters*, vol. 645, pp. 1-4, 2016.
- [36] G. Arun, M. Eyini and P. Gunasekaran, “Green synthesis of silver nanoparticles using the mushroom fungus *Schizophyllum commune* and its biomedical applications,” *Biotechnology and Bioprocess Engineering* , vol. 19, no. 6, pp. 1083-1090, 2014.

- [37] R. D. Kale and P. B. Kane, "Colour removal using nanoparticles," *Textiles and Clothing Sustainability*, vol. 2, no. 4, pp. 1-7, 2017.
- [38] F. Ge, M. M. Li, H. Ye and B. X. Zhao, "Effective removal of heavy metal ions Cd^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} from aqueous solution by polymer-modified magnetic nanoparticles," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 211, pp. 366-372, 2012.
- [39] S. Sarkar, S. Chakraborty and C. Bhattacharjee, "Photocatalytic degradation of pharmaceutical wastes by alginate supported TiO_2 nanoparticles in packed bed photo reactor (PBPR)," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 121, pp. 263-270, 2015.
- [40] F. Topuz and T. Uyar, "Cyclodextrin-functionalized mesostructured silica nanoparticles for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons," *Journal of colloid and interface science*, vol. 497, pp. 233-241, 2017.
- [41] İ. Ateş ve M. Üce, "Lise öğrencilerinin nanobilim ve nanoteknoloji farkındalığı," *Gazi University Journal of Gazi Educational Faculty (GUGEF)*, c. 37, s. 2, ss. 685-710, 2017.
- [42] B. Alan, "Aerobik depo sahalarında nanomalzemelerin davranışları ve atıkların ayrışma prosesleri üzerindeki etkilerinin araştırılması," Yüksek Lisans tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- [43] H. Örün, "MnO nanopartiküllerinin sentezi, karakterizasyonu ve fotokatalitik prosete uygulaması," Yüksek Lisans tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2018.
- [44] Y. Wang, D. O'Connor, Z. Shen, I. M. Lo, D. C. Tsang, S. Pehkonen, S. Pu and D. Hou, "Green synthesis of nanoparticles for the remediation of contaminated waters and soils: Constituents, synthesizing methods, and influencing factors," *Journal of Cleaner Production*, vol. 226, pp. 540-549, 2019.
- [45] A. Soliemanzadeh and M. Fekri, "The application of green tea extract to prepare bentonite-supported nanoscale zero-valent iron and its performance on removal of Cr (VI): effect of relative parameters and soil experiments," *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 239, pp. 60-69, 2017.
- [46] B. Su, J. Lin, G. Owens and Z. Chen, "Impact of green synthesized iron oxide nanoparticles on the distribution and transformation of As species in contaminated soil," *Environmental Pollution*, vol. 258, pp. 113668, 2020.
- [47] A. A. Romeh and R. A. I. Saber, "Green nano-phytoremediation and solubility improving agents for the remediation of chlorfenapyr contaminated soil and water," *Journal of Environmental Management*, vol. 260, pp. 110104, 2020.
- [48] U. Shanker, V. Jassal and Rani, M, "Green synthesis of iron hexacyanoferrate nanoparticles: potential candidate for the degradation of toxic PAHs," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 5, no.4, pp. 4108-4120, 2017.
- [49] B. Desalegn, M. Megharaj, Z. Chen and R. Naidu, "Green mango peel-nanozerovalent iron activated persulfate oxidation of petroleum hydrocarbons in oil sludge contaminated soil," *Environmental Technology & Innovation*, vol. 11, pp. 142-152, 2018.
- [50] M. Rani and U. Shanker, "Degradation of tricyclic polyaromatic hydrocarbons in water, soil and river sediment with a novel TiO_2 based heterogeneous nanocomposite," *Journal of Environmental Management*, vol. 248, pp. 109340, 2019.

- [51] T. B. Vidovix, H. B. Quesada, E. F. D. Januário, R. Bergamasco and A. M. S. Vieira, "Green synthesis of copper oxide nanoparticles using Punica granatum leaf extract applied to the removal of methylene blue," *Materials Letters*, vol. 257, pp. 126685, 2019.
- [52] Y. Kuang, Q. Wang, Z. Chen, M. Megharaj and R. Naidu, "Heterogeneous Fenton-like oxidation of monochlorobenzene using green synthesis of iron nanoparticles," *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 410, pp. 67-73, 2013.
- [53] M. Martins, C. Mourato, S. Sanches, J. P. Noronha, M. B. Crespo and I. A. Pereira, "Biogenic platinum and palladium nanoparticles as new catalysts for the removal of pharmaceutical compounds," *Water Research*, vol. 108, pp. 160-168, 2017.
- [54] M. Fazlzadeh, K. Rahmani, A. Zarei, H. Abdoallahzadeh, F. Nasiri and R. Khosravi, "A novel green synthesis of zero valent iron nanoparticles (NZVI) using three plant extracts and their efficient application for removal of Cr (VI) from aqueous solutions," *Advanced Powder Technology*, vol. 28, no. 1, pp. 122-130, 2017.
- [55] C. P. Devatha, A. K. Thalla and S. Y. Katte, "Green synthesis of iron nanoparticles using different leaf extracts for treatment of domestic waste water," *Journal of Cleaner Production*, vol. 139, pp. 1425-1435, 2016.
- [56] M. Hocoğlu, "Murt yaprağı (*Myrtus communis*) özütü kullanılarak bakır oksit nanopartiküllerinin yeşil sentezi ve karakterizasyonu: telon blue aglf boyar maddesi adsorbsiyonunun araştırılması," Yüksek Lisans tezi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2017.
- [57] D. A. Demirezen, Y. Ş. Yıldız ve D. D. Yılmaz, "Amoxicillin degradation using green synthesized iron oxide nanoparticles: Kinetics and mechanism analysis," *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, vol. 11, pp. 100219, 2019.
- [58] P. Bhattacharya, S. Swarnakar, S. Ghosh, S. Majumdar and S. Banerjee, "Disinfection of drinking water via algae mediated green synthesized copper oxide nanoparticles and its toxicity evaluation," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 102867, 2019.
- [59] Ü. A. Güler, "Aljinat-TiO₂-alg kompozitinin sentezi ve sulu çözeltilerden tetrasiklin gideriminde kullanılabilirliği ve karakterizasyonu," *Karaelmas Science and Engineering Journal*, c. 6, s. 1, ss. 130-135, 2016.
- [60] B. A. Hemdan, A. M. El Nahrawy, A. F. M. Mansour and A. B. Abou Hammad, "Green sol-gel synthesis of novel nanoporous copper aluminosilicate for the eradication of pathogenic microbes in drinking water and wastewater treatment," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 10, pp. 9508-9523, 2019.
- [61] S. T. Fardood, A. Ramazani, S. Moradi and P. A. Asiabi, "Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using arabic gum and photocatalytic degradation of direct blue 129 dye under visible light," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 28, no. 18, pp. 13596-13601, 2017.
- [62] S. Joseph and B. Mathew, "Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles and the study on catalytic activity in the degradation of dyes," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 204, pp. 184-191, 2015.
- [63] G. Ç. Sümer, "Hava kirliliği kontrolü: Türkiye'de hava kirliliğini önlemeye yönelik yasal düzenlemelerin ve örgütlenmelerin incelenmesi," *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, c. 13, ss. 37-56, 2014.

- [64] R. Çalhan, "Tekstil nano partiküllerinin biyolojik arıtma sisteminde davranışı ve etkileri," Yüksek Lisans tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2012.
- [65] M. Abbasi, F. Saeed and U. Rafique, "Preparation of silver nanoparticles from synthetic and natural sources: remediation model for PAHs," *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 60, no. 1, pp. 012061, 2014.
- [66] N. Gandhi, D. Sirisha, and V. C. Sharma, "Microwave-mediated green synthesis of silver nanoparticles using *Ficus elastica* leaf extract and application in air pollution controlling studies," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, no. 1, pp. 61-72, 2014.
- [67] A. Palliyarayil, P. S. Prakash, S. Nandakumar, N. S. Kumar and S. Sil, "Palladium nanoparticles impregnated activated carbon material for catalytic oxidation of carbon monoxide," *Diamond and Related Materials*, vol. 107, pp. 107884, 2020.
- [68] R. Magudieshwaran, J. Ishii, K. C. N. Raja, C. Terashima, R. Venkatachalam, A. Fujishima and S. Pitchaimuthu, "Green and chemical synthesized CeO₂ nanoparticles for photocatalytic indoor air pollutant degradation," *Materials Letters*, vol. 239, pp. 40-44, 2019.
- [69] I. Karaduman, A. A. Güngör, H. Nadaroğlu, A. Altundaş ve S. Acar, "Green synthesis of γ -Fe₂O₃ nanoparticles for methane gas sensing," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 28, no. 21, pp. 16094-16105, 2017.
- [70] Ü. Şahin, T. Tunç ve S. Örs, "Yeraltı suyu kirliliği açısından atık su kullanımı," *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, c. 4, s. 1, ss. 33-39, 2011.
- [71] A. Toli, A. Varouxaki, C. Mystrioti, A. Xenidis and N. Papassiopi, "Green synthesis of resin supported nanoiron and evaluation of efficiency for the remediation of Cr (VI) contaminated groundwater by batch tests," *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 101, no. 6, pp. 711-717, 2018.
- [72] W. B. Ayinde, W. M. Gitari, M. Munkombwe and S. Amidou, "Green synthesis of Ag/MgO nanoparticle modified nanohydroxyapatite and its potential for defluoridation and pathogen removal in groundwater," *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 107, pp. 25-37, 2018.
- [73] F. Zhu, S. He and T. Liu, "Effect of pH, temperature and co-existing anions on the Removal of Cr (VI) in groundwater by green synthesized nZVI/Ni," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 163, pp. 544-550, 2018.
- [74] F. Zhu, S. Ma, T. Liu and X. Deng, "Green synthesis of nano zero-valent iron/Cu by green tea to remove hexavalent chromium from groundwater," *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 184-190, 2018.
- [75] L. Qian, W. Zhang, J. Yan, L. Han, Y. Chen, D. Ouyang and M. Chen, "Nanoscale zero-valent iron supported by biochars produced at different temperatures: Synthesis mechanism and effect on Cr(VI) removal," *Environmental Pollution*, vol. 223, pp. 153-160, 2017.
- [76] L. Katata-Seru, T. Moremedi, O. S. Aremu and I. Bahadur, "Green synthesis of iron nanoparticles using *Moringa oleifera* extracts and their applications: removal of nitrate from water and antibacterial activity against *Escherichia coli*," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 256, pp. 296-304, 2018.

[77] T. C. Oğuz, “İçme suyu arıtımında yaygın olarak karşılaşılan su kalite problemleri ve arıtımı için çözüm önerileri,” Uzmanlık tezi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kablosuz Erişim Şebekeleri İçin İşbirlikçi Oyun Teorisi İle Şebeke Seçimi

 Mehmet Onur OLGUN^{a,*},  Ulviye SAVAŞ^a

^aEndüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: onurolgun@sdu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.792320

ÖZ

Günümüzde giderek daha popüler hale gelen mobil terminallerin, diğer iletişim araçlarıyla etkili bir şekilde iletişim kurmaları için, hangi şebekeye bağlı olduğunu bilmek çok önemlidir. Bu çalışmada şebeke seçim senaryosunda dört aday şebeke (UMTS, GSM, WLAN, LTE-A) ve altı farklı kritere sahip mobil terminal için dört farklı trafik sınıfı bulunmaktadır. Her trafik sınıfı için hangi seçim kriterlerinin önemli olduğunu bulmak için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. İşbirlikçi oyun teorisi ile aday şebekelerin sahip olduğu ve kullanıcılara sağlayabilecekleri potansiyel kaynak değerleri elde edilmiştir. Kaynakların dağıtımını işbirlikçi oyun teorisi çözüm yöntemlerinden olan Shapley yöntemi ile hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, WLAN şebekesinin tüm trafik sınıflarında en yüksek verimi elde etmek için en iyi seçim olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: İşbirlikçi oyun teorisi, Şebeke seçimi, Shapley değeri, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Network Selection with Cooperative Game Theory for Wireless Access Networks

ABSTRACT

Mobile terminals which are becoming more popular today, to communicate effectively with other communication devices, it is very important to know which network devices are connected. In this study, there are four different candidate networks (UMTS, GSM, WLAN, LTE-A) and four different traffic classes for six different criteria in the network selection scenario. Analytical Hierarchy Process (AHP) method is used to find out which selection criteria are important for each traffic class. Then, with the cooperative game theory used, the potential resource values that candidate networks have and that they will provide to the users have been obtained. Resource allocation is calculated by Shapley method which is an important solution method in cooperative game theory. When the results are analyzed, the WLAN network would be the the best choice for achieving the highest efficiency in all traffic classes.

Keywords: Cooperative game theory, Network selection, Shapley value, Analytic Hierarchy Process (AHP)

I. GİRİŞ

Günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan mobil terminallerin şebeke seçim durumlarına odaklanıldığı zaman karar verme sürecinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri birden fazla alternatif arasından belli kriter veya ölçütlere göre belirlenen amaç doğrultusunda en uygun çözümün seçilmesine yardımcı olmaktadır bu nedenle şebeke seçiminde kullanılması uygundur.

Bu yöntemlerden biri olan ve çalışmada kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yönteminin şebeke seçimi için tercih edilmesini sağlayan en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de öznel olarak karar verme sürecine dahil olmasıdır [1]. Bu süreçte kullanılan AHP yöntemi şebeke seçimi için belirlenen kriter veya ölçütlerin hangisinin daha fazla öneme sahip olduğunu belirlememize yardımcı olmaktadır. Yani elde edilen veriler doğrultusunda bu kriterlerden hangisinin daha önemli olduğu ve işlem sırasında hangi kritere daha fazla öncelik verileceğini belirlemek için kullanılır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde AHP dışında farklı ÇKKV yöntemlerinin de yoğunluklu olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir. Burada bazı çalışmalar örnek olarak incelenebilir. [2] çalışmasında bulanık AHP (BAHP), entropi, TOPSİS olmak üzere üç farklı ÇKKV yöntemi uygulanarak bunun sonucunda şebeke seçimi gerçekleştirilmiştir. [3] de yine bir seçim için kriter ağırlık hesaplamasında AHP, entropi ve standart sapma yöntemleri kullanılmıştır.

Karar verme işleminden sonra uygulanan oyun teorisi, servis sağlayıcılar arasında kurulacak koalisyonlara dayalı iş birliklerinin davranışlarını incelenmesine yardımcı olur [4]. Oyun teorisi, ekonomik birimler arasındaki olası çatışma durumlarını inceleyen matematiksel modellerdir. Oyun teorisi, işbirlikçi olan ve işbirlikçi olmayan oyunlar olmak üzere iki ayrı sınıfa ayrılmaktadır. İşbirlikçi olmayan oyunlar, oyuncuların (ekonomik birimlerin) bireysel oyuncular arasında rekabetçi bir ortamda, yalnızca kendi faydalarını gözeterek kurguladıkları bir durumdur. İşbirlikçi oyunlar ise, oyuncuların işbirliği durumuna gitmesi halinde ortak bir bağlayıcı anlaşma planı oluşturarak aralarındaki pazarlık durumlarını analiz etmeye ve beraber oluşturdukları toplam kazanç ya da kaybın dağıtımının nasıl yapılacağına odaklanır.

Özellikle, her bir olası koalisyonun (işbirliğine giden oyuncuların alt grupları) ortak kazançları her bir oyuncunun işbirliği durumunda koalisyona olan katkısını daha iyi karşılaştırabilmek amacıyla hesaplanır. Bunun yanında uygun ve adil bir dağıtım yöntemi (çözüm) oluşturmak için de katkıları hesaplanmaktadır. Koalisyonun kazanç veya kayıpları, incelenen oyununun koalisyon değerleri olarak düşünülür. Oyun teorisinde oluşan büyük koalisyonun kazanç/kayıplarının adil bir dağıtım için farklı çözüm kavramları kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemler çekirdek, Shapley değeri, nükleolus, τ değeridir. Çekirdek (core) ve Weber kümesi yöntemleri yöntemleri küme çözüm olarak belirlenmiştir ve Shapley değeri, Nükleolus, τ değeri de tek nokta çözüm yöntemleridir.

ÇKKV yöntemleri ile birlikte kullanımı yaygın olan oyun teorisi alanında literatürde ne tür uygulamaların yapıldığının daha rahat anlaşılması açısından bazı çalışmalar incelenmiştir. [5] çalışmasında heterojen bir şebeke ortamında seçim için ağırlık hesaplaması AHP, standart sapma, entropi yöntemleri ile hesaplanarak ardından oyun teorisi ile birlikte kullanılmıştır. [6], Şebekeler için oyun teorisine dayanan bir şebeke seçim algoritması geliştirilmiştir. Ağırlık hesaplamaları AHP yöntemi ile yapılmış ve oyun teorisi kullanarak kaynak sağlayıcılara dağıtılmıştır. Bu çalışma sonucunda önerilen algoritmanın şebeke kullanımının göz önünde bulundurulduğu, gereksiz değişimlerden kaçındığı ve şebeke verimliliğini iyileştirerek kullanıcı gecikmesini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların yanında özelleştirilmiş bazı oyun çeşitlerinin de uygulamalarda kullanıldığı gözlemlenmektedir. [7] de birden fazla kablosuz erişim şebekesine bağlanma sonucu bant genişliği tahsisinde yaşanan bir şebeke probleminin çözümü için N -kişilik bir özel oyun olan iflas oyunu kullanılmıştır. Çekirdek kavramı ve ardından bir bağlantıya ayrılan bant genişliği tahsisi için Shapley değeri yöntemi uygulanmıştır.

Yapılan bu çalışmada şebeke seçiminde, şebekelerin özelliklerinin, analitik hiyerarşi prosesi ile nasıl ağırlıklandırıldığını ve ardından işbirlikçi oyun teorisi ile heterojen bir şebeke ortamında kablosuz erişimler için şebeke seçimlerinde kaynak tahsisinin nasıl belirleneceğini incelemek için uygun dağıtım çözümlerinin elde edilmesi için kullanılmıştır [3]. Kazanç/kaybın adil tahsis değerlerini hesaplarken kullanılabilir Shapley değeri, oyuncuların işbirliği yapmaları durumunda şebekelerin ne kadar fayda(kaynak) sağladığını gösterir. Bu kaynak dağıtım problemi özel bir N -kişili işbirlikçi oyun olan iflas oyunları ile modellenmiştir. Literatürde şebeke seçimi için alternatifler arasından belirli kriterlere göre işbirlikçi oyun teorisi yöntemlerinden Shapley dağıtım metodu kullanılarak yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özetle bu çalışma ile asıl amaçlanan, ulusal düzeyde yayınlanmış literatür çalışmaları incelendiğinde gelişim sürecinin başında olan bu çalışma alanı için öncü bir çalışma ortaya koyabilmektir.

II. MATERYAL VE METOT

Analitik hiyerarşi prosesi Thomas Saaty (1980) tarafından önerilmiş bir yaklaşımdır. Karmaşık durumlarda karar vermeyi kolaylaştırmak veya konu ile ilgili parametrelerin önceliğini belirlemeye yardımcı olmak için kullanılır. Karar verme sürecinde AHP, birden fazla kritere sahip olduğunda, karmaşıklığı azaltmak için kriterlerin karşılaştırmasından elde edilen sonuçlar sayesinde öncelik sırasını belirler ve hangi adayın seçilmesi gerektiğinin karar verilmesi aşamasına yardımcı olur. AHP aynı zamanda karar alma seçimlerinin tutarlılığını kontrol etmeninde bir yöntemidir. Bu da karar alma sürecindeki önyargıyı azaltmaktadır.

AHP, kriterlerin ikili olarak karşılaştırılması sonucu her kriter için bir ağırlık alır. Bu ağırlık, kriterin önemini gösterir. Her kriter için AHP, karar vericilerin bu kriterlerin ikili karşılaştırmasına dayanarak her karşılaştırma değerine bir puan verir. Seçilen kriter diğer kriterle karşılaştırıldığında atanan puan değeri ne kadar yüksek olursa, seçilen kriterin önemi o kadar yüksek olur. Bu hesaplamalardan sonra AHP, her kriter için bir puanlama yaparak ve sonuç olarak bir sıralama yaparak, kriterler için ağırlıklarını elde eder ve bu ağırlıklar yardımıyla önem sırasını oluşturur [8].

AHP kriterlerinin ağırlıklarının hesaplaması için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturur. Bu ikili karşılaştırma matrisleri T. Saaty tarafından geliştirilen 1'den 9'a kadar olan sayısal bir ölçeğe göre oluşturulur. Bunun sonucunda N matrisi elde edilir. Matris N oluşturulduktan sonra, normalize edilmiş çift taraflı karşılaştırma matris N_{norm} elde edilir. Son olarak, w (vektör boyutlu bir sütun vektörü olan) ağırlık vektörü kriterleri, N_{norm} 'un her bir sırasındaki elemanların ortalaması alınarak oluşturulur [9].

Analitik hiyerarşi prosesi her ne kadar tutarlı bir yöntem olsa da işleme alınan değerler kullanıcıya göre değişmekte yani, karar vericinin ne kadar tutarlı olduğu ile ilgilidir. Bu nedenle yapılan çalışmanın tutarlılığının ölçülebilmesi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanması gerekmektedir. Tutarlılık oranı bize öncelik vektörü ve alternatifler arasında yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılığını gösterecektir. CR hesaplaması için öncelikle temel değer (λ) hesaplanmalıdır. Temel değer için D matrisi, $D = [d_{ij}]_{m \times n}, d_{ij} > 0 (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ eş. (1) ile elde edilir.

$$D = A \times w_j \quad (1)$$

D matrisi elde edildikten sonra her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) eş. (2) ve (3)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$E_j = \frac{d_j}{w_j} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_j}{n} \quad (3)$$

λ hesaplanmasından sonra tutarlılık göstergesi olan CI değeri eş. (4) ile hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4)$$

Rassal gösterge olarak adlandırılan RI değeri Tablo 1'e göre elde edilmektedir ve ardından CR değeri eş. (5)'e göre elde edilmektedir. Hesaplanan CR değerinin 0.10 dan küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0.10' dan büyük olması ya AHP' deki bir hesaplama hatasını ya da karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Tablo 1. RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24

Şebekeler farklı özelliklere yani farklı kriterlere sahiptir. Şebeke özelliklerinin bazıları fayda (kazanç) eğilimli, diğerleri de kayıp (maliyet) eğilimlidir. Bu nitelikler, en küçük en iyi sınıfına ait olan ve mümkün olduğunca en düşük olmaları istenen maliyet, gecikme ve paket kaybı oranıdır. Öte yandan, mevcut bant genişliği ve güvenlik gibi bazı niteliklerin büyük en iyi olan sınıfa aittir ve fayda odaklı olmalarından dolayı en yüksek değere sahip olmaları istenir. Verilen özelliklerdeki farklılıklar nedeniyle normalizasyon işlemi gerekli bir hesaplamadır.

$N_{setiN} = \{N_1, \dots, N_m\}$, alternatif şebekeleri, yani aday şebekeleri, m 'nin toplam aday şebeke sayısını temsil ettiğini göstermekte ve normalizasyon aşağıdaki kurallara göre yapılmaktadır.

Bir T matrisi $T = [t_{ij}]_{m \times n}, t_{ij} > 0 (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$, t_{ij} aday şebekenin j . şebeke niteliğinin (kriterin) değerini temsil etmek amacıyla tanımlanmıştır. T matrisi her bir kriter için, aday şebekelerin ikili karşılaştırması sonucu elde edilen ağırlık değerleri ile oluşturulmaktadır.

En büyük en iyi matrislerinin elde edilmesi için $L = [l_{ij}]_{m \times n} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ matrisi göz önünde bulundurulmaktadır. Bu matris oluşturmak için eş. (6)-(7) kullanılır:

t_{ij} en küçük en iyi sınıfındaysa;

$$l_{ij} = 1 / t_{ij} \quad (6)$$

t_{ij} en büyük en iyi sınıfındaysa;

$$l_{ij} = t_{ij} \quad (7)$$

olur. En büyük en iyi matrisinin normalize edilmesi için L 'deki elemanların boyutları, eş. (8)'e göre sütun sütun çıkarılmıştır.

$$h_{ij} = \frac{l_{ij}}{\max\{l_{ij} | 1 \leq i \leq m + \min\{l_{ij} | 1 \leq i \leq m\}} \quad (8)$$

Daha sonra, eş. (9)'a göre elde edilen nihai normalleştirilmiş sonucu belirtmek için bir $K = [k_{ij}]_{m \times n}, k_{ij} \neq 0 (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ matrisi sunulmuştur.

$$k_{ij} = \frac{h_{ij}}{\sum_{i=1}^m h_{ij}} \quad (9)$$

K matrisindeki öğelerin, bir dereceye kadar aday şebekelerin sahip olduğu kaynak değerleri olarak görülebileceği önemli bir noktadır. Örneğin, elemanların değeri büyüdükçe, şebekelerin sahip olduğu kaynak değeri daha fazla olarak varsayılmaktadır. Sonuç olarak, her aday için elde edilen potansiyel kaynak değer K matrisinde elde edildiğinden, potansiyel kaynak matrisi (PKM) olarak adlandırılır [6].

A. ŞEBEKE SEÇİMİ İÇİN İFLAS OYUNU MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Şebeke seçimi sürecinde, her aday şebekenin kaynak potansiyelini değerlendirmek için N -kişili özel bir işbirlikçi oyun olan iflas oyunları dikkate alınmıştır. İflas oyununun içeriğine bakıldığında, oyunda iflas etmiş bir şirket ve birden fazla alacaklı vardır. Ancak alacaklılardan gelen taleplerin toplamı, iflas eden şirketin toplam kaynak değerinden daha yüksektir. Buna ek olarak, iflas eden bir oyunda her zaman işbirliği vardır. Bu şekilde oyuncular kendi kazancından daha fazlasını elde etmeyi amaçlar. İflas oyununda her oyuncu kendi payı için kaynak değerlerine karşılık gelen karakteristik (kazanç/kayıp) fonksiyonları bulunur.

İşbirlikçi oyunlarının çözümünü elde etmek için literatürde bir çok farklı yöntem vardır. Bu çalışmada adil bir kaynak dağıtımı yapabilmek için Shapley değeri yöntemi kullanılmıştır. İflas oyununun şebeke seçimine uyarlanabilmesi için, oyuncular şebeke seçimindeki aday şebekelerle eşleştirilmiştir. Aday şebekeler arasında kurulan koalisyonlar, her aday şebekenin ne kadar potansiyel kaynak değerine sahip olduğunu görmek amacıyla kurulmuştur. Her aday şebeke için potansiyel kaynak değerleri (PR), Shapley değeri metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

$K^* = [k_1^*, \dots, k_n^*]$ kümesi, mobil kullanıcı tarafından istenen kaynak sırasını belirme amacıyla tanımlanmıştır. Burada $k_j^* (j = 1, \dots, n)$ istenen j sütununun kaynak matrisindeki değeridir. k_j^* , eş. (10)'a göre elde edilmektedir.

$$k_j^* = \max\{k_{ij}, i = 1, \dots, m\}, j = 1, \dots, n \quad (10)$$

Koalisyon S, N 'nin bir alt kümesidir (yani, $S \subset A$). Oyunun koalisyon formu, $(v, v: 2^m \rightarrow R)$ oyunun karakteristik bir işlevi olduğu ve oyunda m aday şebekesi olan 2^m koalisyonun bulunduğu (A, v) çifti olarak tanımlanmaktadır. Burada, her koalisyon için düşünülen kazanç değeri, eş. (11)'deki karakteristik kazanç fonksiyonu ile elde edilmektedir.

$$v_j(S) = \max(0, k_j^* - \sum_{i=1, N_i \notin S}^m k_{ij}), j = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$v_j(\emptyset) = 0, \quad v_j(A) = k_j^*$$

Tüm olası koalisyonlar için karakteristik fonksiyon değeri elde edildikten sonra, her adayın kullanıcıya sağlayacağı kaynak potansiyel değeri olan PR değeri işbirlikçi oyun teorisi çözüm yöntemlerinden Shapley değeri ile hesaplanmıştır. Shapley değeri bir koalisyon için elde edilmiş olan toplam kazancı, koalisyonu oluşturan tüm oyunculara eşit şekilde dağıtan adil bir tahsis yöntemidir. Şebeke seçim sürecinde oyuna dahil olan n çeşit kaynak vardır. Oyunun Shapley değeri, $G = \langle N, v(i) \rangle i \in N$ de her oyuncu için eş. (12) ve (13) kullanılarak hesaplanabilir [6][9].

$$\varphi_i(G) = \frac{1}{|N|!} \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} |S|! (|N| - |S| - 1)! [v(S \cup \{i\}) - v(S)] \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^m \varphi_{ij} = k_j^*, \quad j = 1, \dots, m \quad (13)$$

Şebeke seçiminde, iflas oyunundaki gösterimlere karşılık gelen gösterimler Tablo 2'de gösterildiği gibidir.

Tablo 2. İflas oyunu ve şebeke seçimi için parametreler

Değişkenler	İflas Oyunu	Şebeke Seçim Problemi
m	Varlık dağılımı yapılacak toplam oyuncu sayısı	Toplam şebeke sayısı
N	Alacaklı olan oyuncuların kümesi	Şebekelerin kümesi
k_j	Tahsis değeri (varlık)	İstenen kaynak değeri
k_{ij}	i. oyuncunun talep değeri	i. şebekenin sahip olduğu kaynak değeri
v_{ij}	i. oyuncunun aldığı tahsis değeri (kaynak)	i. şebekenin aldığı potansiyel kaynak değeri

B. ADAY ŞEBEKELERİN SIRALANMASI

Birden fazla kriterin ağırlıkları AHP yöntemiyle hesaplanırken, her aday şebekenin de mobil kullanıcılara sağladığı potansiyel kaynakdeğerleri de iflas oyunu modelindeki dağıtım yöntemleriyle hesaplanmıştır. Şebekeler için bir öncelik sırası, AHP ve iflas oyunda hesaplanan değerlerin bir kombinasyonu ile elde edilir ve şebekelerin potansiyel katkısı (PC) ve potansiyel katkısı oranı (PCR) hesaplanır. Eş. (14) ve (15)'deki gibi hesaplanırlar [6].

$$PC_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}, \quad i = 1, \dots, m \quad (14)$$

$$PCR_i = \frac{PC_i}{\sum_{i=1}^m PC_i} \times 100\% \quad (15)$$

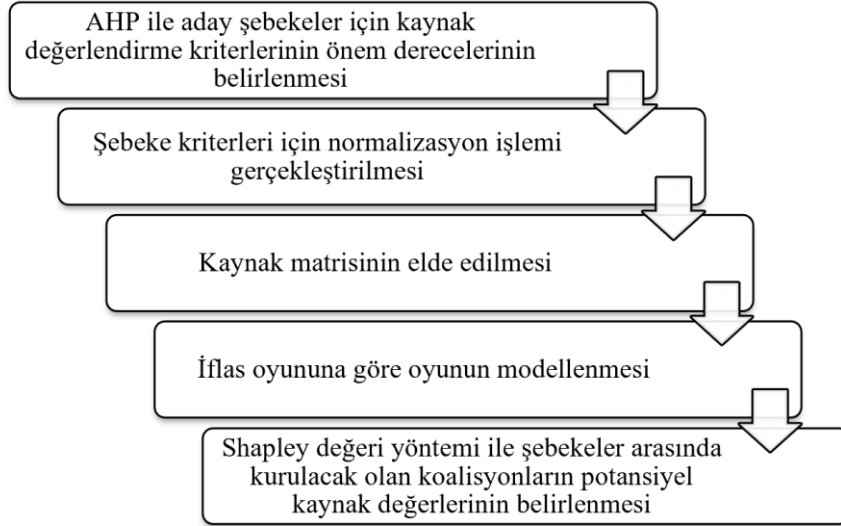
III. UYGULAMA

Bu çalışmada mobil terminallerin şebeke seçimleri göz önünde bulunarak bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulamada, GSM (Mobil İletişim için Global Sistem), UTM'ler (Urchin izleme modülü), LTE-A (Uzun Vadeli Gelişim-Gelişmiş), WLAN, (Kablosuz Yerel Alan Şebekesi) şebekelerinden oluşmaktadır. Dört farklı aday şebekenin yerel şebeke alanlarında bulunan mobil terminal (MT), alanların ortasında sabit bir hızda rasgele hareket eder. Burada, mobil terminal (MT); konuşma, akış, etkileşimli ve arka plan dahil olmak üzere dört farklı tipik trafik sınıfı vardır. Her alternatif şebekelerin karşılaştırma kriterleri; mevcut bant genişliği (B), gecikme süresi (T), gecikme titreşimi (G), paket kaybı oranı (R), bit hata oranı (E) ve servis fiyatı (P)'dir. Sonuç olarak, heterojen bir şebeke seçimi senaryosu; aday şebekeler kümesi Şebekeler = {GSM, UMTS, LTE-A, WLAN}, karar göstergeleri seti (yani şebeke özellikleri) = {B, T, G, R, E, P}, trafik sınıfı, Trafik Sınıfları = {Konuşma sınıfı, etkileşimli sınıf, kesintisiz işlem sınıfı, arka plan sınıfı}, bu kümeler tarafından temsil edilir. Uygulama sürecinde, aday şebekeler için her bir kriterin ölçüm değerleri sürekli değişmektedir. bu nedenle her kriter için bir aralık değeri belirlenmiş ve bu değerlerin ortalamaları alınmıştır. Bu değerler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo3.Şebeke parametreleri

Şebekeler	B/Mbps	T/ms	G/ms	R/%	E/%	P
GSM	0,3	30 (10~60)	15 (10~40)	0,5 (0,3~1,4)	0,03 (0,01~0,05)	0,4
UMTs	1,1	45 (40~80)	30 (25~60)	0,9 (0,7~2,2)	0,05 (0,04~0,09)	0,3
LTE-A	2,0	60 (70~110)	50 (45~80)	1,2 (0,8~2,3)	0,10 (0,08~0,12)	0,2
WLAN	5,0	85 (90~140)	65 (60~100)	1,6 (0,9~2,4)	0,20 (0,10~0,35)	0,1

Bölüm II’de anlatılan hesaplamaların bir örnek üzerinde nasıl uygulandığının daha kolay anlaşılabilmesi açısından uygulamanın akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. Kısaca özetlenecek olursa burada ilk olarak AHP için aday şebekeler arasındaki değerlendirme kriterlerinin önem derecesi belirlenmiştir. Ardından normalizasyon işlemleri ile kaynak matrisi elde edilmiştir. Bu değerlere göre iflas oyunu temelli oyun modellenmiş ve ardından şebekelerin potansiyel kaynak değerlerinin hesaplanması için Shapley değeri yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 1. Uygulama akış şeması

Şebeke özelliklerinin ağırlığını ve kullanıcının tercihlerinin fayda değerlerini hesaplamak için, ilk olarak, MT tarafından oluşturulan ölçüt matrisinin ağırlıkları AHP yöntemiyle hesaplanmaktadır. Daha sonra, Shapley metodunu kullanarak, her bir şebekenin ne kadar kaynak potansiyeline sahip olduğuna bakılarak, her bir kriterin ağırlığını dikkate alacak bir sıralama yapılmıştır. Bu dizilim, hangi şebekenin birden fazla kriter altında daha faydalı olacağını göstermektedir.

Kullanıcı tercihlerinin öznel ağırlık değerlerinin hesaplamak için ikili karşılaştırma matrislerinde x_i ve x_j 'nin önemini karşılaştırmak için kullanılan 1-9 ölçeği Tablo 4’te gösterildiği gibi kullanılmıştır. Karşılaştırma matrislerinde tablodaki değerler aşağıdaki gibidir.

Tablo 4. Karşılaştırma matrislerinin elemanları için önem dereceleri

x_i ve x_j 'nin önem derecesi karşılaştırması	Eşit önemli	Orta derece önemli	Çok önemli	Özellikle daha önemli	Aşırı önemli
a_{ij}	1	3	5	7	9

Trafik sınıfındaki her bir alt sınıfın karşılaştırılması için dört farklı karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Dört matris sırasıyla AC , AS , AI , AB olarak vedahasonra Tablo 5-8’de gösterildiği gibi WA_C , WA_S , WA_I , WA_B ile gösterilen ağırlık değeri ile belirtilir [4]. Ağırlık değerlerinin hesaplanması için kullanılan ikili karşılaştırma matrisleri ve önem dereceleri [4] referanslı çalışmadaki karar vericinin yapmış olduğu değerlendirmelerden elde edilmiştir.

Tablo 5. Konuşma özelliği için ağırlık matrisi

	B	T	G	R	E	P	WA_C
B	1	0,14	0,20	0,33	0,33	1	0,0448
T	7	1	3	5	5	7	0,4441
G	5	0,33	1	4	4	5	0,2591
R	3	0,20	0,25	1	1	3	0,1036
E	3	0,20	0,25	1	1	3	0,1036
P	1	0,14	0,20	0,33	0,33	1	0,0448

Tablo 6. Kesintisiz işlem özelliği için ağırlık matrisi

	B	T	G	R	E	P	WA_S
B	1	0,25	3	5	3	4	0,2130
T	4	1	5	9	5	7	0,4771
G	0,33	0,20	1	4	1	3	0,1118
R	0,20	0,11	0,25	1	0,25	0,50	0,0342
E	0,33	0,20	1	4	1	3	0,1118
P	0,25	0,14	0,33	2	0,33	1	0,0522

Tablo 7. Etkileşim özelliği için ağırlık matrisi

	B	T	G	R	E	P	WA_I
B	1	5	6	0,33	0,33	1	0,1427
T	0,2	1	3	0,17	0,17	0,2	0,0487
G	0,17	0,33	1	0,11	0,11	0,17	0,0265
R	3	6	9	1	1	3	0,3197
E	3	6	9	1	1	3	0,3197
P	1	5	6	0,33	0,33	1	0,1427

Tablo 8. Arka plan özelliği için ağırlık matrisi

	B	T	G	R	E	P	WA_B
B	1	0,5	1	0,14	0,11	1	0,0452
T	2	1	2	0,17	0,14	2	0,0781
G	1	0,5	1	0,14	0,11	1	0,0452
R	7	6	7	1	0,5	7	0,3197
E	9	7	9	2	1	9	0,4666
P	1	0,5	1	0,14	0,11	1	0,0452

Tablo 5-8'de verilmiş olan ağırlık hesaplaması için tutarlılık oranı eş. (5)'e göre hesaplanmış ve aşağıda gösterilmiştir. Bu hesaplama sonucunda her trafik sınıfı için hesaplanan CR değeri 0,10'dan küçük olduğu için karşılaştırmaların tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Değerler tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Trafik sınıflarının CR değerleri

CR_K (Konuşma sınıfı)	0,0370
CR_{KI} (Kesintisiz işlem)	0,0407
CR_E (Etkileşim özelliği)	0,0372
CR_A (Arka plan özelliği)	0,0106

Her bir kriter için ayrı olarak aday şebekelerin ikili karşılaştırma matrislerinin normalizasyonundan yararlanılmıştır. Kurulacak oyunda kullanılmak üzere amaç en büyük en iyi matris değerlerinin elde edilmesidir. Bu ikili karşılaştırma matrisine örnek olarak B kriteri için aday şebekelerin ikili karşılaştırma matrisi ve hesaplanan ağırlık değeri Tablo 10'da gösterildiği gibidir.

Tablo 10. B kriteri için aday şebekelerin ikili karşılaştırma matrisi

	GSM	UTMS	LTE-A	WLAN	WPb
GSM	1	0,25	0,17	0,14	0,0517
UTMS	4	1	0,25	0,25	0,1339
LTE-A	6	4	1	0,5	0,3306
WLAN	7	4	2	1	0,4837

Her kriter için aday şebekelerin ikili karşılaştırma matrislerinden hesaplanan ağırlık değeri ile elde edilen T matrisi Tablo 11'de gösterildiği gibidir.

Tablo 11. Potansiyel kaynak matrisi

	B	T	G	R	E	P
GSM	0,051	0,523	0,164	0,520	0,520	0,186
UTMS	0,133	0,271	0,393	0,268	0,268	0,137
LTE-A	0,330	0,146	0,393	0,140	0,140	0,049
WLAN	0,483	0,058	0,048	0,070	0,070	0,627

Elde edilen T matrisinde sadece B kriterlerinin maksimum değere ayarlanması ve bu kriter için normalizasyon işleminin eş. (7)'de olduğu gibi en iyi matris kurallarına göre oluşturulması gerekmektedir.

Tablo 13. En iyi en büyük matrisi

	B
GSM	0,0517
UTMS	0,1338
LTE-A	0,3306
WLAN	0,4837

Normalizasyon işleminden sonra; eş. (10) ile, k_j^* değeri 0,4837 olarak hesaplanmıştır. Ve sonra eş. (11), karakteristik fonksiyonlar hesaplanır ve Tablo 13'de bulunan koalisyon değerleri elde edilir.

Tablo 13. Koalisyonların karakteristik fonksiyon değerleri

$v(\emptyset) = 0$	$v(4) = 0$	$v(1,2) = 0,0192$	$v(124) = 0,1531$
$v(1) = 0$	$v(1,2) = 0$	$v(2,4) = 0,1014$	$v(134) = 0,3499$
$v(2) = 0$	$v(1,3) = 0$	$v(3,4) = 0,2981$	$v(234) = 0,4320$
$v(3) = 0$	$v(2,3) = 0$	$v(123) = 0,1531$	$v(1234) = 0,4837$

Eş. (12) - (14) ile karakteristik fonksiyondan elde edilen koalisyon değerlerini kullanarak shapley değerleri hesaplanır. Hesaplama sonucu Tablo 14'te verilmektedir. $x(S)$, Shapley değerleri yöntemi ile elde edilen değerleri gösterir.

Tablo 14. Shapley değeri çözümleri sonuçları

Aday Şebekeler (Oyuncular)	$x(S)$
GSM	0,0359
UTMS	0,0770
LTE-A	0,1754
WLAN	0,1954

A. ŞEBEKE SEÇİMİNİN YAPILMASI

Hesaplamalar sonucu edilen en büyük en iyi matrisinde, eş. (3) ve (4). kullanılmıştır. En büyük iyi matrisin normalizasyon işlemlerinden sonra eş. (6)'yı kullanarak her bir potansiyel şebekenin sağlayabileceği kaynak potansiyel değerlerini hesapladık. En büyük en iyi matrisini oluşturan B kriterinin ağırlık değerlerinin ve Shapley değeriyle elde ettiğimiz değerlerin birleşimi için eş. (14) ve (15) kullanılmış, bunun sonucunda elde edilen, her özellik için seçilen en iyi şebeke Tablo 15'te gösterilmektedir. PC değerleri sırası ile GSM, UTMS, LTE-A, WLAN şebekelerini temsil etmektedir.

Her özellik için incelendiğinde en iyi şebeke tercihinin PC4 yani WLAN olduğu bulunmuştur. Her özellik için PC4 seçiminin yapılması sadece o şebekenin öneminin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda WLAN şebekesi seçilmiştir.

Tablo 15. En iyi aday şebekenin seçilmesi

	Konuşma Sınıfı	Kesintisiz İşlem Sınıfı	Etkileşim Sınıfı	Arka Plan Sınıfı
PC1(GSM)	0,0016	0,0076	0,0051	0,0016
PC2(UTMS)	0,0034	0,0164	0,0110	0,0035
PC3(LTE-A)	0,0079	0,0374	0,0250	0,0079
PC4(WLAN)	0,0088	0,0416	0,0279	0,0088
	0,0088	0,0416	0,0279	0,0088
	PC4	PC4	PC4	PC4

B. DUYARLILIK ANALİZİ

III. bölümde yapılmış olan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerin hangi durumlarda değişiklik gösterdiğinin bulunması açısından üç farklı senaryo daha değerlendirilmiştir. Bu senaryolar Tablo 13'te en yüksek değere sahip olması beklenen kriter değerinin ağırlıklarının değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Oluşturulan üç farklı senaryo durumu için kullanılacak olan B kriterinin ağırlık değerleri Tablo 16'da gösterildiği gibidir.

Tablo 16. Üç farklı senaryo durumuna ait B kriterinin ağırlık değerleri

	Ağırlık Değeri	Senaryo 1	Senaryo 2
GSM	0,0517	0,4837	0,4837
UTMS	0,1339	0,1339	0,3307
LTE-A	0,3307	0,3307	0,1339
WLAN	0,4837	0,0517	0,0517

Tablo 16'da verilen iki farklı senaryo incelenecek olursa; senaryo 1'de, uygulamada hesaplanan ağırlık değerlerinden en yüksek ve en düşük ağırlık değerine sahip olan GSM ve WLAN ağırlık değerleri kendi aralarında değiştirilmiştir. Senaryo 2 için yine GSM ile WLAN ağırlık değerleri kendi arasında

yer değiştirmiş buna ek olarakta UTMSveLTE-A ağırlık değerleri de kendi aralarında yerdeğiştirmiştir.

Uygulama bۆlümünde kullanılan eş. (7)-(11), bahsedilen iki farklı senaryo için de uygulanmış ve PC değerleri hesaplanmıştır. Her bir senaryo için PC değerleri yani her bir trafik sınıfı için seçilen şebekeler Tablo 17-18’de gۆsterildięi gibidir.

Tablo 17. Senaryo 1 için şebeke seçimi

	Konuşma Sınıfı	Kesintisiz İşlem Sınıfı	Etkileşim Sınıfı	Arka Plan Sınıfı
PC1(GSM)	0,0102	0,0483	0,0324	0,0102
PC2(UTMS)	0,0070	0,0332	0,0222	0,0070
PC3(LTE-A)	0,0026	0,0122	0,0082	0,0026
PC4(WLAN)	0,0020	0,0093	0,0062	0,0020
	0,0102	0,0483	0,0324	0,0102
	PC1(GSM)	PC1(GSM)	PC1(GSM)	PC1(GSM)

Tablo 18. Senaryo 2 için şebeke seçimi

	Konuşma Sınıfı	Kesintisiz İşlem Sınıfı	Etkileşim Sınıfı	Arka Plan Sınıfı
PC1(GSM)	0,0102	0,0483	0,0324	0,0102
PC2(UTMS)	0,0070	0,0332	0,0222	0,0070
PC3(LTE-A)	0,0026	0,0122	0,0082	0,0026
PC4(WLAN)	0,0020	0,0093	0,0062	0,0020
	0,0102	0,0483	0,0324	0,0102
	PC1(GSM)	PC1(GSM)	PC1(GSM)	PC1(GSM)

Tablo 17 ve 18 incelendiğinde her iki senaryo için de hesaplamalar sonucunda PC1 yani GSM aday şebekesi seçilmiştir.

IV. SONUÇ

şebeke seçimi, cihazların daha verimli çalışması için mobil terminaller için ۆnemli bir konudur. Bu nedenle, bu çalışmada şebeke seçiminde, AHP yۆntemi ve oyun teorisinde Shapley değeri yۆntemi ile birden fazla aday şebeke birden fazla kriter altında değerlendirildiğinde, aday kriterlerde her kriterin ۆnemini belirlemek için fayda değerleri kullanılmıştır.

şebeke seçimi için kullanılacak olan PC değerlerinin karşılaştırılmasının yapılması için tۆm trafik ۆzellikleri için en verimli kullanım şebekesini en yۆksek değerde hesaplanan PC4 yani WLAN olarak bulunduğu gۆzlenmiřtir. Buna ek olarak hesaplamalarda kullanılan B kriterinin ağırlık değerlerinin değişmesinin sonucu nasıl etkileyeceğini gۆzlemlemek amacı ile duyarlılık analizinde iki farklı senaryo durumu incelenmiştir. Bu senaryolarda elde edilen PC değerleri incelenecek olunursa, ağırlık değerlerinin değişmesi seçilen PC yani seçilen aday şebekeyi de etkilemektedir. Kriter ağırlık değerlerindeki değişimler gۆz ۆnüne alındığında senaryo 1 ve 2 için sadece tek fark UMTS ve LTE-A değerlerindeki değişimdir. Bu iki aday şebeke için B kriterinin ağırlık değerinin değişmesi sonucunda elde edilen PC değerlerinde bir farklılık gۆzlemlenmemiřtir. Bۆylelikle, B kriteri için UMTS ve LTE-A değerlerindeki değişim sonucu etkilememektedir.

Bu sonuçlar çerçevesinde gelecekte yapılacak olan çalışmalar için işbirlikçi oyun teorisinde kullanılan Nۆkleolus, çekirdek kۆmesi gibi yۆntemler şebeke seçiminde kullanılabilir. Mobil terminaller için

farklı kriterlerin göz önünde bulundurularak işlem yapılması, farklı trafik sınıfları kullanılması veya farklı şebeke türleri ile bağlantı kurarak işlenmeleri gibi çalışmalar yapılabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Munjal ve N.P. Singh, “Utility aware network selection in small cell,” *Wireless Networks*, vol. 25, no. 5, pp. 2459-2472, 2019.
- [2] S. Uzun ve H. Kazan, “Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, TOPSİS ve PROMETHEE karşılaştırması: Gemi inşada ana makine seçimi uygulaması,” *Journal of Transportation and Logistics*, c. 1, s. 1, ss. 99-113, 2016.
- [3] X. Cai, X. Liu ve Z. Qu, “Game theory-based device-to-device network access algorithm for heterogeneous networks,” *Journal of Supercomputing*, vol. 75, no. 5, pp. 2423-2435, 2019.
- [4] H.W. Yu ve B. Zhang, “A heterogeneous network selection algorithm based on network attribute and user preference,” *Ad Hoc Networks*, vol. 72, pp. 68-80, 2018.
- [5] M. Munjal ve N.P. Singh, “Improved network selection for multimedia applications,” *Transaction on Emerging Telecommunication Technologies*, Wiley, vol. 28, no. 5, pp. 1-16, 2016.
- [6] T. Liu Bin, W. Hui ve F.B. Bin, “AHP and game theory based approach for network selection in heterogeneous wireless networks,” *IEEE 11th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 2014.
- [7] D. Niyato ve E. Hossain, “A cooperative game framework for bandwidth allocation in 4G heterogeneous wireless networks,” *IEEE International Conference on Communications*, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [8] T. L. Saaty, “Decision making with the analytic hierarchy process,” *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83-98, 2008.
- [9] T.L. Saaty, “How to make a decision: The analytic hierarchy process,” *European Journal of Operational Research*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990.
- [10] H. Karabacak, *Herkes İçin Oyun Teorisi*, 1. baskı Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2016.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Doğanşehir-Eskiköy (Malatya) Bölgesindeki Neojen Yaşlı (?) Volkanik Kayaçların Petrografik, Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri

 Mehmet Ali ERTÜRK^{a,*},  Hatice KARA^a,  Abdullah SAR^a

^a*Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE*

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

DOI:10.29130/dubited.887363

Öz

Bu çalışmada Eskiköy-Doğanşehir (Malatya) bölgesindeki Neojen (?) yaşlı volkanik kayaçlarının petrografik ve jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma bölgesi Permo-Triyas yaşlı Malatya metamorfileri, Üst Kretase yaşlı Berit ofiyoliti, Erken-Orta Eosen yaşlı Doğanşehir, Polat-Begre granitoidi, Neojen (?) yaşlı volkanitler ve Plio-Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır. İncelenen volkanik kayaçlar Permo-Triyas yaşlı Malatya metamorfik kayaçlarını sıcak dokanakla keserek yüzeylemişlerdir. Dasit ve riyolit bileşimindeki volkanitler başlıca plajiyoklas, sanidin, kuvars, biyotit ve amfibol minerallerinden oluşurlar. Söz konusu volkanitler kalk-alkali ve yüksek-K kalk-alkali karaktere sahiptirler. Primitif mantoya normalize edilmiş çoklu element ve kondrite normalize edilmiş nadir toprak element değişim diyagramında büyük iyon yarıçaplı litofil elementleri ve hafif nadir toprak elementleri zenginleşme göstermektedir ve yitime bağlı olarak okyanusal kabuktan türeyen çözeltiler tarafından metasomatize edilmiş bir mantodan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeokimya, Malatya, Neojen volkanitleri, Petrografi

Petrographic, Geochemical and Petrological Characteristics of Neogene (?) Volcanics in the Doğanşehir-Eskiköy (Malatya) Region

ABSTRACT

In this study, petrographic and geochemical properties of Neogene (?) volcanic rocks in Eskiköy-Doğanşehir (Malatya) region were investigated. The study area consists of Permo-Triassic Malatya metamorphics, Late Cretaceous Berite ophiolite, Early-Middle Eocene Doğanşehir, Polat-Begre granitoids, Neogene (?) volcanics, and Plio-Quaternary alluviums. The investigated volcanic rocks exposed the Permo-Triassic Malatya metamorphic rocks by cutting with hot contact. Volcanics in dacite and rhyolite composition mainly consist of plagioclase, sanidine, quartz, biotite and amphibole minerals. These volcanics have calc-alkali and high-K calc-alkali characters. In the primitive mantle normalized multi-element and chondrite-normalized rare earth element variation diagram, large ion lithophile elements and light rare earth elements show enrichment and are thought to be caused by a mantle metasomatized by solutions derived from the oceanic crust due to subduction.

Keywords: Geochemistry, Malatya, Neogene volcanics, Petrography

I. GİRİŞ

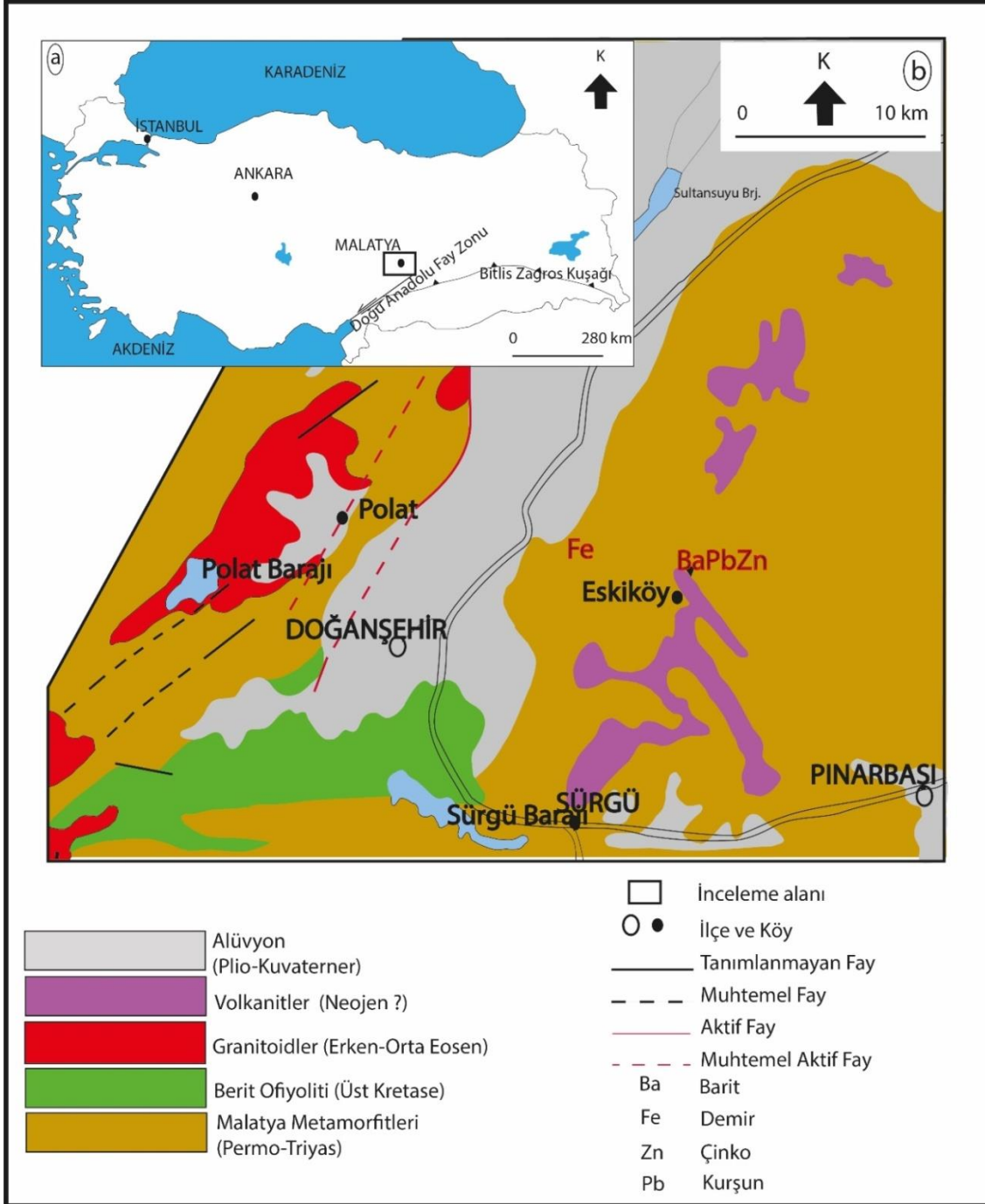
Torid-Anatolid Platformu ile Arap Platformu arasında yer alan Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı, Alp-Himalaya sisteminin en karmaşık segmentlerinden biridir [1-3]. Toridler, Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağının bir parçasıdır ve sürekli fakat düzgün olmayan bir kuşak olarak Batı Anadolu'dan Akdeniz kıyısına paralel olarak uzanıp, Doğu ve Güney Anadolu'da ise kuzeydoğudan doğu-batıya ve güneydoğuya dönen bir yay oluşturur. Doğu Anadolu Bölgesi (DAB), Torid-Anatolid platformunun doğusunda, neotektonik dönemde tanımlanan bir kuşaktır [4-5]. Bu kuşak, Şengör [1] tarafından Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi olarak tanımlanmıştır. Pearce vd. [6], Arap ve Anadolu levhalarının çarpışması sonucu geliştiği için bu kuşağı Doğu Anadolu Çarpışma Zonu olarak adlandırmıştır. DAB'ın jeodinamiği ve volkanik evrimi günümüzde halen tartışmalı bir konu olup, bölgede volkanik faaliyetin Miyosen'de neotektonik dönem ile başladığı düşünülmektedir [4]. Volkanlar çoğunlukla açılma çatlaklarını kendilerine çıkış yolu olarak belirlemiş ve yeryüzüne yerleşmişlerdir. DAB'da bu döneme ait geniş çökme ortamları ve bu çökellerle eş yaşlı olarak, geniş alanlı yüzeylemeler gösteren volkanitler yer almaktadır. Son yıllarda Doğu Anadolu'da çarpışma sonrası volkanizmanın özelliklerini ortaya koyabilmek için dizi jeokimyasal, petroloji ve jeokronoloji çalışmaları yapılmıştır [7]-[22].

İnceleme alanında yüzeyleyen volkanik birimler Doğanşehir-Eskiköy (Malatya) yöresinde Doğu Toros Orojenik Kuşağı'nda Alanya Birliği içerisinde yer almaktadır. Bu çalışma Doğanşehir-Eskiköy (Malatya) bölgesinde yüzeyleyen volkanik kayalar için petrografik bulgular ve yeni tüm kayaç ana oksit ve iz element jeokimyası verilerini sunmayı hedeflemiştir. Bu çalışma ile (i) magma kaynak alanı (ii) fraksiyonel kristalleşme ve kabuksal kirlenme (iii) tektonik ortam gibi konular ışığında inceleme alanındaki volkanik kayaların petrojenezinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

II. JEOLJİK KONUM

İnceleme alanında Paleozoik, Mezozoik, Senozoik yaşlı kaya toplulukları ayırtlanmıştır. Buna göre çalışma alanı kronostratigrafik olarak yaşlıdan gence doğru Permo-Triyas yaşlı Malatya metamorfikleri, Üst Kretase yaşlı Berit ofiyoliti, Erken-Orta Eosen yaşlı Doğanşehir, Polat-Beğre granitoidi, Neojen (?) yaşlı volkanitler, ve Plio-Kuvaterner yaşlı alüvyonlardan oluşmaktadır (Şekil 1). Malatya metamorfikleri bölgede allokon olarak bulunmaktadır. Permo-Triyas yaşlı kabul edilen Malatya metamorfikleri, inceleme alanında alttan üste doğru genellikle şist (mikaşist, kuvars-serizitşist), fillit, dolomit, mermer ve kristalize kireçtaşlarından oluşan bir istif sunmaktadır [23]-[25]. Birim çalışma alanında kronostratigrafik olarak en yaşlı birim olmasına rağmen naplar oluşturan tektonik hareketlerin bir sonucu olarak çalışma alanında en üstte yer almaktadır [26]. Birimin üst dokanağı gözlenmemektedir. Çalışma alanında alt dokanağında Berit metaofiyoliti ve granitoidler bulunmaktadır. Alttaki birimlerle olan dokanağı tektoniktir. Granitoidler ile olan dokanağı kimi yerde tektonik, kimi yerde ise intrüzyiftir. Malatya ve Keban metamorfikleri Geç Kretase'de ofiyolitlerin üzerine kuzeyden güneye bindirmiştir [27-28]. Malatya metamorfikleri Üst Kretase'de metamorfizmaya uğramıştır [29]. Berit ofiyoliti, serpantinleşmiş dunit ve harzburjitlerden meydana gelen ultramafik kayalar, gabrolar ve bunları kesen verlitik damarlardan oluşmuştur. Berit ofiyolitik kayaları, Neotetis'in güney kolunun Üst Kretase'den itibaren kuzeye doğru dalması ve dalan levhanın üzerinde kalan okyanusal levhada oluşan açılma (Supra-subduction zone) ile oluşmuşlardır [30]. Çalışma alanının batı bölgesinde geniş alanlarda yüzeyleyen Polat, Beğre ve Doğanşehir gibi farklı isimlerle adlandırılmış granitoidler bulunmaktadır. Önal [24]'a göre Polat-Beğre granitoidleri adlanması kullanılan birim diyorit, kuvars diyorit, tonalit, granodiyorit ve kuvars monzodiyoritlerden meydana gelen derinlik kayalarından oluşmaktadır. Ayrıca bu kayalar, mikrodiyorit, diyoritporfir, tonalitporfir, aplit, lamprofir ve nadir olarak görülen andezitik dayklar tarafından kesilmiş olduğundan bahsetmiştir. Karaoğlan [26]'e göre Doğanşehir granitoidi adlanması kullanılan birim amfibollü gabbro, diyorit, kuvars diyorit, tonalit, granodiyorit, mafik dayklar ve felsik dayklardan oluşmaktadır. I-tipi kalkalkalen bir magma özelliği gösteren Doğanşehir granitoidinin aktif kıta kenarında oluşan bir

volkanik yay granitoidi olduğu önerilmektedir [24-26]. Doğanşehir granitoyidi zirkon U-Pb yaşlandırmasına göre 50.8-45.7 My. arasında (Erken-Orta Eosen) oluştuğu tespit edilmiştir [31]. İnceleme alanında çalışmanın asıl konusunu oluşturan volkanitler daha önceki çalışmalarda Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı'na dâhil edilmişlerdir. Birim Malatya metamorfiteğini genişliği yer yer 5-10 metreyi bulan dayklar halinde kesmiştir. İncelenen kayalar, Maden Karmaşığı'na [32-33] ait volkanitlerin mineralojik ve jeokimyasal verileri ile kıyaslandığında hem alterasyon bakımından hem de jeokimyasal olarak farklı olduğu sonucuna varılmıştır. İncelenen kayaların stratigrafik ilişkileri, petrografi ve jeokimyasal özellikleri dikkate alındığında Maden Karmaşığı'na dâhil edilmemesi gerektiği anlaşılmıştır. Birim Neojen (?) yaşlı olduğu düşünülmekte olup Doğu Toroslar'da yüzeyleyen Neojen yaşlı volkanik kayalar ile denetirilebilir. İnceleme alanında yer alan Plio-Kuvaterner yaşlı birimler alüvyonlardan meydana gelmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru ve jeoloji haritası (MTA [34] 'dand değiştirilmiştir)

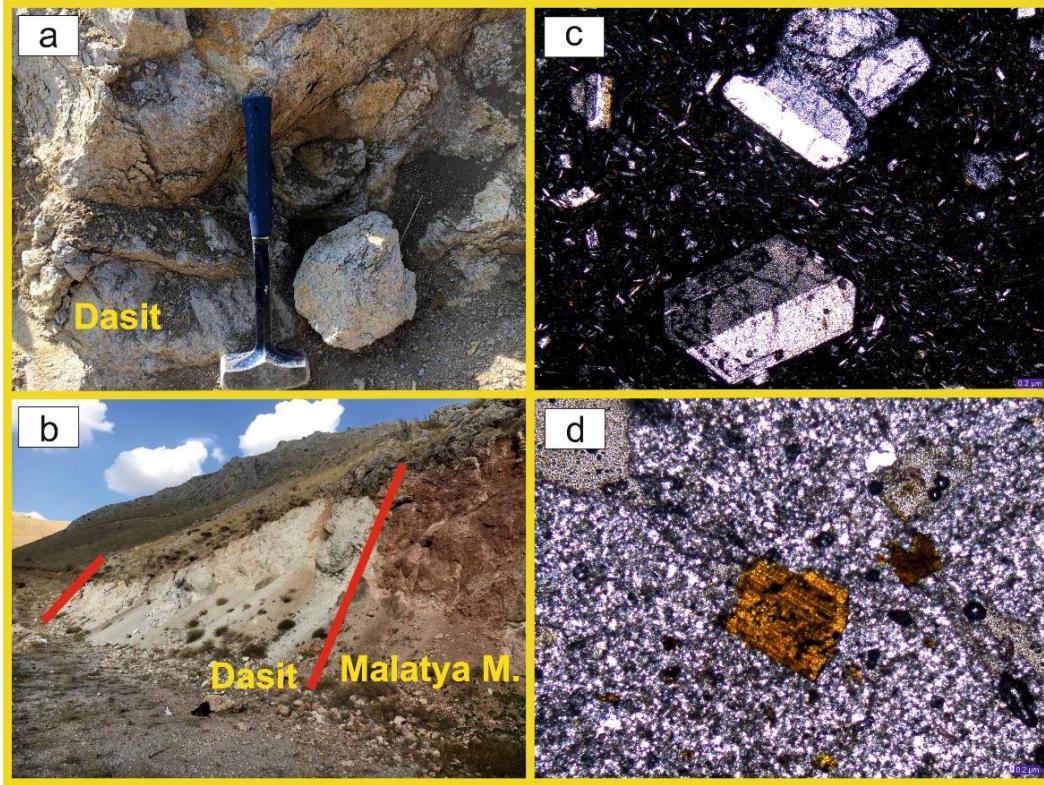
III. MATERYAL VE METOT

Arazi çalışmaları kapsamında alınan örneklerin, petrografik ve jeokimyasal incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Petrografik amaçlı ince kesitleri Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvar'ında hazırlanmıştır. Hazırlanan kesitler polarizan mikroskop altında ayrıntılı olarak incelenerek kayaçların mineralojik bileşimleri, petrografik ve dokusal özellikleri belirlenmiştir. Petrografi incelemelerine göre 6 adet taze volkanik kayaç örneği üzerinde ICP-AES ve ICP-MS yöntemi kullanılarak ana oksit, iz ve nadir toprak element analizleri Bureau Veritas Minerals Laboratuvar'ında (Vancouver-Kanada) yaptırılmıştır.

IV. BULGULAR

A. PETROGRAFI

Eskiköy-Doğanşehir çevresinde yüzeyleyen volkanik birimler dasit ve riyolit türü kayaçlarla temsil edilmektedir (Şekil 2a, b). Dasitler makroskobik olarak grimsi renklerde görülmekte ve porfirik doku göstermektedir (Şekil 2c). Bileşimsel olarak % 35 plajiyoklas, % 25 kuvars, % 10 biyotit+amfibol, plajiyoklas+biyotit mikrolitleri ve camsı malzeme içeren hamur malzemesinden oluşmaktadır. Plajiyoklaslar genellikle iri fenokristaller şeklinde öz şekilli ve yarı özşekilli prizmatik kristaller halinde olmasına rağmen, bu kristallerin arasını dolduran mikrolitler şeklinde de görülmektedir. Albit ve karlsbad ikizlenmeleri gözlenmektedir. Bazı plajiyoklas kristallerinde zonlanma görülmektedir. Plajiyoklas fenokristallerinde gözlenen salınımlı zonlanma ve erime çözünme yapıları magma karışımı ve/veya magmanın hızlı yükselmesine işaret etmektedir. Kayaç genelinde az-orta düzeyde serizitik alterasyon gözlenmektedir. Kuvarlar özşekilsiz formlarda olup dalgalı sönme göstermektedir. Kahverengi pleokroizmaları ile karakteristik olan biyotitler, öz şekilli ve yarı özşekilli, levhamsı- prizmatik kristaller halinde gözlenmektedir ve tek yönde dilinimlere sahip olup paralele yakın (yaklaşık 5°) sönme göstermektedir (Şekil 2d). Riyolitler bileşimsel olarak % 15 kuvars, % 20 sanidin % 25 plajiyoklas % 10 biyotit+amfibol ve % 30 kuvars+plajiyoklas mikrolitleri ve camsı malzeme içeren hamur malzemesinden oluşmaktadır. Makroskobik olarak pembemsi renklerde olup porfirik doku göstermektedir. Kuvarlar, çoğunlukla özşekilsiz kristaller halindedir. Sanidinler yarı özşekilli ve özşekilsiz kristaller halinde gözlenmekte olup karlsbad ikizlenmeleri ile karakteristiktir. Plajiyoklaslar, öz şekilli ve yarı özşekilli kristaller halindedir, albit ve karlsbad ikizlenmeleri göstermektedir. Uzun levhamsı kristaller şeklinde gözlenen biyotitler çoğunlukla özşekilli formlarda görülmektedir. Bazı biyotit minerallerinde kloritleşmeler gözlenmektedir. Altıgen formlara sahip amfiboller, genel olarak yarı özşekilli ve özşekilli olup mineral kapantıları içermektedir.



Şekil 2. İncelenen volkanitlerin arazi ilişkileri (a, b), ince kesit görüntüleri (c, d)

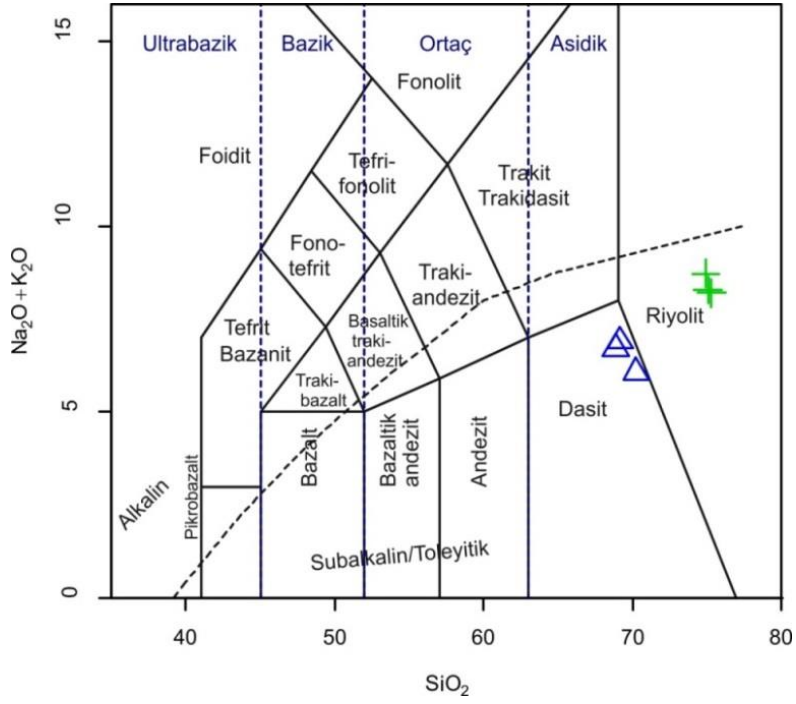
B. JEOKİMYA

Doğanşehir-Eskiköy bölgesinde volkanit kayalara ait 6 örnek üzerinde tüm kayaç analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. İncelenen volkanik kayaçlar SiO_2 ’ye karşı $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ [35] sınıflama diyagramında dasit ve riyolit alanına düşmektedir (Şekil 3). Bu sonuçlar arazi ve petrografi gözlemleriyle uyumluluk göstermektedir. Peccerillo ve Taylor [36] tarafından hazırlanmış olan SiO_2 - K_2O değişim diyagramında incelenen örnekler kalk-alkali ve yüksek-K kalk-alkali alanlarında yoğunlaşmışlardır (Şekil 4). İncelenen volkanik kayaçlar primitive mantoya normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramlarına göre büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (LILE), yüksek alan enerjili elementlere göre (HFSE) daha fazla zenginleşme göstermektedir (Şekil 5a). Kondrite normalize edilmiş nadir toprak element değişim diyagramında hafif nadir toprak elementler (HNTE), ağır nadir toprak elementlere göre (ANTE) daha fazla zenginleşme göstermektedir (Şekil 5b). SiO_2 ’ye karşı çizilmiş ana oksit değişim diyagramlarında Al_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 ve $\text{FeO}_{(t)}$ ile negatif korelasyon gösterirken, K_2O ile ise pozitif korelasyon göstermektedir (Şekil 6). SiO_2 ’ye karşı çizilmiş iz element değişim diyagramlarında ise Sr, Ba, Co, Hf, Zr ve Ce ile negatif korelasyon görülürken, Rb ve Th ile ise pozitif korelasyon görülmektedir (Şekil 7).

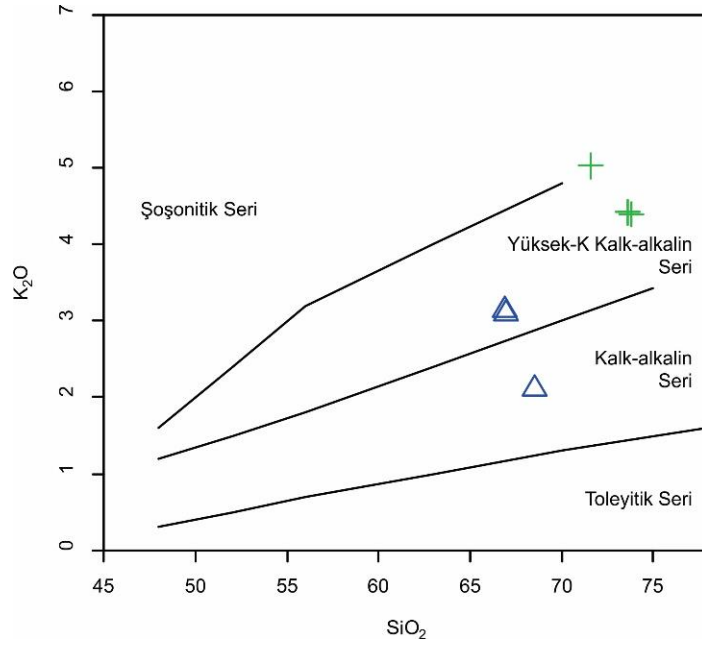
Tablo 1.İncelenen kayaçların ana oksit ve iz element değerleri

Kayaç Türü	Dasit	Dasit	Dasit	Riyolit	Riyolit	Riyolit
Örnek	ES1	ES2	ES3	ES9	ES10	ES11
Major oksitler (% ağırlık)						
SiO ₂	66.91	66.96	68.54	71.60	73.61	73.81
Al ₂ O ₃	15.40	15.89	15.66	13.59	14.27	14.11
Fe ₂ O ₃ ^a	2.72	2.68	2.44	0.86	0.68	0.73
MgO	1.23	1.27	1.16	0.17	0.33	0.32
CaO	3.22	3.32	3.35	0.89	0.93	0.87
Na ₂ O	3.55	3.43	3.83	3.33	3.72	3.65
K ₂ O	3.14	3.10	2.11	5.03	4.42	4.40
TiO ₂	0.40	0.41	0.37	0.07	0.08	0.1
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.10	0.02	0.02	0.03
MnO	0.05	0.04	0.03	0.05	0.02	0.0
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	<0.00	<0.00	<0.00
				2	2	2
LOI	3.10	2.60	2.30	4.30	1.80	1.90
Sum	99.90	99.89	99.9	100.0	99.95	99.95
İz elementler (ppm)						
Ba	393	446	279	140	198	156
Sc	5	5	4.9	5	2.5	2.7
Co	5.3	5.4	4.8	0.7	0.5	0.5
Cs	6.3	7	4.5	26.6	17.2	15.9
Ga	16	17.8	<5	17.5	<5	<5
Hf	3.5	3.7	3.6	2.2	2.3	2.4
Nb	6	6.7	5.2	14.8	15.9	15
Rb	90.9	94.8	73.2	212.4	225.3	218.2
Sr	258.9	275.1	232.6	45.9	41.9	38.6
Ta	0.5	0.7	0.5	2.5	2.6	2.7
Th	9.3	10	6.9	12.9	14.9	13.2
U	4.3	3.9	2.4	12.8	9.3	8.7
V	39	39	41	<8	<8	<8
W	1.2	1.3	0.6	1.3	1.2	1.1
Zr	134.2	139.0	132.7	42.80	48.80	46.60
	0	0	0			
Y	12	12.6	11.9	22.1	21.3	23.5
Pb	11.80	44.20	2.60	15.80	3.50	2.40
Ni	6	3.9	6.3	0.9	<0.5	0.8
La	20.90	22.80	18.70	8.90	10.40	9.60
Ce	38.3	41.1	33.2	18.9	21.2	18.7
Pr	4.13	4.46	3.68	2.26	2.61	2.35
Nd	14.9	17	13.6	9.5	9.8	9.2
Sm	2.86	3.23	2.64	2.97	3.23	2.96
Eu	0.78	0.79	0.72	0.37	0.39	0.37
Gd	2.74	3.15	2.4	3.56	3.63	3.56
Tb	0.4	0.43	0.35	0.66	0.68	0.68
Dy	2.17	2.5	1.99	3.86	3.77	4.12
Ho	0.43	0.46	0.39	0.72	0.77	0.84
Er	1.31	1.23	1.16	2.22	2.29	2.47
Tm	0.16	0.18	0.17	0.31	0.32	0.34
Yb	1.14	1.3	1.11	1.96	2.23	2.31
Lu	0.16	0.19	0.16	0.29	0.3	0.32

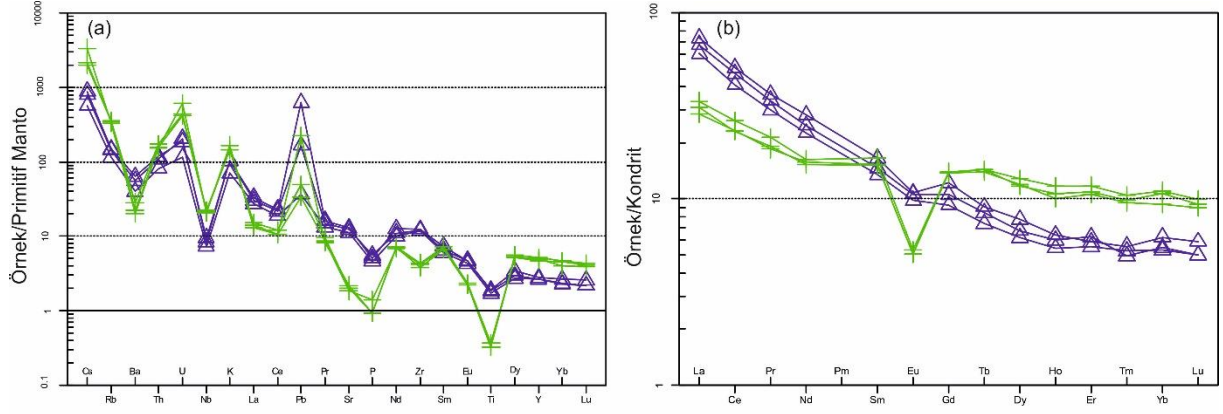
^aToplam demir Fe₂O₃,



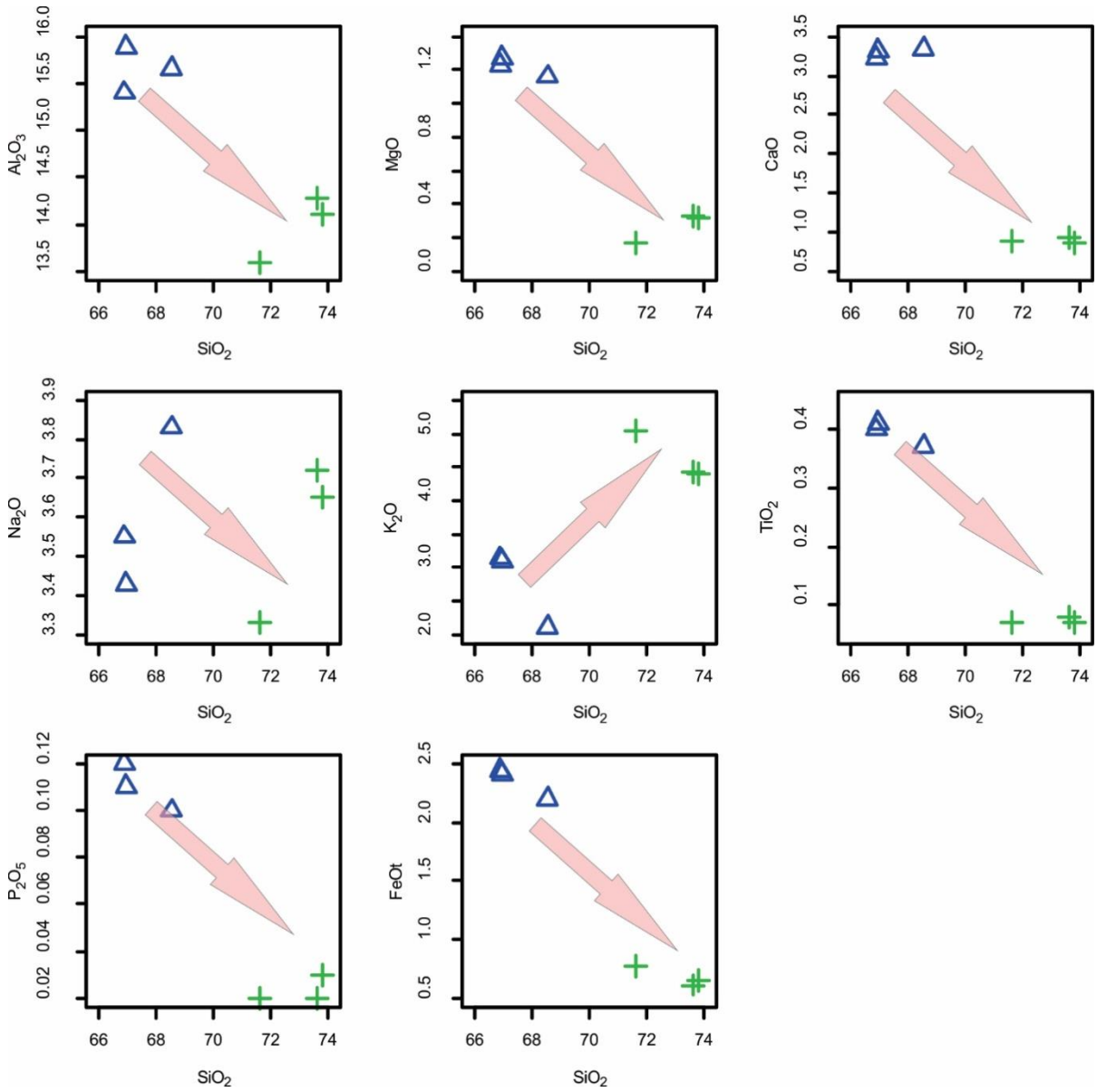
Şekil 3. İncelenen volkanitlerin Le Bas vd. [35] 'ye ait $SiO_2-Na_2O+K_2O$ diyagramı



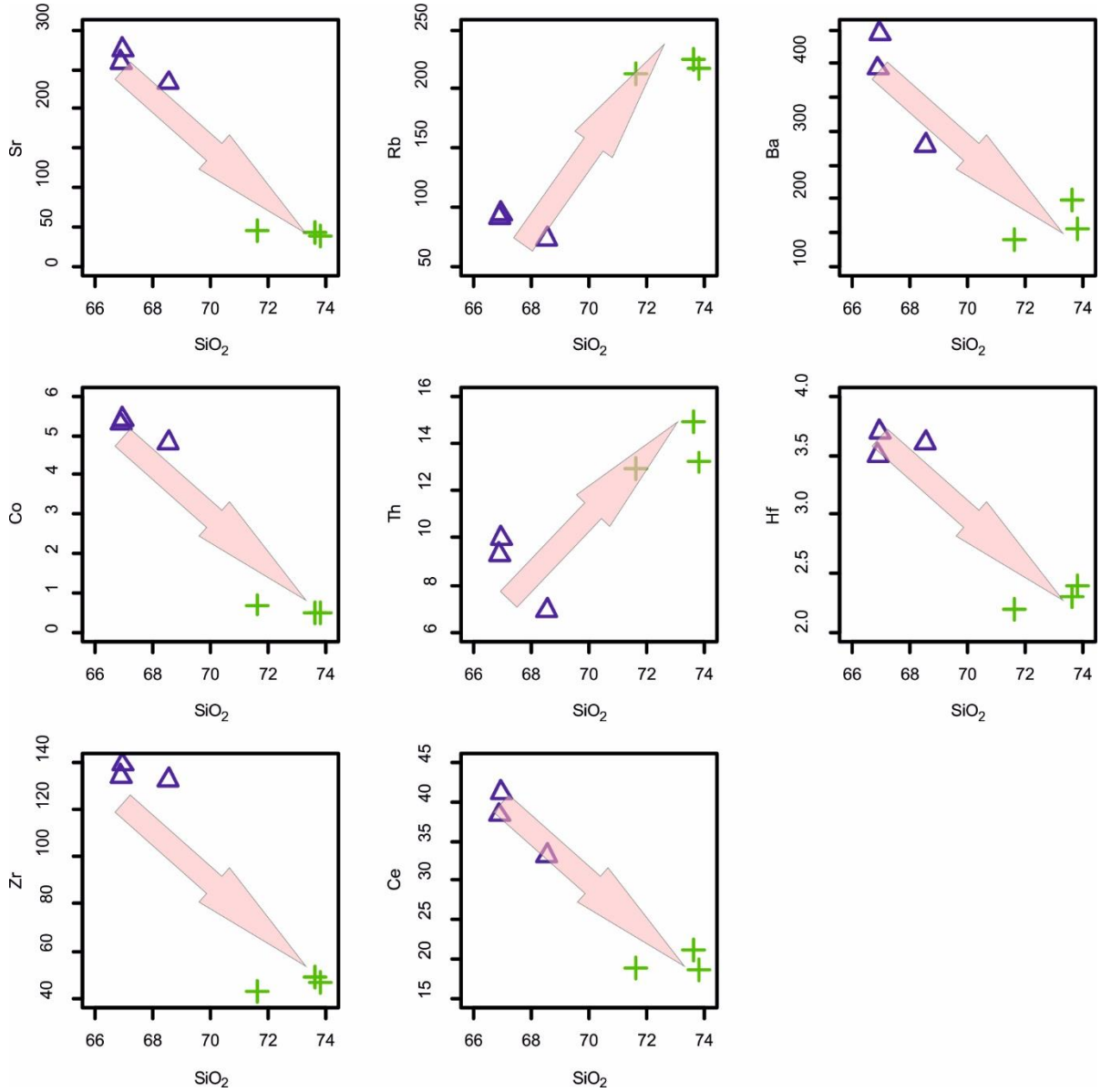
Şekil 4. İncelenen volkanitlerin SiO_2-K_2O diyagramı [36], (Semboller Şekil 3 ile aynıdır)



Şekil 5. İncelenen volkanitlerin (a) primitif mantoya normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramı [37],(b) kondritte normalize edilmiş nadir toprak element değişim diyagramı[38], (Semboller Şekil 3 ile aynıdır)



Şekil 6. İncelenen volkanitlerin SiO₂'ye karşı çizilmiş ana oksit değişim diyagramları, (Semboller Şekil 3 ile aynıdır)



Şekil 7. İncelenen volkanitlerin SiO₂'ye karşı çizilmiş iz element değişim diyagramları, (Semboller Şekil 3 ile aynıdır)

V. TARTIŞMA

A. MAGMA KAYNAK ALANI

Primitif mantoya normalize edilmiş iz element desenlerine göre LILE'ler, yüksek alan HFSE'lere zenginleşme göstermektedir (Şekil 5a). Yitim ile ilişkilendirilen negatif Nb, P, Ti ve pozitif Pb anomalisi gibi özellikler Geç Kretase'deki yitime bağlı olarak okyanusal kabuktan ayrılan solüsyonlar tarafından metasomatize edilmiş bir mantodan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bunun yanında, bu tür negatif anomaliler, kıtasal kabuğun Nb bakımından fakir olması nedeniyle kabuksal kirlenmeden de kaynaklanabilir. LILE'deki zenginleşme, dalan levhadan kaynaklanan akışkanlar veya ergiyiklerin yukarı (dalan levhanın üstündeki manto kamasına doğru) taşınması ve manto kamasını metasomatize etmesinin bir sonucu olduğu belirtilmektedir [39]–[43]. Manto metasomatizması, üst mantodaki iz element zenginleşmesini ifade etmek için kullanılır. Bu zenginleşme mantonun görece olarak daha alt kısmından gelen H₂O ve CO₂ gibi uçucu bileşenler ve LILE açısından zengin akışkanların/eriyiklerin,

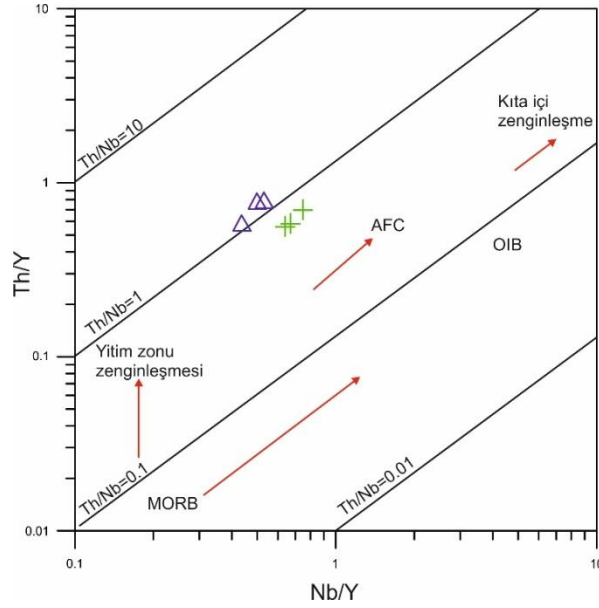
üst düzeylerdeki katı manto kayaçları ile tepkimesi sonucu ortaya çıkmaktadır [44-45].HFSE'deki fakirleşme ise, bu elementlerin dahan levhadaki mineral fazlarında tutulması ile gerçekleşmektedir [23]. İncelenen volkanitler kondrite karşı çizilmiş değişim diyagramları incelendiğinde, HNTE'lerce (La, Ce, Pr, Nd) zenginleşme, ANTE'ce (Er, Tm, Yb, Lu) değerleri yatay ve yataya yakın dağılımlara sahip oldukları görülmektedir (Şekil 5b). Buna göre, magmatik farklılaşma süreçleri veya kısmi ergime sırasında HNTE'lerin sıvı fazı tercih ettikleri söylenebilir.HNTE bakımından zenginleşme, yitim sonucu dahan levhanın kaynağa olan katkısı ile veya kabuksal bileşenlerin etkisiyle de gerçekleşebilir.İncelenen örneklerde belirgin negatif Eu anomalileri görülmesi incelenen volkanitlerin fraksiyonlanmasında plajiyoklas önemli bir yer tutmaktadır (Eu/Eu*=0.35–0.85). Huang vd. [46] La/Nb oranının düşük olmasının kıta içi zenginleşme, yüksek olmasının yitim zenginleşmesinin etkili olduğunu ileri sürmüştür. İncelenen dasitlerin La/Nb oranının 3.4-3.60 arasında değişmesi yitim zenginleşmesi, riyolitlerin ise La/Nb oranının 0.6-0.64 arasında değişmesi kıta içi zenginleşmenin etkili olduğunu göstermektedir.

İncelenen volkanitler La/Yb - Pb/Ce diyagramında örneklerin gelişiminde dahan okyanusal kabuktan ayrılan solüsyonlar (yitim dilimi kökenli akışkanlar = slab fluids) tarafından metasomatize edilmiş mantonun etkisi görülmektedir. Defant vd. [47], Maury vd. [48], Sajona vd. [49] ve Martin vd. [50] yitim dilimi kökenli ergiyikler tarafından metasomatize olmuş manto kamasından türeyen magmaların Nb içeriklerinin (7 ppm<Nb<20ppm) yüksek olduğunu ileri sürmektedirler. Çalışma alanındaki volkanitlerin Nb içerik ortalamaları 10.6 ppm olması bu kayaçların yitime bağlı olarak okyanusal kabuktan türeyen çözeltiler tarafından metasomatize edilmiş bir mantodan kaynaklanmış olabileceği görüşünü desteklemektedir.

B. FRAKSİYONEL KRİSTALLEŞME VE KABUKSAL KİRLENME

SiO₂'ye karşı ana ve iz element değişim diyagramlarının çoğunlukla iyi korelasyon vermeleri, volkanitlerin gelişiminde ayırılmanın önemli rol oynadığına işaret etmektedir İncelenen volkanitlerin SiO₂'ye karşı çizilmiş ana oksit ve iz element değişim diyagramlarından da görülebileceği gibi SiO₂'deki artışla birlikte Al₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, TiO₂, P₂O₅ ve FeO azalırken, K₂O artış yönünde bir yönelim göstermektedir (Şekil 6). Bu şekildeki pozitif ve negatif korelasyonlar fraksiyonel kristalleşme süreci ile ilişkilidir.Na₂O'de gözlenen azalmalar, sodik plajiyoklazların fraksiyonlanması ile; MgO ve Al₂O₃'deki azalmalar, biyotit fraksiyonlanması ile; CaO ve MgO deki negative yönelimler piroksen fraksiyonlanması ile; Fe₂O₃ ve TiO₂'de ki negatif yönelimler ise amfibol ve Fe-Ti oksit fraksiyonlanması ile; P₂O₅ teki azalmalar apatit fraksiyonlanması ile ilişkilidir. SiO₂ ile artışla birlikte Sr, Rb, Ba, Co, Hf, Zr ve Ce arasında pozitif; Rb ve Th arasında ise negatif bir ilişki gözlenmektedir (Şekil 7). Bu durum, klasik fraksiyonel kristalleşme yönelimlerine karşılık gelmektedir.Sr ve Ba feldispatların, Co ve Ce piroksen ve biyotitlerin, Hf ve Zr zirkonların fraksiyonlanmasıyla ilgilidir.Rb ve Th iyonik yarıçapının K'a yakın olması nedeni ile K'un yerini almakta, fraksiyonel kristalleşme sırasında K-feldispat, biyotit gibi minerallerinin bünyesine girebilmektedir.Fraksiyonel kristalleşme sırasında, bu mineraller daha geç evrelerde kristalleştikten, SiO₂ ile pozitif bir korelasyon göstermektedir.

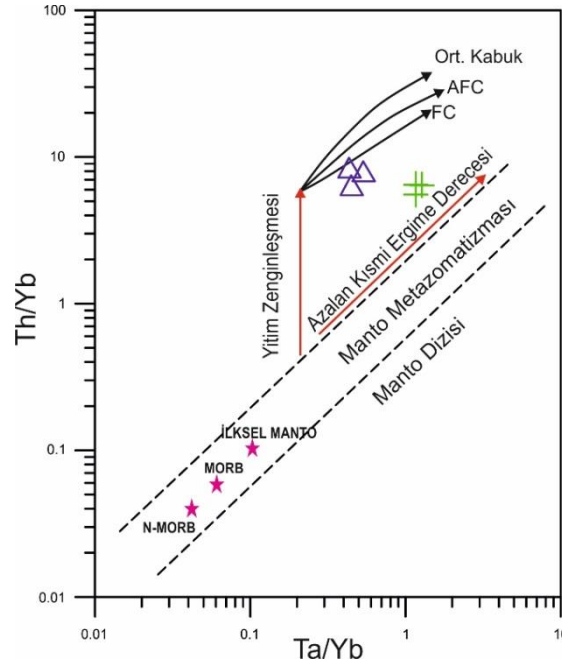
Şekil 8'de verilen Nb/Y - Th/Y diyagramındaki yüksek Th/Y ve buna bağlı olarak düşük Nb/Y oranı yitim zenginleşmesinin, buna karşın yüksek Th/Y ve Nb/Y oranı ise kıta içi zenginleşmenin bir sonucudur [51]. Buna göre, incelenen volkanik kayaçlara ait tüm örneklerin Th/Nb=1 değerine yakın değerlerde oldukları gözlenmiştir. Diyagramda örneklerin gösterdiği yönseme, kıta içi zenginleşme ile birlikte asimilasyon-fraksiyonel kristalleşmenin etkisini göstermektedir. Üst kıtasal kabuğun ortalama Ta/Zr değeri 0.01 ppm primitif mantonun Ta/Zr değeri 0.003 ppm [52] olup incelenen dasitlerin Ta/Zr oranı 0.003 pmm-0.05 pmm arasında değişim göstermekte ve üst kıtasal kabuk değerinden düşük Ta/Zr değerleri de kabuksal kirlenmeden ziyade primitif mantoya işaret etmektedir. İncelenen riyolitlerin Ta/Zr değerleri 0.053-0.057 pmm arasında değişen ve üst kıtasal kabuk değerinden yüksek Ta/Zr değerleri de kabuksal kirlenmeye işaret etmektedir.



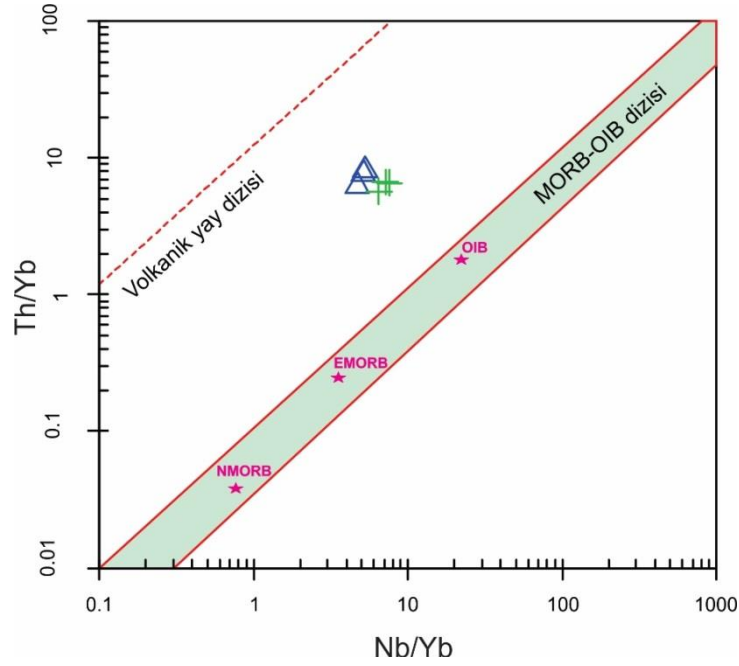
Şekil 8. İncelenen volkanitlere ait Th/Y-Nb/Y diyagramı

C. TEKTONİK ORTAM

Ta/Yb - Th/Yb diyagramında [53] incelenen volkanitler, manto dizisine paralel bir hizalama sunmakta, fakat yüksek Th/Yb oranlarına sahiptir (Şekil 9). Okyanus ortası sırtındaki bazalt (MORB) mantosuna kıyasla Th'deki zenginleşme, dalma-batma sıvılarının etkisini göstermektedir. Bu durum incelenen volkanitlerin gelişiminde sadece tek bir fraksiyonel kristalleşme farklılaşması geçirmemiş daha büyük olasılıkla çeşitli kontaminasyon süreçlerine maruz kalmıştır. İncelenen volkanitlerin Th/Yb - Nb/Yb petrojenetik modelleme diyagramında, MORB-okyanus adası bazalt (OIB) dizisinin üzerinde olduğunu ve MORB-OIB alanı ile karşılaştırıldığında önemli Th / Yb zenginleşmesine sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 10). Bu özellik yay sistemlerine özgüdür ve bir yitim bileşeninin önemli bir girdisi ile ilişkili olabilir [43]. Örneklerde izlenen yitim-türevli bileşenin katkısını daha önce dalma yoluyla kirlenmiş olan bir litosferik mantonun ergimesine bağlayabiliriz.



Şekil 9. İncelenen volkanitlere ait Ta/Yb-Th/Yb log - log diyagramı [53]



Şekil 10. İncelenen volkanitlere ait Nb/Yb- Th/Yb log - log diyagramı [53]

VI. SONUÇLAR

- İnceleme alanındaki Neojen (?) volkanitleri dasit ve riyolit türü kayalar ile temsil edilmektedir.
- İncelenen volkanik kayalar Malatya metamorfizmasını sıcak dokanakla keserek dayıklar halinde yerleşmişlerdir.
- Petrografik verilere göre dasitler makroskobik olarak grimsi renklerde görülmekte ve porfirik doku göstermektedir. Bileşimsel olarak % 35 plajiyoklas, % 25 kuvars, % 10 biyotit+amfibol, plajiyoklas+biyotit mikrolitleri ve camsı malzeme içeren hamur malzemesinden oluşmaktadır. Riyolitler bileşimsel olarak % 15 kuvars, % 20 sanidin % 25 plajiyoklas % 10 biyotit+amfibol ve % 30 kuvars+plajiyoklas mikrolitleri ve camsı malzeme içeren hamur malzemesinden oluşmaktadır. Makroskobik olarak pembemsi renklerde olup porfirik doku göstermektedir.
- İncelenen dasitlerin La/Nb oranının 3.4-3.60 arasında değişmesi yitim zenginleşmesinin, riyolitlerin ise La/Nb oranının 0.6-0.64 arasında değişmesi kıta içi zenginleşmenin etkili olduğunu göstermektedir.
- İncelenen dasitlerin Ta/Zr oranı 0.003 pmm-0.05 pmm arasında değişim göstermekte olup kabuksal kirlenmeden ziyade primitif mantoya işaret etmektedir. İncelenen riyolitlerin Ta/Zr değerleri 0.053-0.057 pmm arasında değişen ve üst kıtasal kabuk değerinden yüksek Ta/Zr değerleri de kabuksal kirlenmeye işaret etmektedir.
- İncelenen kayaların yitim dilimi kökenli akışkanlar tarafından zenginleşmiş bir manto kaynağından türemiş olabileceği görüşü desteklenmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: FÜBAP MF16.63).

VI. KAYNAKLAR

- [1] A. M. C. Şengör and Y. Yılmaz, “Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach,” *Tectonophysics*, vol. 75, pp. 181–241, 1981.
- [2] Y. Yılmaz, “New evidence and model evolution of the southeast anatolian orogen”, *Geological Society of America Bulletin*, vol.105, pp.251–271, 1993.
- [3] R. Oberhänsli, O. Candan, R. Bousquet, G. Rimmele, A. Okay and J. Goff, “Alpine high pressure evolution of the eastern Bitlis complex, SE Turkey”, *Geological Society, London, Special Publications*, vol. 340, no.1, pp.461–483,2010.
- [4] A. M. C. Şengör, “Türkiye'nin Neotektoniği'nin Esasları,” *TJK Konferans Serisi*, c. 2, s. 2, ss.1–40, 1980.
- [5] F. Şaroğlu, Y. Güner, W. S. F. Kidd, and A. M. C. Şengör, “Neotectonics of Eastern Turkey: New evidence for Crustal shortening a collision zone”, *EOS Transactions American Geophysical*, vol.51, no.17, pp. 360–380, 1980.
- [6] J. A. Pearce, J. F. Bender, S. E. De Long, W. S. F. Kidd, P. J. Low, Y. Güner, F. Şaroğlu, Y. Yılmaz, S. Moorbath, and J. G. Mitchell, “Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey” *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol.44, no.1–2, pp.189–229, 1990.
- [7] M. Keskin, “Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction accretion complex: an alternative model for collision- related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey”,*Geophysical Research Letters*, vol. 30, pp. 8046–8050, 2003.
- [8] M. Keskin, J. A. Pearce, P. D. Kempton, and P. Greenwood, “Magmacrust interactions and magma plumbing in a postcollisional setting: Geochemical evidence from the Erzurum-Kars volcanic plateau, eastern Turkey”, In: Dilek, Y. & Pavlides, S (eds), *Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia*,*Geological Society of America, Special Paper*,vol.409, pp.475–505,2006.
- [9] M. Keskin, “Eastern Anatolia: a hotspot in a collision zone without a mantle plume,In: Foulger, G.R., Jurdy, D.M. (Eds.), *Plates, Plumes, and Planetary Processes*”, *Geological Society of America Special Paper*, vol.430, pp.693–722,2007.
- [10] T. Ekici, M. Alpaslan, O. Parlak, and A. Temel, “Geochemistry of the Pliocene basalts erupted along the Malatya-Ovacık fault zone (MOFZ), eastern Anatolia, Turkey: implications for source characteristics and partial melting processes”, *Chemie der Erde*, 67, 201–212, 2007.
- [11] T. Ekici, M. Alpaslan, O. Parlak, and A. Uçurum, “Geochemistry of the Middle Miocene collision-related Yamadağı (Eastern Anatolia) Calc-alkaline Volcanics, Turkey”, *Turkish Journal of Earth Sciences*,vol.18, pp.511–528, 2009.
- [12] A.Önal, D. Boztuğ, M. Arslan, T. L. Spell, and S. Kürüm, “Petrology and ^{40}Ar - ^{39}Ar age of the bimodal Orduzu Volcanics (Malatya) from the western end of the eastern Anatolian Neogene volcanism, Turkey,” *Turkish Journal of Earth Sciences*, vol.17, pp.85–109.2008.
- [13] S. Kürüm, A. Önal, D. Boztuğ, T. Spell, and M. Arslan, “ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age and geochemistry of the post-collisionalMiocene Yamadağ volcanics in the Arapkir area (Malatya Province),eastern Anatolia, Turkey”,*Journal of Asian Earth Sciences*, vol.33, pp.229–251, 2008.

- [14] V. Oyan, M. Keskin, V. A. Lebedev, A. V. Chugaev, and E. V. Sharkov, “Magmatic evolution of the early Pliocene Etrüsk stratovolcano, eastern Anatolian collision zone, Turkey,” *Lithos*, vol. 256–257, pp. 88–108, 2016.
- [15] T. Ekici, “Collision-related slab break-off volcanism in the Eastern Anatolia, Kepez volcanic complex (TURKEY),” *Geodinamica Acta*, vol. 28, no. 3, pp. 223–239, 2016.
- [16] P. Di Giuseppe, S. Agostini, M. Lustrino, Ö. Karaoğlu, M. Y. Savaşçın, P. Manetti, and E.Y. Ersoy, “Compression to strike-slip tectonics shift as revealed by Miocene-Pleistocene volcanism west of the Karliova triple junction (East Anatolia),” *Journal of Petrology*, vol. 58, pp. 2055–2087, 2017.
- [17] P. Di Giuseppe, S. Agostini, G. Di Vincenzo, P. Manetti, M.Y. Savaşçın, and S. Conticelli. “From subduction to strike slip-related volcanism: insights from Sr, Nd, and Pb isotopes and geochronology of lavas from Sivas–Malatya region, Central Eastern Anatolia,” vol. 110, pp. 849–874, 2021.
- [18] A. Koçaarslan and E. Y. Ersoy, “Petrologic evolution of Miocene–Pliocene mafic volcanism in the Kangal and Gürün basins (Sivas– Malatya), central east Anatolia: evidence for Miocene anorogenic magmas contaminated by continental crust,” *Lithos*, vol.310–311, pp. 392–408, 2018.
- [19] W.K.Schleiffarth, M.H.Darin, M.R.Reid, and P.J.Umhoefer, “Dynamics of episodic Late Cretaceous–Cenozoic magmatism across Central to Eastern Anatolia: New insights from an extensive geochronology compilation” *Geosphere*, vol.14, no.5, pp.1–19, 2018.
- [20] A. Aktağ, A. Öztüfekçi Önal, and K. Sayit, “Geochemistry of the post-collisional Miocene mafic Tunceli Volcanics, Eastern Turkey: Implications for the nature of the mantle source and melting systematics” *Chemie der Erde*, vol.79, pp.113–129, 2019.
- [21] S. Kürüm, T. Baykara, “Geochemistry of post-collisional Yolçatı (Bingöl) volcanic rocks in Eastern Anatolia, Turkey”, *Journal of African Earth Science*, vol.161, 103653, 2020.
- [22] Ö. Karaoğlu, F. Gülmez, G. Göçmengil M, Lustrino, P. Di Giuseppe, and P. Manetti, M.Y. Savaşçın, and S. Agostini, “Petrological evolution of Karliova-Varto volcanism (Eastern Turkey): magma genesis in a transtensional triple-junction tectonic setting”, *Lithos*, pp.364–365, 105524, 2020.
- [23] E. Yiğitbaş, “Engizek dağı (Kahramanmaraş) dolayındaki tektonik birliklerin petrolojik incelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1989.
- [24] A. Önal, “Polat-Beğre (Doğanşehir) çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 1995.
- [25] A. Önal, M. Altunbey, “Dedeyazı-Çavuşlu (Doğanşehir-Malatya) yöresindeki skarn oluşumlar ve ilişkili demir cevherleşmeleri”, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, c.1, ss.15–27, 1999.
- [26] F. Karaoğlu, “Günedoğru-Beğre (Doğanşehir-Malatya) Arasında Yüzeyleyen Tektonomagmatik Birimlerin Petrografisi ve Jeokimyası”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 2005.
- [27] E. Yazgan, R. Chessex, “Geology and tectonic evolution of the southeastern Taurides in the region of Malatya”, *Turkish Assoc. Petrol Geol.*, c.3, s.1, ss.1–42, 1991.
- [28] Y. Yılmaz, “New evidence and model on the evolution of the Southeast Anatolian orogeny”, *Geological Society of the America Bulletin*, vol.105, pp.251–271, 1993.

- [29] M. Önal ve A.M. Gözübol, “Çat Barajı isale tünelinin mühendislik jeolojisi ve kaya mekanigi incelemesi ve Malatya-Çelikhan yöresinin jeolojisi”, *Tübitak Projesi Raporu*, ss.647, 1986.
- [30] A. Önal ve M. Beyarslan, “Doğanşehir (Malatya) civarındaki ofiyolitik kayaçların jeolojik ve petrografik özellikleri”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 16, s. 2, ss. 66–75, 2001.
- [31] F. Karaoğlu, O. Parlak, A. Robertson, M. Thöni, U. Klötzli, F. Koller, and A.I. Okay, "Evidence of Eocene high-temperature/high-pressure metamorphism of ophiolitic rocks and granitoid intrusion related to Neotethyan subduction processes (Dogansehir area, SE Anatolia)," *7th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, , Adana, Turkey, pp.249–272, 2010.
- [32] M. A. Ertürk, “Maden Karmaşığı’nın (Doğu Toroslar-Türkiye) petrolojik özellikleri”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 2016.
- [33] M. A. Ertürk, M. Beyarslan, S.L. Chung, and T. Lin, “Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian Orogenic Belt: Magma genesis and tectonic implications” *Geoscience Frontiers*, vol.9, pp.1829–1847, 2018.
- [34] M.T.A, “1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara, Türkiye, 2002.
- [35] M.J. Le Bas, R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, and B. Zanettin, “A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram”, *J. Petrology*, vol. 27, no. 3, pp.745–750, 1986.
- [36] A. Peccerillo, S.R. Taylor, "Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, north Turkey", *Contrib. Miner. Petrol*, vol. 58, pp. 63–81, 1976.
- [37] S. Sun and W.F. McDonough, “Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. Implications for mantle compositional processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J.(Eds.), Magmatism in the Ocean Basins”, *Special Publication Geological Society of London*, vol. 42, pp. 313–345, 1989.
- [38] W.V. Boynton, “Geochemistry of rare earth elements: meteorite studies”, In: Henderson, P. (Ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, New York, pp.63–114, 1984.
- [39] J. A. Pearce, “Trace Element Characteristics of Lavas from Destructive Plate Boundaries. In: Thorpe, R.S. (eds) *Andesites, Orogenic Andesites and Related Rocks*”, J. Wiley and Sons, pp.525–548, 1982.
- [40] M. T. McCulloch and J. A. Gamble, “Chemical and geodynamic constraints on subduction zone magmatism” *Earth and Planetary Science Letters*, vol.102, pp.358–374, 1991.
- [41] W.F. McDonough, “Geochemical and isotopic systematics of continental lithospheric mantle. In: kimberlites, Related Rock and Mantle Xenoliths”, Meyer, H.O.A. and Leonardos, O. H. (Ed.).*Companhian de Pesquisa de Recursos Minerais*, Rio de Janeiro, no.1, pp.478–485, 1991.
- [42] M. F. Thirwall, T. E. Smith, A. M. Graham, N. Theodorou, P. Hollings, J. P. Davison and R.J. Arculus, “High field strength element anomalies in arc lavas: source or Process” *Jour. Petrology*, vol.35, pp.819–838, 1994.
- [43] J. A. Pearce and D.W. Peate, “Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas” *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol.23, pp.251–285, 1995.

- [44] M. A. Menzies, “Mantle ultramafic xenoliths in alkaline magmas: evidence for mantle heterogeneity modified by magmatic activity”, In: C.J.Hawkesworth and M.J.Norry (Editors), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva, Nantwich, pp.92–110, 1983.
- [45] S. J. G. Galer and R. K., O’Nions, “Residence time of thorium, uranium and lead in the mantle with implications for mantle convection”, *Nature* (London), vol.316, pp.778–782, 1985.
- [46] Y. Huang, C. Hawkesworth, I. Smith, P. van Calsteren, and P. Black, “Geochemistry of late Cenozoic basaltic volcanism in Northland and Coromandel, New Zealand: implications for mantle enrichment processes”, *Chem. Geol.*, vol.164, no.15, pp.219–238, 2000.
- [47] M. J. Defant, T. E. Jackson, M. S. Drummond, J. Z. De Boer, H. Bellon, M. D. Feigenson, R. C. Maury, and R. H. Stewart, “The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview”, *Journal of the Geological Society of London*, vol.149, pp.569–579, 1992.
- [48] R. C. Maury, F.G., Sajona, M. Pubellier, H. Bellon, and M.J. Defant, “Fusion de la croûte océanique dans les zones de subduction/collision récentes: L'exemple de Mindanao (Philippines)”, *Bull. Soc. Géol.*, France, vol.167, pp.579–595, 1996.
- [49] F.G. Sajona, R.C. Maury, H. Bellon, J. Cotton, and M. Defant, “High field strength element enrichment of Pliocene–Pleistocene island arc basalts, Zamboanga Peninsula, Western Mindanao (Philippines)”, *Journal of Petrology*, vol.37, no.3, pp.693–726, 1996.
- [50] H. Martin, R.H. Smithies, R. Rapp, J.-F. Moyen, and D. Champion, “An overview of adakite, tonalite-trondhjemite granodiorite (TTG), and sanukitoid: Relationships and some implications for crustal evolution”, *Lithos*, vol.79, pp.1–24, 2005.
- [51] C. Deniel, E. Aydar, and A. Gourgaud, “The Hasan Dagi stratovolcano (Central Anatolia, Turkey): evolution from calc-alkaline to alkaline magmatism in a collision zone” *J. Volcanol. Geotherm. Research*, vol.87, no.1–4, pp.275–302, 1998.
- [52] S.R. Taylor, S.M. McLennan, “The Continental Crust: its Composition and Evolution”, Blackwell Scientific Publication, pp.312, Oxford, 1985.
- [53] J.A. Pearce, “Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust”, *Lithos*, vol.100, no.1–4, pp.14–48, 2008.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Determination of Regional Soil Structure Earthquake Risk Distribution of Buildings by Street Survey Method: The Sample of Bilecik Province

Ali ATEŞ^a, Semiha POYRAZ^{b,*}, Ömer ÇOBAN^b

^aDepartment of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bolu Abant İzzet Baysal University, Bolu, TURKEY

^bVocational School, Bilecik Seyh Edebali University, Bilecik, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: semiha.poyraz@bilecik.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.846885

ABSTRACT

Earthquake is a natural phenomenon that cannot be ignored in Turkey as in the world. Since Turkey is located in the earthquake zone, research on these issues has increased in recent years in Turkey. In this study, the effects of the earthquake on the reinforced concrete and masonry/mixed buildings in the central neighborhoods of Bilecik province were examined by the Street Survey Method. In this context, a total of 1391 buildings including 1021 reinforced concrete and 370 masonry/mixed buildings on the central districts of Bilecik were examined. The average building earthquake scores for the reinforced concrete and masonry/mixed buildings of each neighborhood were calculated. In terms of reinforced concrete buildings, Bahçelievler, Cumhuriyet, Gazipaşa, İsmetpaşa and İstiklal neighborhoods were found to be at Low Risk in terms of Building Earthquake Safety, while Beşiktaş, Ertuğrulgazi and Hürriyet neighborhoods were found to be Safe in terms of Building Earthquake Safety. All masonry/mixed buildings were found to be Safe in terms of Building Earthquake Safety.

Keywords: Earthquake, Reinforced concrete buildings, Masonry/Mixed buildings, Street survey method, Bilecik province

Sokaktan Tarama Yöntemiyle Binaların Bölgesel Deprem Risk Dağılımının Belirlenmesi: Bilecik İli Örneği

ÖZ

Depremler dünyada olduğu gibi ülkemizde de göz ardı edilemeyecek bir doğa olayıdır. Ülkemizin deprem kuşağında yer alması sebebiyle bu hususlardaki araştırmalar son yıllarda artış göstermektedir. Bu çalışmada Bilecik ilinin merkez mahallelerinde, depremin betonarme ve yığma/karma binalar üzerinde oluşturabileceği etkiler Sokaktan Tarama Yöntemiyle ele alınmıştır. Bu kapsamda Bilecik ili merkez mahalleleri (Bahçelievler, Beşiktaş, Cumhuriyet, Ertuğrulgazi, Gazipaşa, Hürriyet, İsmetpaşa, İstiklal) üzerinde bulunan 1021 betonarme ve 370 yığma/karma olmak üzere toplam 1391 adet bina incelenmiştir. Her bir mahallenin betonarme ve yığma/karma binalar için ayrı ayrı ortalama Bina Deprem Puanları hesaplanmıştır. Betonarme binalar açısından Bahçelievler, Cumhuriyet, Gazipaşa, İsmetpaşa ve İstiklal mahalleleri Bina Deprem Güvenirliği açısından Düşük Riskli iken Beşiktaş, Ertuğrulgazi ve Hürriyet mahallelerinin Bina Deprem Güvenirliği açısından Güvenli olduğu tespit edilmiştir. Yığma/karma binalar açısından tüm mahalleler Bina Deprem Güvenirliği açısından Güvenli bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Betonarme binalar, Yığma/Karma binalar, Sokaktan tarama yöntemi, Bilecik ili

I. INTRODUCTION

Turkey is located in a seismic zone due to its geography. It can be said that the awareness of earthquakes and the awareness of architect and engineering professionals about earthquake resistant building design are not at the desired level in Turkey [1]. Earthquakes in the Marmara region in 1999 showed that the structures were not strong enough [2]. According to Turkey national earthquake research program (TUDAP), most part of Turkey is under the threat of earthquakes that could cause severe damage. Earthquakes that cause damage happen in Turkey every 8 months [3]. The two major earthquakes that occurred on the North Anatolian Fault Zone, which is one of the most active fault lines in the world, in 1999 and the transformation of a natural phenomenon into a disaster due to these two major earthquakes increased the importance and sensitivity of the earthquake issue in Turkey. The results of the earthquakes have necessitated determining the resistance of structures against earthquakes by examining the existing building stocks throughout the country [4]. The majority of the structures in the earthquake zones do not meet the seismic requirements of the regulation in Turkey.

Assessment of structures in an area in terms of the nature of the work (the excess of existing structures, the work to be done in buildings where people reside, etc.) and awareness (the fact that number of national and international studies related to the collective review of buildings is less except the studies conducted in the last few years) is difficult and requires a long time. In this context, it is obvious that rapid and effective methods are needed to determine the earthquake risk of existing buildings. For these reasons, after determining the risk in large areas that are required to be examined within the scope of the Law no. 6306, it is beneficial in terms of time, effort and financial conditions to elaborate the research in the places with higher priority by considering the result. In addition, since it will produce healthier outputs in terms of risk ranking, Appendix-A entitled “Methods for Determining Regional Earthquake Risk Distribution of Buildings” has been prepared within the scope of the Law [5].

In the Earthquake Master Plan for Istanbul, the staging assessment method has been adopted for details since there are a lot of buildings and detailed examination is difficult and time consuming. The stages consist of three parts and are as follows: The first stage: Street Survey, second stage: Pre-Assessment, third stage: comprehensive assessment. Assessment stages have been handled and proposed in different ways by universities such as METU, ITU, and BU. The first stage is referred as “street survey” and the goal of this stage is to make a preliminary grading of buildings with respect to their seismic performance, the number of the buildings at risk and the distribution of these buildings in the city by visual inspection from outside [6].

In the study conducted by Işık and Tozlu in 2015, the researchers chose the soil types, the type of structural system and the visual quality of structure parameters as variant for an existing five-flat buildings using the first stage assessment method mentioned in the rules related to determine the risky structures came into force in 2013, and calculated the structure performance scores according to these variants [7-20].

In their study in 2018, Okuyucu et al. examined reinforced concrete buildings located in Erzurum-Palandöken town in accordance with Law 6306 about Transformation of the Lands under Disaster Risk. Within the study, they examined 1177 reinforced concrete buildings and determined the fundamentals of building performance score calculation using the first stage assessment method of Law 6306. Then, they examined the buildings performance scores statistically and divided the buildings into 5 risk groups. They found that 7.2% of the buildings were at high-risk level; 62.4% was at moderate-risk level, 7.3% was at low-risk level, 22% was safe and 0.7% was very safe [8].

In the study conducted by Tokgöz and Bayraktar in 2015, the researchers determined the risk status of reinforced concrete and masonry buildings located in Kaynasli district of Duzce province against seismic hazards by street survey method, which is one of rapid survey methods. A limit value in terms of risk was determined by calculating risk scores of the buildings using street survey method. The

researchers stated that the findings obtained in the study may be useful in terms of reducing the costs after the earthquake and to prevent the loss of lives [9].

In his study conducted in 2014 Yakut stated that a number of procedures have been proposed over the last decade to assess seismic performance of existing reinforced concrete buildings. He also emphasized that the complexity and the accuracy of these procedures depend on the needs and targets; rapid survey procedures are generally preferred to determine vulnerability ranking of a group of buildings based on rapid assessments carried out from the street survey; and detailed assessment procedures aim to determine weaknesses and retrofit needs for existing buildings. In addition, he examined several seismic performance assessment procedures of reinforced concrete buildings from all three tiers, discussed the weakness of these procedures to assess seismic performance of existing reinforced concrete building and presented comparative evaluation on relative efficiency of the procedures [10].

In their study in 2016, Karaşin and Işık assessed an existing masonry construction in Sur district of Diyarbakır province using two different rapid assessment methods. They assessed the masonry construction determined within the Canadian Seismic scanning method and the first stage evaluation method included in the principles concerning the determination of risk-bearing buildings promulgated by the Ministry of Environment and Urbanization in 2013. As a result, they reported the usability of the first stage evaluation methods proposed for masonry structures [11].

II. MATERIAL AND METHOD

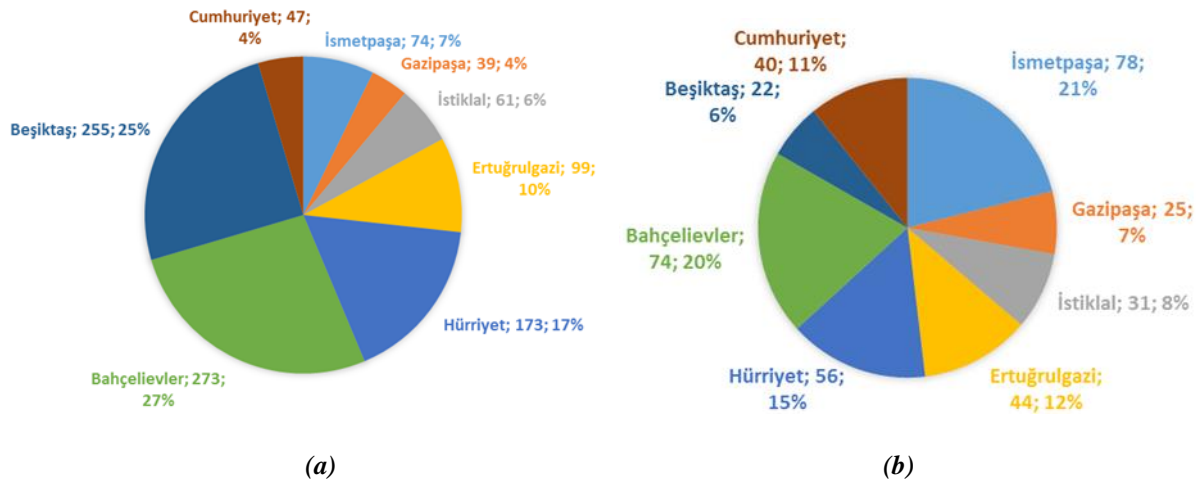
A. MATERIAL

Bilecik is located in the southeast of Marmara Region at the intersection point of Marmara, Black Sea, Central Anatolia and Aegean Regions. It is located between 39° and 40° 31' north latitudes and 29° 43' and 30° 41' east longitudes. Bolu and Eskişehir from the east, Kütahya from the south, Bursa from the west, Sakarya provinces are surrounded by the north (Figure 1). It has an area of 4321 km², and according to the address-based population registration system, the population in 2017 was determined as 221.693 [12].



Figure 1. Bilecik province map [13]

Reinforced concrete and masonry/mixed buildings in the center of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were selected as materials and the numerical distribution of the buildings separately examined according to the districts is given below (Figure 2).



Şekil 2. (Numerical and general percentage distributions of buildings between central neighborhoods of Bilecik province (a) Reinforced concrete buildings (b) Masonry / mixed buildings)

In the street surveys, it was determined that there were 1391 buildings in total in the central neighborhoods of Bilecik (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) and 1021 of these buildings had reinforced concrete carcass system and 370 had mixed and masonry systems. Figure 2 shows the numerical and percentage distribution of reinforced concrete and masonry/mixed buildings located in the center of Bilecik.

B. METHOD

The parameters of number of stories, existing condition and apparent quality, soft story/weak story, heavy overhangs, short column effect, building adjacency/striking effect, topographic effect, seismic hazard and soil type for 1-7 stories reinforced concrete buildings were considered within the First stage Assessment Method that takes into account the building characteristics and earthquake risk by regulation on the implementation of Transformation of High Risk Areas Law No. 6306. In masonry/mixed buildings, data were obtained by considering the number of stories, existing condition and apparent quality, wall space ratio, wall space arrangement, striking effect and seismic hazard.

B. 1. Building Earthquake Parameters

B.1.1. Number of Stories

The findings obtained after the 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes show that there is an almost linear relationship between the number of stories in buildings and building damage. If the required strength is not provided with this increase, the building is damaged. As most of the buildings in Turkey do not have earthquake design, the number of stories and damage rate increases [14]. This characteristic was taken into consideration as a criterion in the assessment of reinforced concrete and masonry/mixed structures and was calculated by including basement story (if any).

B.1.2. Soft Story/ Weak Story

Soft-story refers to one level of a building that is significantly more flexible or weak in lateral load resistance than the stories above it. Soft story buildings are usually the buildings on the street. In this building type, the ground story is left empty of walls or with a reduced number of walls in comparison to the upper floors ground floor. In addition, these buildings have greater height than the rest of the floors. These conditions cause soft story/weak story formation [15]. This characteristic was taken into consideration as a criterion in the assessment of reinforced concrete buildings.

B.1.3. Heavy Overhangs

It represents the buildings that have overhangs in the upper floors for obtaining larger areas. Heavy overhangs cause rigid irregularities in the structure. It was obtained that in the previous earthquakes; the buildings with overhangs were damaged more than the building without overhangs [16]. This characteristic was taken into consideration as a criterion in the assessment of reinforced concrete buildings.

B.1.4. Existing Condition and Apparent Quality of the Structure

There is a close relationship between external appearance of the structure, the risk of damage and its quality. According to the external appearance of the structure, the building is classified as good quality, moderate quality and poor quality. It is expected that the material strength will be low in parallel with the low quality [14]. This characteristic is considered as a criterion in the assessment of reinforced concrete structures and masonry/mixed buildings.

B.1.5. Short Column Effect

It is the risk situation that arises from not filling the space inside the reinforced concrete frame in the outer columns with partition walls for different purposes such as tape windows [14]. This characteristic is considered as a criterion in the assessment of reinforced concrete structures.

B.1.6. Building Adjacency/Striking Effect

Due to the fact that the floor heights of the adjacent buildings are not at the same level, the movement that may occur in the event of an earthquake and that the adjacent buildings can collide to each other cause the striking effect [15]. This characteristic was taken into consideration as a criterion in the assessment of reinforced concrete building and masonry/mixed buildings.

B.1.7. Topographic Effect

The construction of the building on a high slope (at least 30 degrees) increases the earthquake effects significantly [14]. This characteristic was taken into consideration as a criterion in the assessment of reinforced concrete buildings.

B.1.8. Wall Space Ratio

One of the criteria for assessing masonry/mixed buildings is the wall space ratio. In the entrance facades of buildings, the wall space ratio is generally high, and the ratio of these spaces is classified as low, moderate and high. This classification can be made by the proportion of the length of the soaks on the floor to the length of the facade, and is defined as follow: if the ratio of the space is less than $1/3$, the space ratio is low, between $1/3$ and $2/3$ the space ratio is moderate and if it is more than $2/3$, the space ratio is high.

B.1.9. Wall Space Arrangement

In masonry/mixed buildings, spaces such as doors and windows should overlap and be in the same direction. If spaces are not in the same direction, damage to structures may be inevitable. In this respect, space projection should be checked. This characteristic is considered as a criterion in the assessment of masonry/mixed buildings.

B.1.10. Seismic Hazard and Soil Type

The northern part of Bilecik province is at risk due to the North Anatolian Fault line. In addition, the presence of active fault lines in the southern region carries the risk of earthquakes with high periods despite their relatively low magnitude [17].

The severity of the ground shake during the earthquake is related to the distance of the structure to the fault and the general ground conditions. Peak ground velocity is data representing ground conditions. Peak ground velocity PGV is the ground velocity that occurs when the fault line breaks. PGV, which has a direct connection with the soil type, has greater values in poor soil types. The center of Bilecik province is generally rock ground. For example, when Bilecik center coordinates in AFAD Turkey Earthquake Hazard Map are examined, PGV value is determined as < 40 cm/sec (Fig. 3), [18]. In this regard, PGV value indicates that Bilecik province is included in the Velocity Zone III.

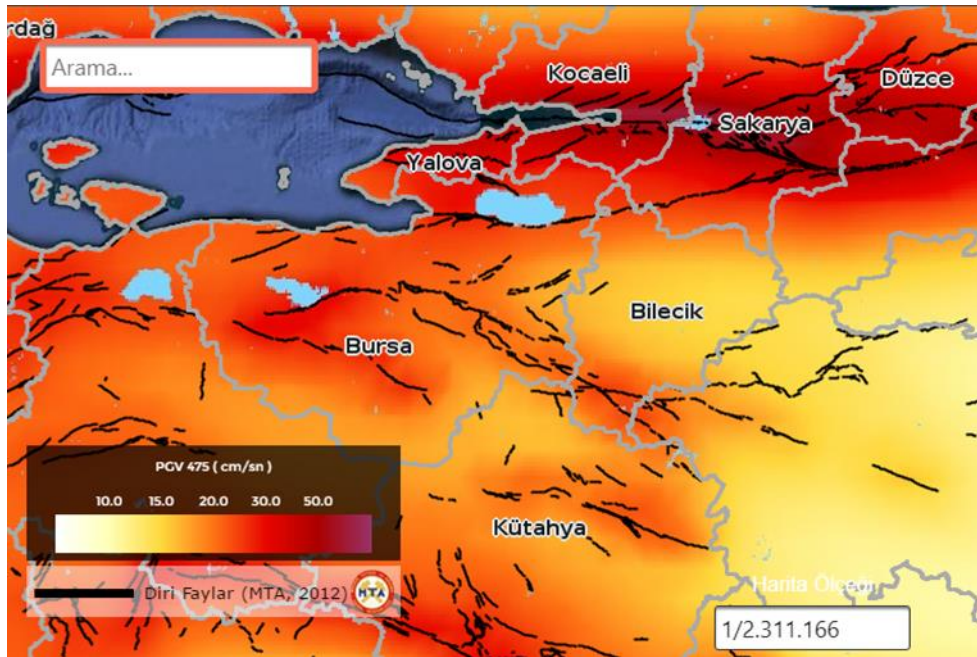


Figure 3. Earthquake map of Bilecik province and its distance to active faults [18]

The values for velocity zones are determined as follows:

Velocity Zone I : $PGV > 60$ cm/s

Velocity Zone II : $40 < PGV < 60$ cm/s

Velocity Zone III : $PGV < 40$ cm/s.

In the study the street survey data forms, which are included in Earthquake Council 2004 Investigation of Existing Structures and Building Inspection Commission Report and used in IDMP (2003), presented in Table 1 and 2 were used for reinforced concrete buildings and masonry/mixed buildings, respectively.

Table 1. First stage building scoring form in reinforced concrete structures

FORM 1. STREET INFORMATION			
Street Name			
Mahalle/District			
Geographical Coordinates 1			
Geographical Coordinates 2			
Velocity Zone			
Geographical Coordinates			
<i>Note: Geographical coordinates will be taken between the two ends of the street.</i>			
FORM 2. GENERAL BUILDING INFORMATION			
Door No	<input type="checkbox"/> Reinforced concrete	<input type="checkbox"/> Masonry	<input type="checkbox"/> Mixed
FORM 3. REINFORCED CONCRETE BUILDING INFORMATION			
Number of stories (basement is included):			
Soft story	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Yes	
Heavy overhangs	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Yes	
Apparent quality	<input type="checkbox"/> Good	<input type="checkbox"/> Moderate	<input type="checkbox"/> Poor
Short columns	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Yes	
Pounding effect	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Yes	
Topographic Effect	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Yes	

Table 2. First level building scoring form in masonry/mixed buildings

FORM 1. STREET INFORMATION			
Street name			
Mahalle/District			
Geographical Coordinates 1			
Geographical Coordinates 2			
Velocity Zone			
Geographical Coordinates			
<i>Note: Geographical coordinates will be taken between the two ends of the street.</i>			
FORM 2 GENERAL BUILDING INFORMATION			
Door No	<input type="checkbox"/> Reinforced concrete	<input type="checkbox"/> Masonry	<input type="checkbox"/> Mixed
FORM 3 MASONRY/MIXED BUILDING INFORMATION			
Number of stories (Basement is included):			
Wall space ratio	<input type="checkbox"/> Less	<input type="checkbox"/> Moderate	<input type="checkbox"/> High
Wall space arrangement	<input type="checkbox"/> Less	<input type="checkbox"/> Moderate	<input type="checkbox"/> High
Apparent quality	<input type="checkbox"/> Good	<input type="checkbox"/> Moderate	<input type="checkbox"/> Poor
Pounding effect	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Yes	

B. 2. Calculation of Building Earthquake Score

The criteria included in the calculation of the reinforced concrete building earthquake score are the velocity zone where the structure is located, soft story, heavy overhangs, apparent quality, short column, striking effect, topographic effect (Table 3). The criteria included in the calculation of masonry/mixed building earthquake score are the velocity zone where the structure is located, wall space ratio, wall space arrangement, apparent quality, striking effect (Table 4).

Table 3. Negative parameter coefficients used in concrete building calculations

Negative parameters	Parameter coefficient		
Soft story	No→ 0	Yes→ 1	
Heavy overhangs	No→ 0	Yes→ 1	
Apparent quality	Good→ 0	Moderate→ 1	Poor→ 2
Short column	Good→ 0	Yes→ 1	
Pounding effect	No→ 0	Yes→ 1	
Topographic Effect	No→ 0	Yes→ 1	

Table 4. Negative parameter coefficients used in masonry/mixed building calculations

Negative parameters	Parameter coefficient		
Apparent quality	Good→ 0	Moderate→ 1	Poor→ 2
Wall space ratio	Less→ 0	Moderate→ 1	High→ 2
Wall space arrangement	Regular→ 0	Slightly Regular→ 1	Irregular→ 2
Pounding effect	No→ 0	Yes→ 1	

The negative parameter coefficients were multiplied by the negative parameter scores, and therefore the scores of the buildings were calculated. Parameter points in reinforced concrete buildings are given in Table 5, and parameter points in masonry/mixed buildings are given in Table 6.

Table 5. Recommended velocity zone and negativity parameter scores depending on the number of stories in reinforced concrete buildings

Number of stories	Velocity Zone I.	Velocity Zone II.	Velocity Zone III.	PGV<40	Soft Story	Heavy Overhangs	Apparent Quality	Short Column	Pounding Effect	Topographic Effect
1,2	100	130	150	0	0	-10	-5	0	0	
3	90	120	140	-10	-5	-10	-5	-2	0	
4	75	100	120	-15	-10	-10	-5	-3	-2	
5	65	85	100	-20	-10	-10	-5	-3	-2	
6,7	60	80	90	-20	-10	-10	-5	-3	-2	

Table 6. Recommended velocity zone and negativity parameter scores depending on the number of floors in masonry/mixed buildings

Number of stories	Velocity Zone I. Zone PGV>60	Velocity Zone II. Zone 40<PGV<60	Velocity Zone III. Zone PGV<40	Apparent Quality	Wall space Ratio	Wall Space Arrangement	Pounding Effect
1,2	100	130	150	-10	-5	-2	0
3	85	110	125	-10	-5	-5	-3
4	70	90	110	-10	-5	-5	-5
5	50	60	70	-10	-5	-5	-5

In the light of the above data, earthquake scores of reinforced concrete and masonry/mixed buildings can be calculated with the following equation, as stated in Eq. 1.

$$\text{Building earthquake scores} = \text{Velocity Zone} - \sum_1^n (\text{negative parameter}) \times (\text{negative score})$$

(Eq. 1.)

The earthquake risk score of a building whose parameters are obtained by visual inspection from street and whose geographical coordinates are known, thus whose zone (PGV: Peak Ground Velocity) is known is obtained by scoring method (Table 7). In this method, a base point is given to the building according to the number of stories and the seismic hazard of the region where it is located (e.g. according to the velocity zone to be determined from the micro-zone maps). Then, the score is reduced to a certain extent for each negativity parameter. As a result, the lower the earthquake score is, the higher the risk of the building is. According to these data, earthquake score limit values were used to determine earthquake priority of buildings (Table 8).

Table 7. Risk groups of buildings according to earthquake scores

Building Earthquake Score Interval	BDP≤30	30<BDP≤60	60<BDP≤100	100≤BDP
Building Earthquake Reliability	High Risk	Moderate Risk	Low Risk	Safe

Table 8. Priority earthquake scoring in buildings

Building priority	Earthquake Score
1 th priority	0 – 65
2 nd priority	66 - 80
3 rd priority	81 - 100

III. RESULTS

In this study, the findings obtained from the parameters in the methods section in the central neighborhoods of Bilecik province are given below in tables for all neighborhoods.

A. The Findings Obtained from the Central Neighborhoods of Bilecik Province

A. 1. Apparent Quality Findings for Structures of Central Neighborhoods

The findings obtained as a result of the examination of the apparent quality status of reinforced concrete buildings in the central neighborhoods of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) are given in Figure 4 below.

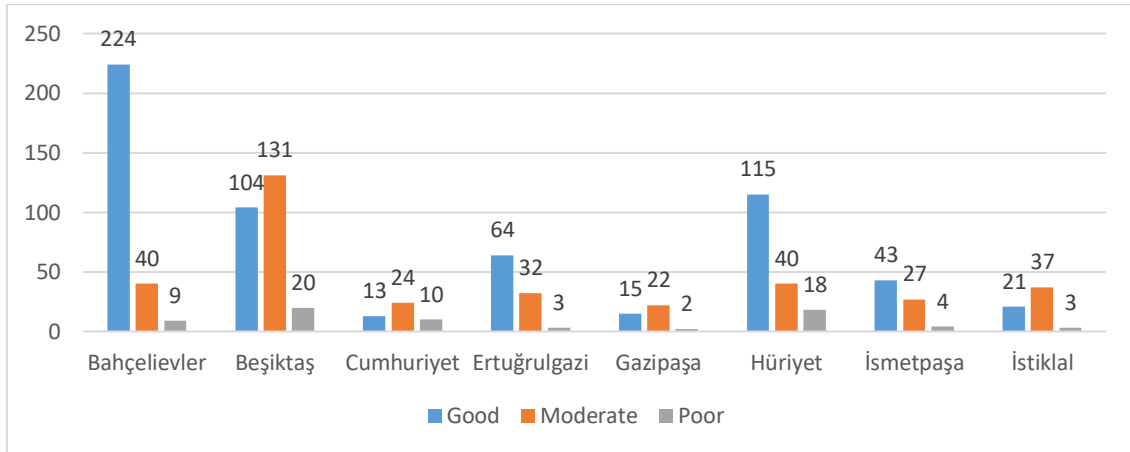


Figure 4. The apparent quality status of reinforced concrete buildings in the central neighborhood of Bilecik province, 1021 buildings.

When Figure 4 is examined, the ratio of good, moderate and poor appearance quality of reinforced concrete buildings in each neighborhood in the central neighborhoods was obtained as follows, respectively: 82%, 15%, 3% in Bahçelievler; 41%, 51%, 8% in Beşiktaş; 28%, 51%, 21% in Cumhuriyet; 65%, 32%, 3% in Ertuğrulgazi; 39%, 56%, 5% in Gazipaşa; 67%, 23%, 10% in Hürriyet; 58%, 37, 5%, %5 in İsmetpaşa and 34%, 61% and 5% in İstiklal.

The findings obtained as a result of examining the apparent quality status of masonry/mixed buildings in the central neighborhoods of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were given in Figure 5 below.

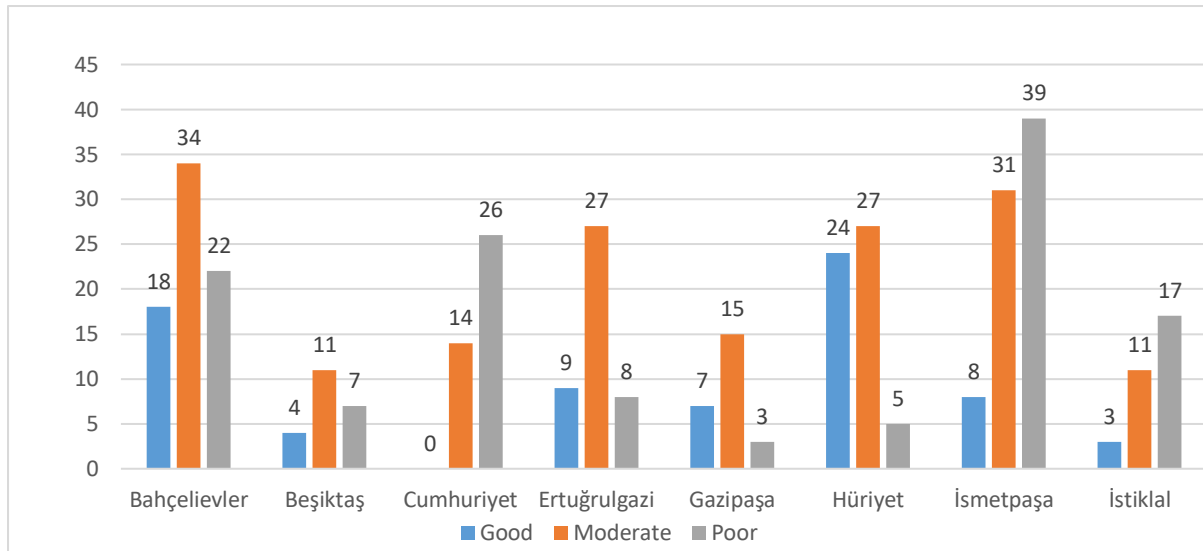


Figure 5. The apparent quality of the masonry/mixed buildings in the central neighborhoods of Bilecik province, 370 buildings.

When Figure 5 was examined, the good, moderate and poor apparent quality ratios of the masonry/mixed buildings in the central neighborhoods of Bilecik province were obtained as follows, respectively: 24%, 46%, 30% in Bahçelievler; 18%, 50%, 32% in Beşiktaş; 0%, 35%, 65% in Cumhuriyet; 21%, 61%, 18% in Ertuğrulgazi; 28%, 60%, 12% in Gazipaşa; 43%, 49%, 8% in Hürriyet; 10%, 40%, 50% in İsmetpaşa and 9%, 36%, 55% in İstiklal.

A. 2. Striking Effect Findings for Structures of Central Neighborhoods

The findings of striking effect of reinforced concrete buildings in the central districts of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were given in Figure 6 below.

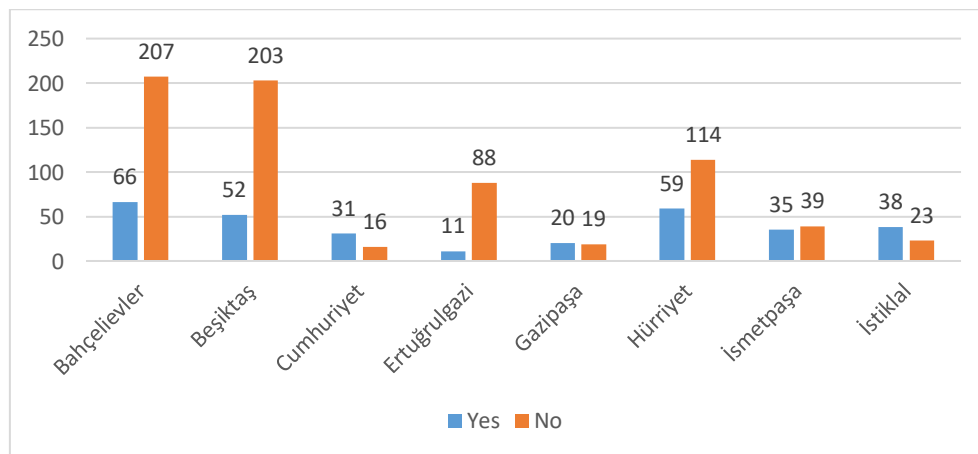


Figure 6. Pounding effect conditions of reinforced concrete buildings in central neighborhoods of Bilecik province, 1021 buildings

As can be seen in Figure 6, pounding effect of the reinforced concrete buildings in each central districts of Bilecik was obtained as follows: 24% in Bahçelievler, 20% in Beşiktaş, 66% in Cumhuriyet, 11% in Ertuğrulgazi, 51% in Gazipaşa, 34% in Hürriyet, 47% in İsmetpaşa and 61% in İstiklal.

The findings of striking effect of masonry/mixed buildings in central neighborhoods of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were presented in Figure 7 below.

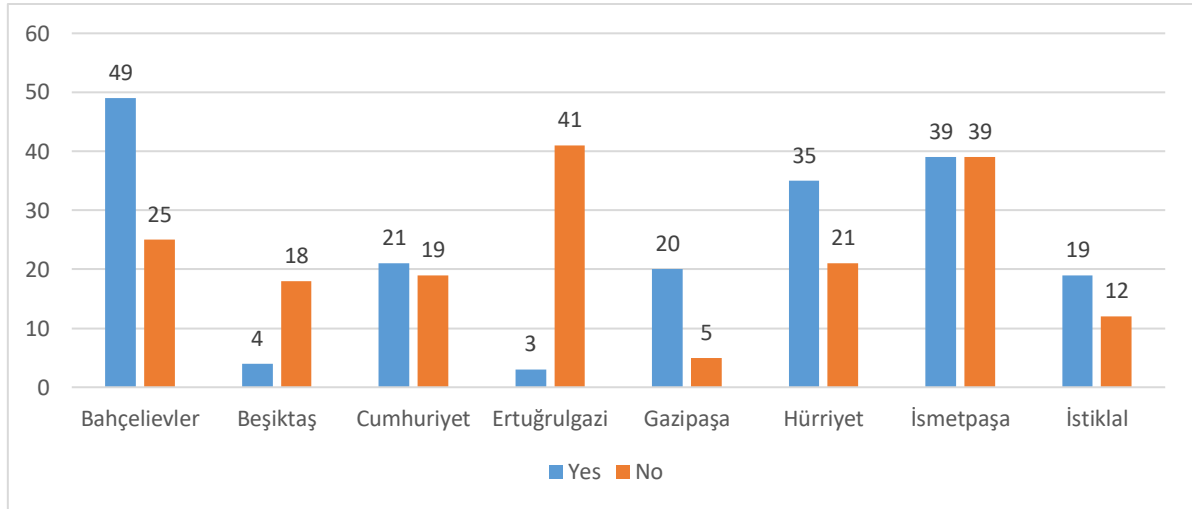


Figure 7. Pounding effect condition of masonry/mixed buildings in central neighborhoods of Bilecik province, 370 buildings

As can be seen in Figure 6, striking effect of the masonry/mixed buildings in each central districts of Bilecik was obtained as follows: 66% in Bahçelievler, 18% in Beşiktaş, 53% in Cumhuriyet, 7% in Ertuğrulgazi, 80% in Gazipaşa, 63% in Hürriyet, 50% in İsmetpaşa and 46% in İstiklal.

A. 3. Soft Story Findings for Structures of Central Neighborhoods

The findings of soft story condition of reinforced concrete buildings in the central districts of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were presented in Figure 8 below.

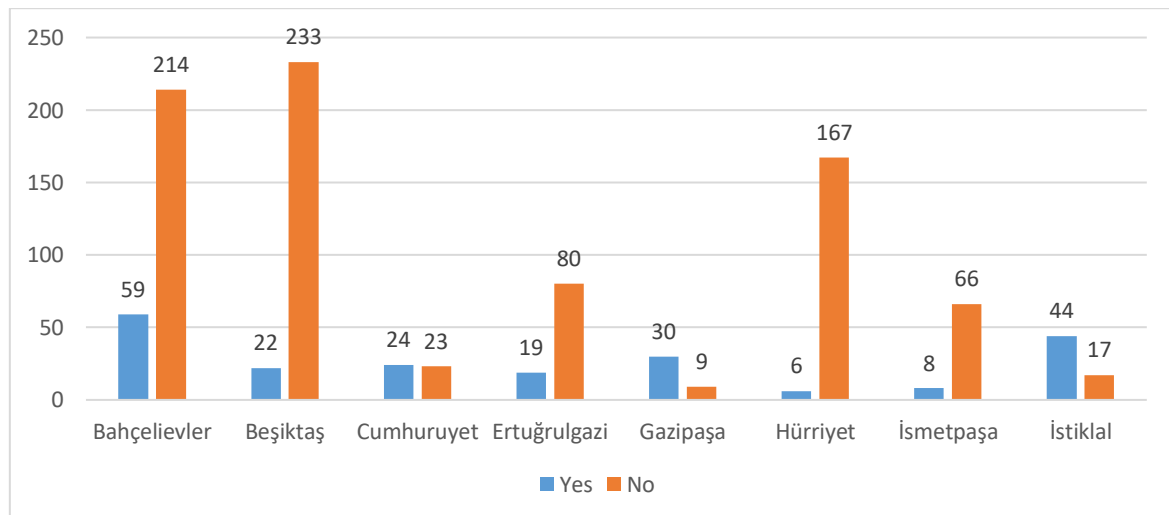


Figure 8. Soft story condition of reinforced concrete buildings in central neighborhoods of Bilecik province, 1021 buildings

When Figure 8 was examined, it was seen that soft story negativity parameter ratio of reinforced concrete buildings in each central districts of Bilecik was obtained as 21% in Bahçelievler, 9% in

Beşiktaş, 51% in Cumhuriyet, 19% in Ertuğrulgazi, 77% in Gazipaşa, 4% in Hürriyet, 11% in İsmetpaşa and 72% in İstiklal.

A. 4. Heavy Overhangs Findings for Structures of Central Neighborhoods

The findings of heavy overhangs condition of reinforced concrete buildings in the central districts of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were presented in Figure 9 below.

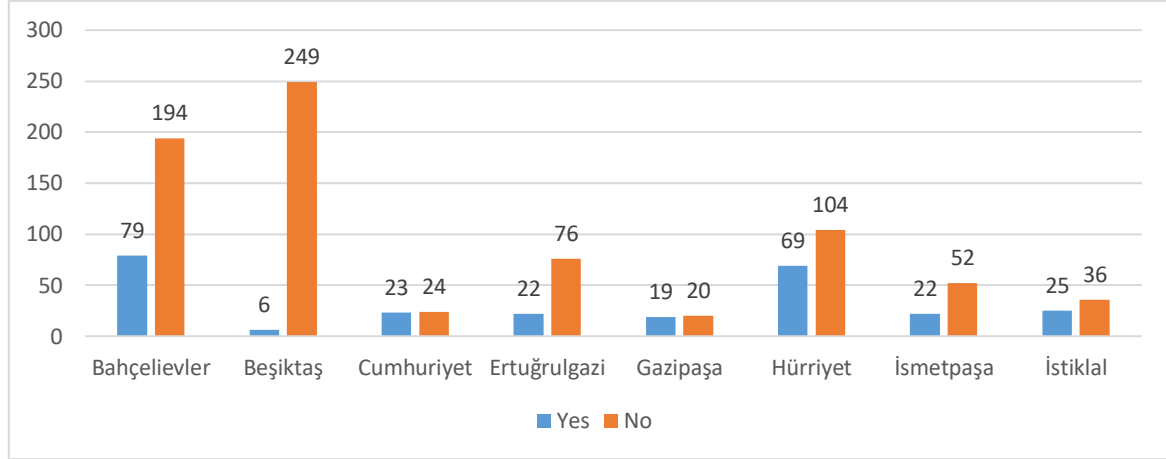


Figure 9. Heavy overhangs condition of reinforced concrete buildings in the central neighborhoods of Bilecik province, 1021 buildings

When Figure 9 was examined, it was seen that heavy overhangs ratio of reinforced concrete buildings in each central districts of Bilecik was obtained as 29% in Bahçelievler, 2% in Beşiktaş, 49% in Cumhuriyet, 23% in Ertuğrulgazi, 49% in Gazipaşa, 40% in Hürriyet, 30% in İsmetpaşa and 41% in İstiklal.

A. 5. Short Column Findings for Structures of Central Neighborhoods

The findings of short column condition of reinforced concrete buildings in the central districts of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were presented in Figure 10 below.

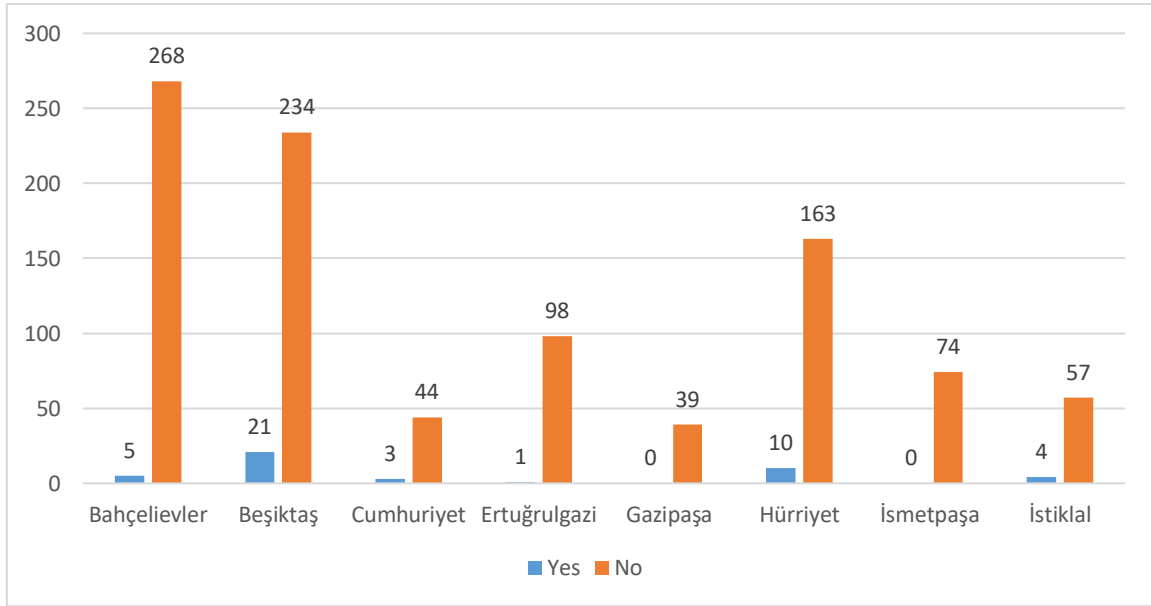


Figure 10. Short column conditions of reinforced concrete buildings in central neighborhoods of Bilecik province, 1021 building

As can be seen in Figure 10, short column ratio of reinforced concrete buildings in each central districts of Bilecik was obtained as 2% in Bahçelievler, 8% in Beşiktaş, 6% in Cumhuriyet, 1% in Ertuğrulgazi, 0% in Gazipaşa, 6% in Hürriyet, 0% in İsmetpaşa and 7% in İstiklal.

A. 6. Topographic Effect Findings for Structures of Central Neighborhoods

The findings of topographic effect condition of reinforced concrete buildings in the central districts of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were presented in Figure 11 below.

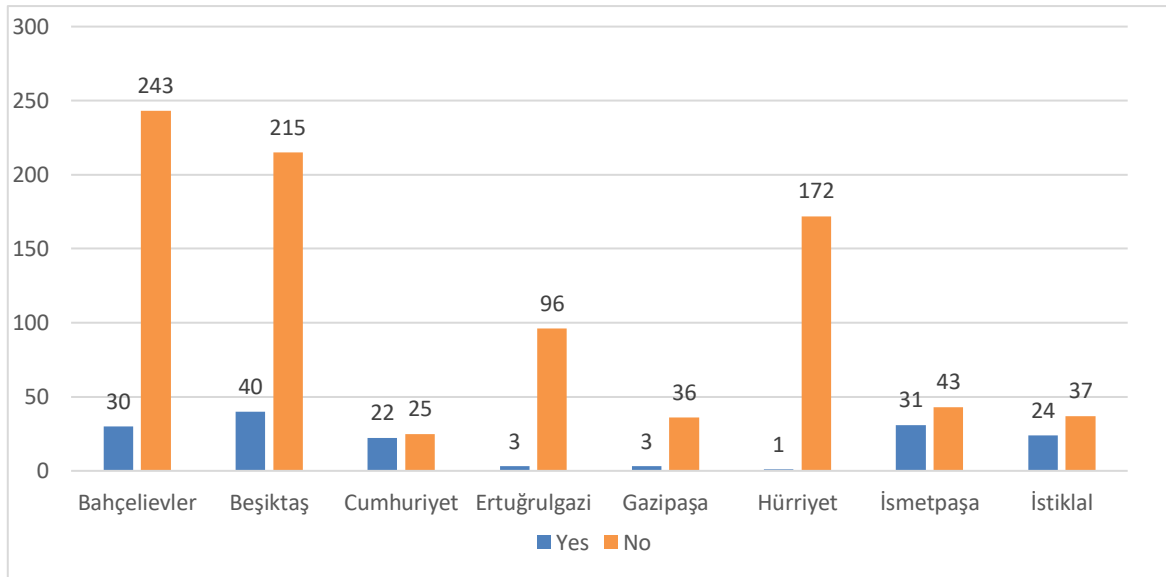


Figure 11. Topographic effect conditions of reinforced concrete buildings in central neighborhoods of Bilecik province, 1021 buildings

As can be seen in Figure 11, topographic effect ratio of reinforced concrete buildings in each central districts of Bilecik was obtained as 11% in Bahçelievler, 16% in Beşiktaş, 47% in Cumhuriyet, 3% in Ertuğrulgazi, 8% in Gazipaşa, 1% in Hürriyet, 42% in İsmetpaşa and 38% in İstiklal.

A. 7. Wall Space Ratio for Structures of Central Neighborhoods

The findings of wall space condition of masonry/mixed buildings in the central districts of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were presented in Figure 12 below.

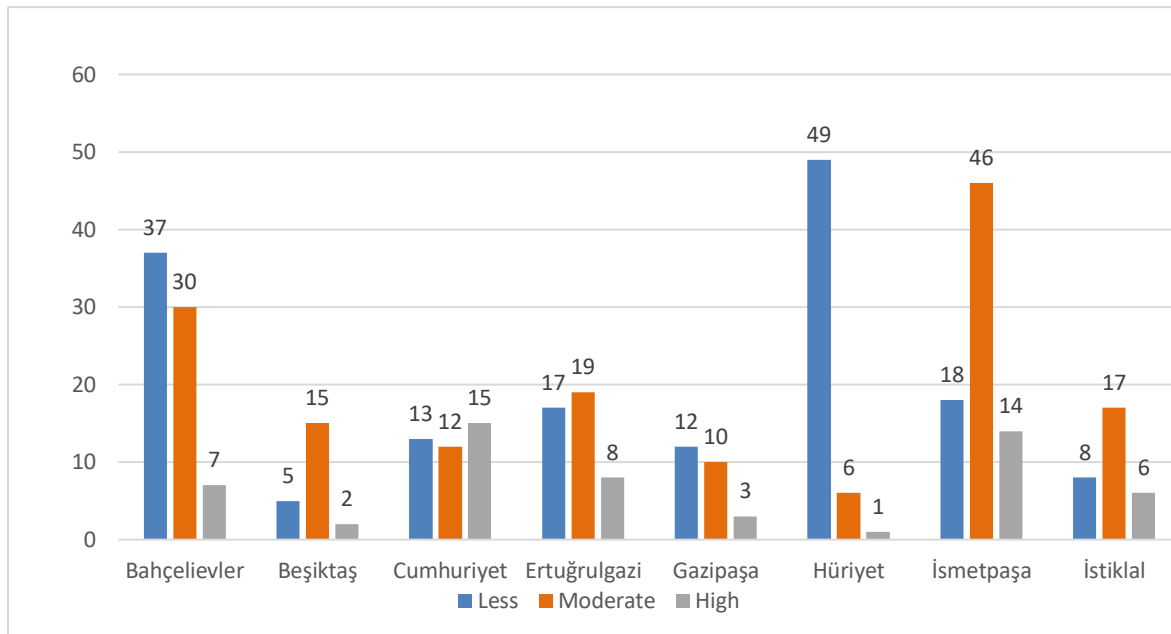


Figure 12. Wall space ratio of masonry/mixed buildings in central neighborhoods of Bilecik province, 370 buildings

When Figure 12 was examined, it was seen that the less, moderate and high level wall space ratios of the masonry/mixed buildings in the central neighborhoods of Bilecik province were obtained as follows, respectively: 50%, 41%, 9% in Bahçelievler; 23%, 68%, 9% in Beşiktaş; 33%, 30%, 37% in Cumhuriyet; 39%, 43%, 18% in Ertuğrulgazi; 48%, 40%, 12% in Gazipaşa; 88%, 10%, 2% in Hürriyet; 22%, 59%, 19% in İsmetpaşa and 26%, 55%, 19% in İstiklal.

A. 8. Wall Space Arrangement for Structures of Central Neighborhoods

The findings of wall space arrangement of masonry/mixed buildings in the central districts of Bilecik province (Hürriyet, Bahçelievler, İsmetpaşa, Ertuğrulgazi, Beşiktaş, İstiklal, Cumhuriyet, Gazipaşa) were presented in Figure 13 below.

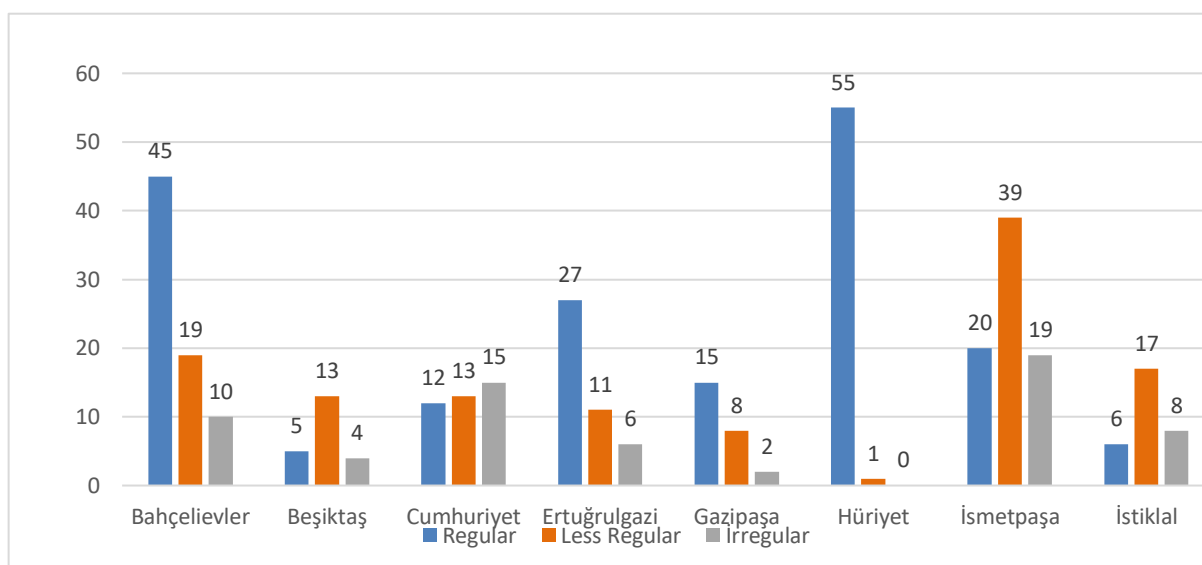


Figure 13. Wall space arrangement of masonry/mixed buildings in central neighborhoods of Bilecik province, 370 buildings.

The findings of wall space arrangement condition of the masonry/mixed buildings in central neighborhoods of Bilecik province, which were determined as regular, less regular and irregular, were obtained as follows: 61%, 26%, 13% in Bahçelievler; 23%, 59%, 18% in Beşiktaş; 30%, 33%, 37% in Cumhuriyet; 61%, 25%, 14% in Ertuğrulgazi; 60%, 32%, 8% in Gazipaşa; 98%, 2%, 0% in Hürriyet; 26%, 50%, 24% in İsmetpaşa and 19%, 55%, 26% in İstiklal.

A. 9. Earthquake Scores and Risk Findings for Structures of Central Neighborhoods

As a result of the Street Survey Method evaluation of the central neighborhoods of Bilecik province, the factors as the earthquake velocity, short column effect, soft story formation, apparent quality condition, topographic effect, heavy overhangs effect were calculated as a result of the calculations in the equation, and the average seismic scores and building seismic safety risk class were determined. The obtained findings were presented in Table 9.

Table 9. Building seismic scores of reinforced concrete buildings examined in the assessment of street survey method

Name of District	Average Seismic Score	Building Seismic Safety
Bahçelievler	98	Low Risk
Beşiktaş	117	Safe
Cumhuriyet	91	Low Risk
Ertuğrulgazi	101	Safe
Gazipaşa	75	Low Risk
Hürriyet	108	Safe
İsmetpaşa	99	Low Risk
İstiklal	84	Low risk

The data obtained from the street survey method evaluation of the central neighborhoods of masonry/mixed buildings in Bilecik province for the factors as earthquake velocity, apparent quality, wall space ratio, wall space arrangement, striking effect and the calculations in the equation were used to

determine the average seismic scores and general building seismic safety risk class. The findings were presented in Table 10.

Table 10. Seismic scores of masonry/mixed buildings examined in the assessment of street survey method

Name of District	Average Seismic Score	Building Seismic Safety
Bahçelievler	120	Safe
Beşiktaş	126	Safe
Cumhuriyet	125	Safe
Ertuğrulgazi	124	Safe
Gazipaşa	120	Safe
Hürriyet	134	Safe
İsmetpaşa	116	Safe
İstiklal	123	Safe

IV. CONCLUSIONS

In this study, the existing reinforced concrete structure stock in Bahçelievler, Beşiktaş, Cumhuriyet, Ertuğrulgazi, Gazipaşa, Hürriyet, İsmetpaşa, İstiklal neighborhoods from the central districts of Bilecik was investigated by street survey method and the following results were obtained considering the probability of being affected by earthquakes. The assessment was made on a total of 1391 buildings, including 1021 reinforced concrete and 370 masonry/mixed.

- Bilecik city center is located in an area with active fault lines, but it is located in Velocity Zone III due to the fact that the ground structure is generally rocky. This is a factor that increases the seismicity score of reinforced concrete and masonry/mixed buildings.
- In terms of earthquake behavior of the buildings, the less irregularity is, the better the performance is. When the soft story condition is evaluated, it is seen that 212 reinforced concrete buildings in the center of Bilecik have soft stories. When the reinforced concrete structure stock of the each neighborhood is evaluated within itself, it is seen that the lowest rate is in Hürriyet neighborhood by 4% and the highest rate is in Ertuğrulgazi neighborhood by 77% and İstiklal neighborhood by 72%. The reason for this is that Ertuğrulgazi and İstiklal neighborhoods are located in the bazaar area and most of the reinforced concrete buildings are as shops. It is foreseen that taking the necessary measures to reduce the soft story effect will be beneficial in reducing the risk of damage during the earthquake.
- The apparent quality is directly related to the service life of the building. Service life is usually defined as the period of time during which the performance of the building meets or exceeds initial requirements. This period directly affects material quality and performance. In this respect, the structures examined are directly related to the life and maintenance of the building and provide information on the quality of the buildings. Among the reinforced concrete buildings, the highest apparent quality rate was obtained for Bahçelievler neighborhood by 82%, and the poorest apparent quality rate was obtained for Cumhuriyet neighborhood with a rate of 24%. Among the masonry / mixed buildings, Hürriyet Neighborhood is in the first place with 43% among other neighborhoods in terms of the apparent quality, while the structures with poor quality are in Cumhuriyet Neighborhood with 55%. The fact that the number of buildings with high concrete and masonry/mixed construction age in Cumhuriyet district is higher may explain this situation.
- Among the central districts of Bilecik, Beşiktaş had the lowest rate of heavy overhangs (2%), while Cumhuriyet (49%) and Gazipaşa (49%) had the highest heavy overhangs ratios. Since Cumhuriyet and Gazipaşa Neighborhoods are shopping and bazaar districts, it is thought that this application was used to expand the residence and service area of the district.

- Although short-columned structures in central districts of Bilecik Province were not found in İsmetpaşa and Gazipaşa neighborhoods, they were mostly found in İstiklal Neighborhood (7%). When these ratios are taken into consideration, it is observed that short column construction is taken into consideration and short column manufacturing is avoided. These results are pleasing since the probability of damage due to short column effect during earthquake is low.
- Among the reinforced concrete buildings in central districts of Bilecik province, Ertuğrulgazi (24%) had the lowest striking effect ratio, while Cumhuriyet (66%) and İstiklal (61%) had the highest pounding effect ratio. When the pounding effect ratio of masonry/mixed structures is examined, the neighborhood with the highest striking effect was found as Bahçelievler by 66%. In terms of reinforced concrete buildings, Cumhuriyet and İstiklal buildings and in masonry/mixed buildings in Bahçelievler neighborhoods are allowed to be built with adjacent regulations, however it is necessary to draw attention to the building level equality. It is also important to leave an earthquake joint between buildings.
- In terms of wall space arrangement of the masonry/mixed buildings, Hürriyet neighborhood was found to have the highest regular wall space arrangement by 98%. On the other hand, the neighborhood with the highest rate of irregular walls was Cumhuriyet neighborhood by 37%. It is desirable that the spaces be projected in the same direction in terms of bearing in masonry/mixed structures.
- When the wall space ratio in masonry/mixed buildings was examined, the lowest wall space rate was found in Hürriyet by 88%. On the other hand, Cumhuriyet neighborhood was found to have the highest rate of wall space by 37%. It is desirable that the wall space ratio is low in the masonry/mixed structure types as the walls are bearing elements.
- Cumhuriyet neighborhood was found to have the highest topographic effect ratio by 47%. It can be suggested that the construction should be made on the areas where the slope is less. Based on the average scores obtained by calculating the existing reinforced concrete building stocks building seismic scores of Bahçelievler, Beşiktaş, Cumhuriyet, Ertuğrulgazi, Gazipaşa, Hürriyet, İsmetpaşa, İstiklal neighborhoods, it was obtained that Bahçelievler, Cumhuriyet, Gazipaşa, İsmetpaşa and İstiklal neighborhoods were low risky and Beşiktaş, Ertuğrulgazi and Hürriyet neighborhoods were safe. The low risky and safe neighborhoods do not mean that the buildings are 100% compliant with the earthquake regulations.

V. REFERENCES

- [1] M.Mohammadi, "Investigation of earthquake performance of reinforced concrete-masonry mixed structures," M.S. thesis, Graduate Education Institute, Konya Technical University, Konya, Turkey, 2019.
- [2] A. Akgönen, "Investigation of earthquake resistant building design and repair reinforcement techniques," M.S.thesis, Institute of Science and Technology, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, Turkey, 2005.
- [3] A. Gürbüz and M. Tekin, "Determination of regional earthquake risk distribution of existing buildings by performance ranking method," *Celal Bayar University Journal of Science.*, vol. 11, no 1, pp. 37-48, 2015.
- [4] M. Özkaratay, "Evaluation of a 6-storey Reinforced Concrete Building Demolished In Düzce Earthquake With Different Methods," M.S. thesis, Institute of Science, Istanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 2014.

- [5] Z. Tozlu, Ö. Anıl and M. Şahmaran, "Comprehensive Field Application of The Rapid Assessment Technique Within The Scope of The Urban Transformation Law No. 6306: The Example of Niğde," 3. *Turkey Earthquake Engineering and Seismology Conference*, İzmir, Turkey, 2015.
- [6] R. Temür, "Rapid Due Diligence (DURTES) Method and development of a computer program," M.S.thesis, Institute of Science, Istanbul University, Istanbul, Turkey, 2006.
- [7] E. Işık and Z. Tozlu, "Calculation of structure performance score using different variables," *BEÜ Journal of Science, BEU Journal of Science*, vol. 4, no. 2, pp. 161-172, 2015.
- [8] D. Okuyucu, G. Savaş, B. Gedik, M. Şuşarlıoğlu and T. Kara, "Determination of regional earthquake risk distribution of buildings by street scanning method: Erzurum - Yenişehir example," *Firat University Journal of Engineering Sciences*, vol.30, no. 1, pp. 219-231, 2018.
- [9] H. Tokgöz, and H. Bayraktar, "Application of Street Scanning Method in The Identification of Risky Buildings in Düzcce Province Kaynaşlı District," *Düzce University Journal of Science and Technology*, vol.3, no.1, pp. 107-116, 2015.
- [10] A. Yakut, "Examination of Seismic Performance Assessment Procedures For Rc Buildings in Turkey," *Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering*, Anchorage, Alaska, July 21-25, 2014.
- [11] İ. B. Karaşin and E. Işık, "Evaluation of an existing masonry structure with different rapid evaluation methods," *Journal of Dicle University Institute of Science*, vol. 5, no. 2, pp. 70-76, 2016.
- [12] Bilecik Province Environmental Status Report for 2017. (2019, Jan 1). *ÇED, Permission and Inspection General Directorate Environmental Inventory and Information Management Department, Ankara*, [Online]. Available: https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/b-lec-k_-cdr2017-20180611172347.pdf.
- [13] Bilecik ili haritası. (2018, Jan 1). [Online]. Available: http://cografyaharita.com/haritalarim/41_bilecik_ili_haritasi.png.
- [14] Inspection of Existing Structures and Building Inspection Commission Report, Earthquake Council, Ministry of Public Works and Settlement, Ankara, 2004.
- [15] B. Özdemir, "A field study on the determination of earthquake risks of buildings using the first level assessment method: an example of Giresun Province Şebinkarahisar District," M.S.thesis, Institute of Science, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey, 2015.
- [16] H. Sucuoğlu, "Determination of earthquake risks in urban building stocks by street scanning method," *Sixth National Earthquake Engineering Conference*, İstanbul, Turkey, 2007.
- [17] B. Görgün and N. Ural, "Determination of Seismicity of Bilecik City Center," *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 394-402, 2018.
- [18] AFAD (2019, Jan 1). T.C. Ministry of Interior, Disaster and Emergency Management Presidency, Earthquake Department. [Online]. Available: <https://deprem.afad.gov.tr/>



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

A Stacking Ensemble Learning Approach for Intrusion Detection System

Murat UÇAR ^a, Emine UÇAR ^{a,*}, Mürsel Ozan İNCETAŞ^b

^a Department of Management Information Systems, Faculty of Business and Management Sciences, İskenderun Technical University, Hatay, TURKEY

^b Department of Computer Technologies, ALTSO Vocational School, Alanya Alaaddin Keykubat University, Antalya, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: emine.ucar@iste.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.737211

ABSTRACT

Intrusion detection systems (IDSs) have received great interest in computer science, along with increased network productivity and security threats. The purpose of this study is to determine whether the incoming network traffic is normal or an attack based on 41 features in the NSL-KDD dataset. In this paper, the performance of a stacking technique for network intrusion detection was analysed. Stacking technique is an ensemble approach which is used for combining various classification methods to produce a preferable classifier. Stacking models were trained on the NSLKDD training dataset and evaluated on the NSLKDDTest+ and NSLKDDTest21 test datasets. In the stacking technique, four different algorithms were used as base learners and an algorithm was used as a stacking meta learner. Logistic Regression (LR), Decision Trees (DT), Artificial Neural Networks (ANN), and K Nearest Neighbor (KNN) are the base learner models and Support Vector Machine (SVM) model is the meta learner. The proposed models were evaluated using accuracy rate and other performance metrics of classification. Experimental results showed that stacking significantly improved the performance of intrusion detection systems. The ensemble classifier (DT-LR-ANN + SVM) model achieved the best accuracy results with 90.57% in the NSLKDDTest + dataset and 84.32% in the NSLKDDTest21 dataset.

Keywords: Intrusion detection, Stacking, Security, Ensemble learning

Saldırı Tespit Sistemi İçin İstifleme Topluluk Öğrenme Yaklaşımı

Öz

Saldırı tespit sistemleri (STS'ler), artan ağ verimliliği ve güvenlik tehditlerinin yanı sıra bilgisayar bilimlerinde de büyük ilgi görmüştür. Bu çalışmanın amacı, NSL-KDD veri kümesindeki 41 özelliğe bağlı olarak gelen ağ trafiğinin, normal veya saldırı olup olmadığını belirlemektir. Bu yazıda, ağ izinsiz giriş tespiti için bir istifleme tekniğinin performansı analiz edilmiştir. İstifleme tekniği, tercih edilebilir bir sınıflandırıcı üretmek için çeşitli sınıflandırma yöntemlerini birleştirerek kullanılan bir topluluk yaklaşımıdır. İstifleme modelleri NSLKDD eğitim veri seti üzerinde eğitilmiş ve NSLKDDTest+ ve NSLKDDTest21 test veri setleri üzerinde test edilmiştir. İstifleme tekniğinde temel öğrenenler olarak dört farklı algoritma ve istifleme meta öğrencisi olarak bir algoritma kullanılmıştır. Lojistik Regresyon (LR), Karar Ağaçları (KA), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve K En Yakın Komşu (KEYK) temel öğrenici modelleridir ve Destek Vektör Makinesi (DVM) modeli meta öğrencidir. Önerilen modeller, doğruluk oranı ve sınıflandırmanın diğer performans metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Deney sonuçları istiflemenin saldırı tespit sisteminin performansını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Topluluk sınıflandırıcısı (KA-LR-YSA + DVM) modeli, NSLKDDTest+ veri kümesinde %90.57 ve NSLKDDTest21 veri kümesinde %84.32 ile en iyi sonuçlara ulaşmıştır.

I. INTRODUCTION

Over the past decades, the Internet has become an indispensable part of our daily lives and day-to-day growth of the Internet has made it an impeccable space for attackers [1]. Because of the faintness of computer systems' security, many of the computer networks have been exposed to hackers' attacks. According to the 2017 Cybercrime Report, cybercrime activity is one of the largest challenges over the next twenty years and Cybersecurity Ventures projected that cybercrime will cost the world \$6 trillion yearly by 2021, up from \$3 trillion in 2015 [2]. Although using firewalls and some access control mechanisms are the most preferred techniques for intrusion detection/prevention systems, they fail when the attacker is within the network or when using unknown attack types [3]. Therefore, providing network security is very important to ensure the confidentiality and integrity of data.

Intrusion Detection Systems (IDS) are defined as tools, processes and applications that include monitoring and analyzing of network traffic for the detection of unauthorized attacks, violations and threats[4]. Basically, it is a service used to protect the network and traffic from malicious activity and to prevent the network from attackers' unauthorized access. Most of the Intrusion Detection Systems use one of two detection methods: signature based intrusion detection systems and anomaly detection based intrusion detection systems [5]. Basically, signature based detection is utilized to search harmful package strings in network traffic and compare them with previously identified attacks while anomaly detection is more appropriate to detect unknown attacks based on the profiles recognizing normal (and anomalous) behaviors. Obviously, the main purpose of these techniques is to detect the intrusions for better preparation against future attacks [6].

Ensemble learning is the machine learning technique which combines a set of classifiers to improve accuracy performance in many classification problems. It is accepted that the ensemble classifier can perform better than a single classifier in terms of accuracy and robustness [7]. Therefore, in this study, a new stacking-based ensemble method approach, which provides both high accuracy and good interpretability, is proposed for network intrusion detection.

This manuscript is arranged as follows. Section II gives an extensive review of ensemble learning approaches for intrusion detection. Section III explains the ensemble learning methods and assessment metrics in detail. Section IV explains the data and presents the experimental studies. Section V presents the stacking models' results and comparison analyzes. At last, the paper is concluded by Section VI.

II. RELATED WORK

Various ensemble learning models were suggested in the literature to improve the detection of anomaly in the computer network traffic. Gyanchandani et al. utilized the decision tree algorithm in boosting, bagging and stacking ensemble techniques. They used NSL-KDD dataset and compared their model for classification but did not test it on unseen attacks [8]. Bahri et al. used a hybrid model based upon a Greedy-Boost ensemble technique. They utilized KDD 99 dataset in their study and used the AdaBoost, C4.5, and Greedy-Boost algorithms. They measured the precision and recall metrics for the performance of models. Their findings stated that their strategy was great in identifying rare attacks, however was not tried on unknown attacks [9]. In another study, to solve the problem of intrusion detection, Syarif et al. utilized four different classification algorithms for boosting, bagging, and stacking ensemble methods. Their methodology accomplished more than 99% accuracy rate at known intrusions detection. But, the accuracy rate was just 60% at detecting new types of intrusions [10]. Shrivastava et al. developed an ensemble technique for detecting intrusion. They utilized gain ratio for feature selection and a Bayesian network and artificial neural network algorithms as base learners

of classification [11]. In their study Gaikwad and Thool utilized a bagging ensemble method for intrusion detection problems. They used genetic algorithms for feature selection and used partial decision tree-based classifiers for the ensemble technique. Although the ensemble approach utilized in their study reduced the model-building time, the findings showed that the C4.5 algorithm had better results than the bagged PART ensemble technique [12]. Tama and Rhee studied an ensemble technique on the NSL-KDD dataset. For binary classification they used the majority voting method and the averaging of posterior probabilities. Their findings stated that the averaging of posterior probabilities method accomplished the highest performance. But they did not test the model on unknown attacks [13]. In the other study, Choudry and Bhowal developed an ensemble approach based on bagging, boosting and stacking. They utilized NSL-KDD dataset for the binary classification. They also compared machine learning algorithms with ensemble methods and the findings stated that the Boosting algorithm had the best performance [14]. Thaseen and Kumar utilized principal component analysis (PCA) and support vector machines (SVM) with RBF kernel for intrusion detection. They noted that the proposed model could better detect minor U2R and R2L attacks [15].

In addition, there were studies using deep learning algorithms to detect anomalies in computer network traffic in recent years. Naseer et al., have done a comprehensive study. They evolved different intrusion detection models including autoencoders, convolutional neural networks (CNN), and recurrent neural networks (RNN). They used the NSL-KDD training data set for training and the NSLKDDTest + and NSLKDDTest21 test datasets for evaluating the models. Experimental results of deep IDS models showed that Long Short Term Memory (LSTM) model achieved the best accuracy results with 89% in the NSLKDDTest+ dataset and 80% in the NSLKDDTest21 dataset [16]. Aygun and Yavuz used the deterministic autoencoders (AE) and the stochastic denoising auto encoders (DAE) models for IDS and compared the achievements of the models. Their results noted that the suggested AE and DAE models perform almost the same accuracy rate of 88.28% and 88.65% respectively [17]. Yin et al., developed a deep learning method for intrusion detection including RNN. They compared RNN model with traditional machine learning classification methods. The experimental results showed that RNN works with a good detection rate, 83.28% for NSLKDDTest+ dataset and 68.55% for the KDDTest21 dataset [18]. Shone et al, proposed a new deep learning model based on nonsymmetric deep autocoder and tested the performance of this model using KDD Cup '99 and NSL-KDD datasets. According to the test results obtained in the study, they reported that the proposed method achieved promising success when compared with the existing approaches [19]. Tang et al, proposed a new deep learning model for network intrusion detection based on Software Defined Networking (SDN), which is called DeepIDS. They tested the performance of the proposed model on the NSL-KDD data set with two different deep learning algorithms as anomaly detector. The authors stated that the performance of the model was acceptable according to the results obtained in experimental studies [20].

The findings from the previous studies mentioned above show that many studies have been carried out on network intrusion detection, but there are still gaps for improvement with new studies. For this reason, we believe that the stacking ensemble learning approach proposed in this article will provide a valid contribution to the existing literature with the high accuracy rate it achieves.

III. MATERIALS AND METHODS

A. CLASSIFIER COMBINATION TECHNIQUE

An ensemble of classifiers is a group of methods that combines individual determinations for classifying new instances. The aim of combining classifiers is to increase a single classifier's accuracy [21]. Stacking is the acronym for Stacked Generalization [22]. It utilizes various learning techniques to produce the ensemble of classifiers, unlike bagging and boosting. The primary theme of stacking is to compound classifiers from various learners like support vector machines, decision trees, instance-based learners, etc. Stacking does not use a voting process when combining the classifier, because if

most of the classifiers make poor predictions, that will make a poor classification. To tackle this issue, stacking utilizes the notion of meta classifier. The meta learner (or level-1 model), attempts to learn, using a learning algorithm, how to combine the predictions of the base classifiers (or level-0 models) [21].

In this study five types of classifiers such as Logistic Regression, Artificial Neural Networks, Decision Trees, K Nearest Neighbors and Support Vector Machines were used. The details of these classifiers were as follows:

Logistic regression (LR) is a generalized theory of linear regression. LR is principally utilized to predict binary or multi-class dependent variables. LR investigates the relationship between the input variables and the output by predicting probabilities. As shown in Equation (1), LR measures the probability of Y by given X.

$$P(Y = 1|X = x) \quad (1)$$

The main purpose of LR is to utilize the linear regression, where the equation P of linear regression is given in Equation (2).

$$w_1x_1 + w_2x_2 + \dots = \sum w_ix_i \quad (2)$$

In equation (3) logit transformation is used to transform linear regression to LR and equation (4) gives the solving of P [23].

$$\log \frac{P(x)}{1 - P(x)} \quad (3)$$

$$P = \frac{e^{\sum w_ix_i}}{1 + e^{\sum w_ix_i}} = \frac{1}{1 + e^{-\sum w_ix_i}} \quad (4)$$

Artificial neural networks (ANNs) are mathematical methods that can model highly complicated non-linear functions inspired by biological systems [24]. Artificial neural networks suggest that the nonlinear relationship between dependent variable and independent variables is entirely based upon data without statistical hypothesis. The ANN model is composed of layers with interconnected neurons. The multi-layer perceptron model has an input layer, one or more hidden layers, and an output layer. Neurons in the input layer distribute the input signal to the neurons in the hidden layer. In the hidden layer, the information from the input layer is processed and transmitted to the output layer. In the output layer, the information coming from the hidden layer is processed and the output produced by the network for the input provided to the network from the input layer is presented to the outside world. [25].

Decision tree (DT) is a type of supervised learning algorithm that is mostly used in classification problems. Basically a DT consists of a set of nodes and each node involves a rule for each attribute. An instance that is to be classified is tested according to the node rules by moving down the tree branch, beginning from the root node. The process is reiterated until the leaf nodes for all subtrees. Then each leaf is marked as the best class or it could involve the probability of the target class [26]. In order to obtain the highest possible estimation accuracy, decision tree algorithm separates observations in branches recursively for constructing a tree. To do this, various algorithms such as information gain, Gini index, Chi-square statistics, etc. are used to define the threshold value to divide the observation pool into two or more subgroups.

The k-nearest neighbor (k-NN) is a straightforward and efficient method for classifying objects based on the nearest instances of training in the feature space [27]. For classification, k-NN algorithm evaluates the class of the nearest neighbor according to the given K value. In this algorithm, the

classification of a vector is found by using known vectors. When a sample is selected for the test, to determine the class of this sample k samples are selected that are closest to the sample. Which class has the most examples in the selected set of samples, the tested sample is included in this class. In k -NN, the Euclidean distance is often utilized to measure the distances of two samples:

$$d^2(x_i, x_j) = \|x_i - x_j\|^2 = \sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2 \quad (5)$$

where $(x_i, x_j) \in R^d, x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$. In this study the k value was determined by an iterative experimentation process.

Support vector machines (SVMs) are a member of the generalized linear models' family and they aim to obtain an estimation with a linear combination of variable features [28]. SVM uses nonlinear kernel functions to convert input data into a high-dimensional property field that becomes more manageable than the original input field [29]. Basically, the objective of SVM is to discover a formulation of a hyperplane which distinguishes the training data. It tries to find the optimal hyperplane by maximizing the distance between the two closest samples in two-class problems to leave data points of the same class on the same side of the hyperplane. While this hyperplane is called optimal hyperplane, the closest vectors on both sides of this hyperplane are called support vectors. After the formulation is determined for the optimal hyperplane, this formulation can be used as a model for assigning new data into a class.

B. PERFORMANCE METRICS

The performances of stacking model discussed in this study were measured using different metrics such as Overall Accuracy (ACC), True Positive Rate (TPR), True Negative Rate (TNR), False Positive Rate (FPR), and False Negative Rate (FNR). Overall Accuracy estimates the ratio of the correctly recognized records to the whole test dataset. The performance metrics were calculated using following formulas:

$$Accuracy\ rate = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (6)$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (7)$$

$$TNR = \frac{TN}{TN + FP} \quad (8)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (9)$$

$$FNR = \frac{FN}{FN + TP} \quad (10)$$

True Positive (TP), if the model classifies an attack as an attack, the result is recognized as TP. False Negative (FN), if the model classifies an attack as a normal instance, the result is recognized as FN. False Positive (FP), if the model classifies a normal instance as an attack, the result is recognized as FP. True Negative (TN), if the model classifies a normal instance as a normal instance, the result is recognized as TN. The values of correctly or incorrectly predicted samples such as TP, FN, FP, and TN were presented in Table 1 in the form of a confusion matrix.

Table 1. Confusion matrix

		Predicted Class	
		Attack	Normal
Actual Class	Attack	TP	FN
	Normal	FP	TN

IV. EXPERIMENTS

A. DATASET

KDDCUP'99 dataset is the most widely used dataset to test the models developed for detecting abnormalities in computer network traffic. However, in the studies carried out on this dataset, researchers have determined that some conditions negatively affect the success of the models. In order to solve these problems, some records in the KDDCUP'99 dataset were eliminated and a new dataset called NSL-KDD was created for testing the proposed systems [30]. For this reason, the NSL-KDD dataset was used to evaluate the accuracy performances of proposed ensemble methods. The NSL-KDDtrain dataset contains a total of 125973 records of different attack types and normal data traffic [31]. Each record of the network traffic is represented by 41 features [30]. Details of training and testing records of the NSL-KDD dataset and feature descriptions are indicated in Table2 and Table3, respectively [32].

Table 2. Training and testing records of the NSL-KDD dataset

	Description	NSLKDDTrain+	NSLKDDTest+	NSLKDDTest21
Normal	Connections are normal	67343	9711	2152
Attack	DoS, Probe, R2L, U2R	58630	12833	9698
Total		125973	22544	11850

Table 3. Features of NSL-KDD dataset

Number	Features	Types	Number	Features	Types
1	Duration	Numeric	22	is_guest_login	Binary
2	Protocol_type	Nominal	23	count	Numeric
3	Service	Nominal	24	srv_count	Numeric
4	Flag	Nominal	25	serror_rate	Numeric
5	src_bytes		26	srv_serror_rate	Numeric
6	dst_bytes	Numeric	27	rerror_rate	Numeric
7	Land	Binary	28	srv_rerror_rate	Numeric
8	wrong_fragment	Numeric	29	same_srv_rate	Numeric
9	urgent	Numeric	30	diff_srv_rate	Numeric
10	hot	Numeric	31	srv_diff_host_rate	Numeric
11	num_failed_logins	Numeric	32	dst_host_count	Numeric
12	logged_in	Binary	33	dst_host_srv_count	Numeric
13	num_compromised	Numeric	34	dst_host_same_srv_rate	Numeric
14	root_shell	Binary	35	dst_host_diff_srv_rate	Numeric
15	su_attempted	Binary	36	dst_host_same_src_port_rate	Numeric
16	num_root	Numeric	37	dst_host_srv_diff_host_rate	Numeric
17	num_file_creations	Numeric	38	dst_host_serror_rate	Numeric

18	num_shells	Numeric	39	dst_host_srv_error_rate	Numeric
19	num_access_files	Numeric	40	dst_host_error_rate	Numeric
20	num_outbound_cmds	Numeric	41	dst_host_srv_error_rate	Numeric
21	is_host_login	Binary			

B. TRAINING

In this stacking model, which is proposed using the supervised learning approach, first the base learners were trained from the initial (base-level) training sets. Then the predictions by the learned classifiers were generated on a distinct validation dataset. And then a meta-level training set was composed from the validation set and the predictions produced by the classifiers on the validation set. Finally, the meta classifier was trained from the meta-level training set. The stacking architecture used to detect anomalies in this study is presented in Fig. 1.

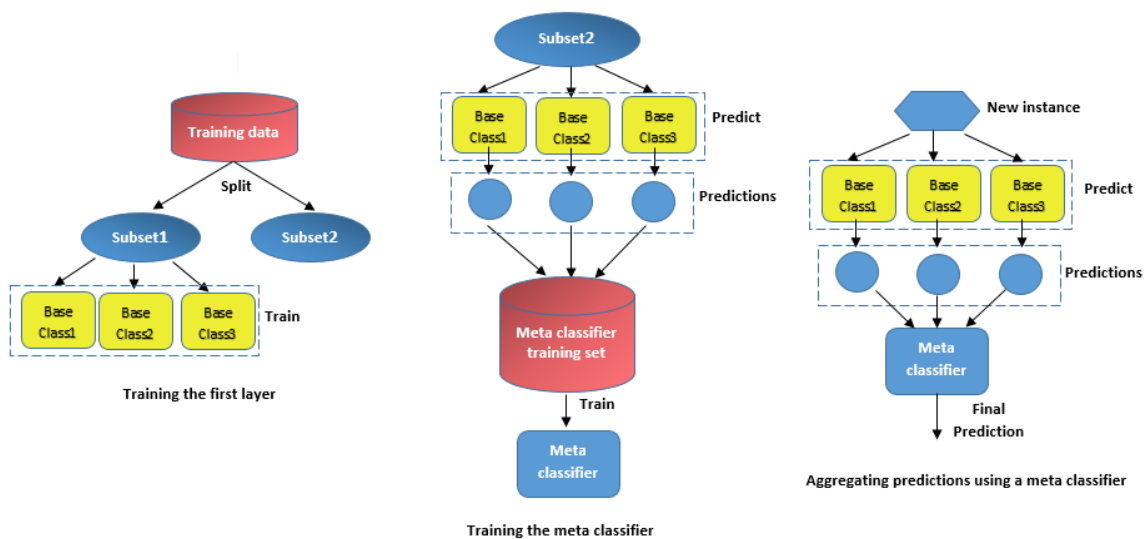


Figure 1. The stacking architecture used to detect anomalies

In the stacking technique, four different algorithms were used as base learners and an algorithm was used as a stacking meta learner. Different combinations of LR, DT, ANN, and KNN models were applied. Table 4 presents the stacking model combinations.

Table 4. Stacking model combinations

MODEL	BASE LEARNERS	STACKING MODEL LEARNER
Stacking Model 1	Decision Tree	Support Vector Machines
	K-Nearest Neighbor	
	Logistic Regression	
Stacking Model 2	Decision Tree	Support Vector Machines
	Artificial Neural Network	
	Logistic Regression	
Stacking Model 3	K-Nearest Neighbor	Support Vector Machines
	Logistic Regression	
	Artificial Neural Network	
Stacking Model 4	Decision Tree	Support Vector Machines
	Artificial Neural Network	
	K-Nearest Neighbor	

As a result of the experiments, the ANN architecture consists of one input layer, two hidden layers and one output layer. The neuron numbers of the input layer relies on the type and amount of variables in the dataset (41 for this research). The neuron numbers of the output layer relies on the count of class labels connected with the researched classification case (2 for this research). To find the optimum number of neurons for each hidden layer, different numbers of neurons were tested. The best results were obtained when 50 neurons were used in the first hidden layer and 20 in the second one. ReLU activation function was used in hidden layers. Adam was used as an optimizer and Keras binary cross-entropy used as a loss function. Learning rate value was set to 0.001. The output layer activation function was softmax. To prevent overfitting, a dropout layer was added after each hidden layer and the dropout value was set to 0.3. Batch size was set to 32 and the training was completed in 14 epochs. In applying the DT method, the Gini index algorithm was used to measure the quality of a division, and the maximum tree depth was not limited. In applying the KNN method, it was found that the best result was obtained when the k value was selected as 12. Polynomial kernel was used in SVM and it was set as degree 15.

V. RESULTS AND EVALUATIONS

In this study, a stacking-based approach was presented to determine whether the incoming network traffic is normal or an attack. The focus of the study was to demonstrate the performance of stacking technique for network intrusion detection. All the codes prepared for the proposed approach were implemented with Scikit-learn library [33] written in Python language. All experimental studies were performed on both NSLKDDTest + and NSLKDDTest21 data sets in order to measure the performance of stacking models. In this context, the general accuracy, TPR, TNR, FPR and FNR values obtained from all models in the test data set for the NSLKDDTest + and NSLKDDTest21 dataset were given in Table 5 and Table 6, respectively. Then the performance of the proposed approach was compared with other studies in this field.

Table 5. Prediction Results of Stacking Models

	NSLKDDTest+					NSLKDDTest21				
	Overall Accuracy	TNR	TPR	FNR	FPR	Overall Accuracy	TNR	TPR	FNR	FPR
Stacking Model 1 (DT-KNN-LR + SVM)	0,8334	0,9609	0,7369	0,2630	0,0390	0,6845	0,8317	0,6518	0,3481	0,1682
Stacking Model 2 (DT-ANN-LR + SVM)	0,9057	0,9049	0,9063	0,0936	0,0950	0,8432	0,6951	0,8760	0,1239	0,3048
Stacking Model 3 (ANN-KNN-LR + SVM)	0,8871	0,9048	0,8737	0,1262	0,0951	0,8082	0,6970	0,8329	0,1670	0,3029
Stacking Model 4 (DT-ANN-KNN + SVM)	0,8399	0,9596	0,7493	0,2506	0,0403	0,6968	0,8257	0,6682	0,3317	0,1742

Table 6. Predicted Evaluation Metrics of Stacking Models

STACKING MODEL 1 (DT-KNN-LR + SVM)					
	NSLKDDTest+		NSLKDDTest21		
	Attack	Normal	Attack	Normal	
Attack	9457	3376	6322	3376	
Normal	379	9332	362	1790	
STACKING MODEL 2 (DT-ANN-LR + SVM)					
	NSLKDDTest+		NSLKDDTest21		
	Attack	Normal	Attack	Normal	
Attack	11631	1202	8496	1202	
Normal	923	8788	656	1496	
STACKING MODEL 3 (ANN-KNN-LR + SVM)					
	NSLKDDTest+		NSLKDDTest21		
	Attack	Normal	Attack	Normal	
Attack	11213	1620	8078	1620	
Normal	924	8787	652	1500	
STACKING MODEL 4 (DT-ANN-KNN + SVM)					
	NSLKDDTest+		NSLKDDTest21		
	Attack	Normal	Attack	Normal	
Attack	9616	3217	6481	3217	
Normal	392	9319	375	1777	

Accuracy results of stacking models were given in Figure 2.

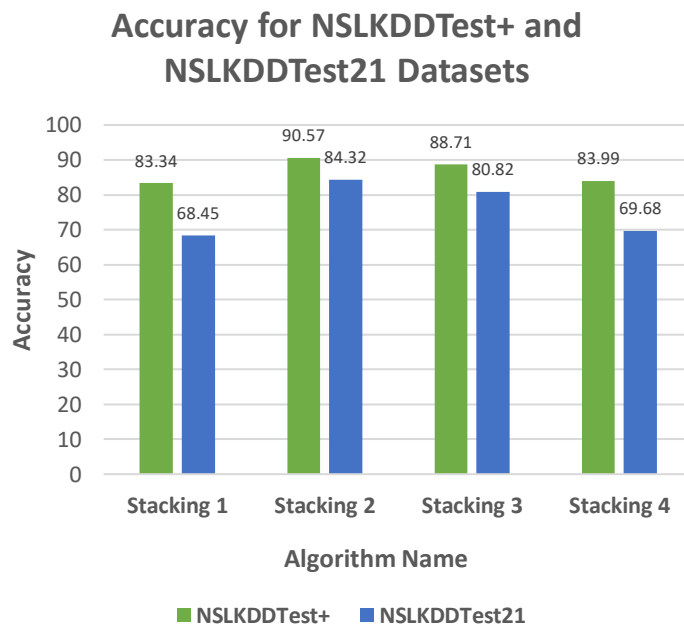


Figure 2. Comparison of stacking model accuracies applied on NSLKDDTest+ and NSLKDDTest21 datasets.

There were research papers in the literature using the same training and testing strategy with our proposed study. In Table 7, we compared obtained results of our model with the results of these papers.

Table 7. Predicted Evaluation Metrics of Stacking Models

COMPARISON MODEL	ACCURACY (%)	
	NSLKDDTest+	NSLKDDTest21
NBTree[30]	82.02	66.16
Decision Tree[34]	80.14	80.14
Fuzzy Classifier[35]	82.74	-
Random Tree+ NBTree[36]	89.24	80.0
Long Short Term Memory LSTM[16]	89.0	83.0
Denoising Autoencoder[17]	88.65	-
Recurrent Neural Networks[18]	83.28	68.55
StackingModel2 (Our approach)	90.57	84.32

As can be seen in Table 7, some researchers used traditional methods for network intrusion detection [30, 34-36], some used deep learning methods [16-18]. Tavallaee et al., introduced a new data set, called NSL-KDD. This data set is composed of selected records of the KDD data set and is not affected by any deficiencies [30]. They employed various classifiers for intrusion detection. They reported that NBTree classifier achieved the best accuracy results with 82.02% in the NSLKDDTest+ dataset and 66.16% in the NSLKDDTest21 dataset. Mohammadi et al., used three different classifiers such as neural network-based, distance-based and DT based for detecting network intrusion. Interestingly, they reported the same overall accuracy for both test sets. In addition, no clear information was given about values of the parameters they used in the decision tree classifier proposed in the study [34]. Krömer et al., proposed a genetic programming (GP) to evolve fuzzy classifier. They used NSLKDDTrain+ training dataset for training the fuzzy classifier and NSLKDDTest+ data set for testing the classifier. They reported that their approach had an 82.74% accuracy score. In this study, it was not clearly stated whether the parameters used in the proposed model were default or not [35]. Kevric et al., evolved a combined classifier model based on tree algorithms. Their combining classifier (Random Tree+ NBTree) achieved the best accuracy results with 89.24% in the NSLKDDTest+ dataset and 80% in the NSLKDDTest21 dataset [36]. On the other hand, in some studies [35,17], it was seen that the performance of the proposed models was tested only on the NSLKDDTest+ data set. These models were not tested on the NSLKDDTest21 dataset with unknown attacks. Considering the performance of the models in terms of overall accuracy, it is seen that the proposed solution approach in this study has achieved the best results on both test data sets.

VI. CONCLUSIONS

In this paper a stacking ensemble technique was used to develop a network intrusion detection system using the NSL-KDD dataset. To evaluate the effectiveness of proposed approach accuracy results and performance metrics of test datasets were used. The experimental results showed that the stacking method is very useful for detecting intrusions. The ensemble classifier (DT-LR-ANN + SVM) model achieved the best accuracy results with 90.57% in the NSLKDDTest+ dataset and 84.32% in the NSLKDDTest21 dataset.

VII. REFERENCES

- [1] C. Tsai, Y. Hsu, C. Lin, and W. Lin, "Expert Systems with Applications Intrusion detection by machine learning : A review," *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 10, pp. 11994–12000, 2009.
- [2] S. Morgan, (2019, Jun 15). "2017 Cyber Crime Report." [Online]. Available: <https://cybersecurityventures.com/2015-wp/wp-content/uploads/2017/10/2017-CybercrimeReport.pdf>.
- [3] G. Karataş and O. Şahingöz, "Neural network based intrusion detection systems with different training functions," *IEEE*, pp. 1–6, 2018.
- [4] D. P. Vinchurkar and A. Reshamwala, "A review of intrusion detection system using neural network and machine learning technique," *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, vol. 1, no. 2, pp. 54–63, 2012.
- [5] K. Leung and C. Leckie, "Unsupervised anomaly detection in network intrusion detection using clusters," in *Proceedings of the Twenty-eighth Australasian Conference on Computer Science – Volume 38*, 2005, pp. 333–342.
- [6] P. Ning and S. Jajodia, (2020, Feb 10). "Intrusion detection techniques." [Online]. Available: <https://doi.org/10.1002/047148296X.tie097>.
- [7] L. I. Kuncheva, J. C. Bezdek and R. P. Duin, "Decision templates for multiple classifier fusion: an experimental comparison," *Pattern Recognition*, vol. 34, no. 2, pp. 299–314, 2001.
- [8] M. Gyanchandani, R. N. Yadav and J. L. Rana, "Intrusion Detection using C4 . 5 : Performance Enhancement by Classifier Combination," *ACEEE Int. J. on Signal & Image Processing*, vol. 01, no. 03, pp. 46–49, 2010.
- [9] E. Bahri, N. Harbi, and H. N. Huu, "Approach Based Ensemble Methods for Better and Faster Intrusion Detection," in *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Intelligence in Security for Information Systems*, 2011, pp. 17–24.
- [10] I. Syarif, E. Zaluska, A. Prugel-Bennett, and G. Wills, "Application of bagging, boosting and stacking to intrusion detection," in *Proceedings of the 8th International Conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*, 2012, pp. 593–602.
- [11] A. K. Shrivastava and A. K. Dewangan, "Article: An ensemble model for classification of attacks with feature selection based on KDD99 and NSL-KDD Data Set," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 99, no. 15, pp. 8–13, 2014.
- [12] D. P. Gaikwad and R. C. Thool, "Intrusion detection system using bagging with partial decision treebase classifier," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 49, pp. 92–98, 2015.
- [13] B. A. Tama and K. H. Rhee, "A Combination of PSO-Based Feature Selection and Tree-Based Classifiers Ensemble for Intrusion Detection Systems," in *CSA/CUTE*, 2015.
- [14] S. Choudhury and A. Bhowal, "Comparative analysis of machine learning algorithms along with classifiers for network intrusion detection," *2015 Int. Conf. Smart Technol. Manag. Comput. Commun. Control. Energy Mater.*, 2015, pp. 89–95.
- [15] I. S. Thaseen and C. A. Kumar, "Intrusion detection model using fusion of PCA and optimized

SVM,” in *2014 International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)*, 2014, pp. 879–884.

[16] S. Naseer, Y. Saleem, S. Khalid, M. K. Bashir, J. Han, M. M. Iqbal and K. Han, “Enhanced network anomaly detection based on deep neural networks,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 48231–48246, 2018.

[17] R. C. Aygun and A. G. Yavuz, “Network anomaly detection with stochastically improved autoencoder based models,” *2017 IEEE 4th Int. Conf. Cyber Secur. Cloud Comput.*, 2017, pp. 193–198.

[18] C. Yin, Y. Zhu, J. Fei, and X. He, “A deep learning approach for intrusion detection using recurrent neural networks,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 21954–21961, 2017.

[19] N. Shone, T. N. Ngoc, V. D. Phai and Q. Shi, “A deep learning approach to network intrusion detection,” in *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, vol. 2, no. 1, pp. 41–50, 2018.

[20] T. A. Tang, L. Mhamdi, D. McLernon, S.A.R. Zaidi, M. Ghogho and F El Moussa, “DeepIDS: deep learning approach for intrusion detection in software defined networking,” *Electronics*, vol. 9, pp. 1533, 2020.

[21] A. Ledezma, R. Aler, and D. Borrajo, “Heuristic Search-Based Stacking of Classifiers,” 2002.

[22] D. H. Wolpert, “Stacked Generalization,” *Neural Networks*, vol. 5, pp. 241–259, 1992.

[23] Z.-H. Zhou, *Ensemble Methods: Foundations and Algorithms*, 1st ed. Chapman & Hall/CRC, 2012.

[24] S. Haykin, *Neural Networks and Learning Machines*. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

[25] E. Öztemel, *Yapay Sinir Ağları*. İstanbul, Türkiye: PapatyaYayıncılık, 2012

[26] N. Demir and G. Dalkiliç, “Modified stacking ensemble approach to detect network intrusion,” *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 26, pp. 418–433, 2018.

[27] W. Wang, X. Zhang, and S. Gombault, “Constructing attribute weights from computer audit data for effective intrusion detection,” *J. Syst. Softw.*, vol. 82, pp. 1974–1981, 2009.

[28] M. Pontil and A. Verri, “Support vector machines for 3D object recognition,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 20, no. 6, pp. 637–646, 1998.

[29] N. Cristianini and J. Shawe-Taylor, *An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods*. Cambridge University Press, 2000.

[30] M. Tavallaee, E. Bagheri, W. Lu, and A. A. Ghorbani, “A detailed analysis of the KDD CUP 99 data set,” in *2009 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications*, 2009, pp. 1–6.

[31] UNB. (2021, March 6). “*The NSL-KDD Data Set*.” [Online]. Available:https://github.com/defcom17/NSL_KDD.

[32] T. Poongothai, K. Jayarajan and P.Udayakumar, “An Effective and Intelligent Intrusion Detection System using Deep Auto-Encoders”, *IJAST*, vol. 29, no. 9s, pp. 3139–3154, 2020.


- [33] F. Pedregosa *et al.*, “Scikit-learn: Machine Learning in Python,” *J. Mach. Learn. Res.*, vol. 12, no. 85, pp. 2825–2830, 2011.
- [34] M. Mohammadi, B. Raahemi, A. Akbari, and B. Nasersharif, “New class-dependent feature transformation for intrusion detection systems,” *Secur. Commun. Networks*, vol. 5, pp. 1296–1311, 2012.
- [35] P. Krömer, J. Platos, V. Snásel, and A. Abraham, “Fuzzy classification by evolutionary algorithms,” *2011 IEEE Int. Conf. Syst. Man, Cybern.*, 2011, pp. 313–318.
- [36] J. Kevric, S. Jukic, and A. Subasi, “An effective combining classifier approach using tree algorithms for network intrusion detection,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 28, pp. 1051–1058, 2016.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

The Effects of Steel Core Imperfection, Gap Size and Friction Coefficient on the Behavior of All-Steel Buckling Restrained Braces

 Yasin Onuralp ÖZKILIÇ^{a,*}

^a Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Necmettin Erbakan University, Konya, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: yozkili@erbakan.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.843214

ABSTRACT

Buckling restrained braces (BRBs) which are generally composed of a steel core and a encasing(buckling restrainers) are utilized to resist lateral forces in high seismic regions since BRBs exhibit high energy dissipation capacity, ductility and stiffness. The steel core carries both compressive and tensile forces. During the compression, the core starts buckling and the encasing tries to prevent this buckling. However, due to the unbonding layer/gap between the encasing and steel core, the steel core eventually buckles and contacts with the encasing. Buckling phenomenon is also associated with the initial imperfection and gap size. In this study, the effects of the initial imperfection of steel core, gap size (1-5 mm) and friction coefficient (0.01-0.5) between the encasing and steel core on the behavior of BRBs are investigated. Pursuant to this goal, numerical analyses using a finite element tool ABAQUS were conducted. A total of 19 numerical models were developed and monotonically loaded. Initial imperfection was implemented to the models using buckling mode shapes. The results revealed that increasing gap size leads to a reduction in load-carrying capacity. It is recommended to keep gap sizes between 1 and 2 mm. On the other hand, initial imperfection does not significantly affect load-carrying capacity and global behavior. However, it was also observed that the fluctuations in load increase as the amplitude of the mode shape and gap size increase. Moreover, the friction coefficient should be kept between 0.01 and 0.05; otherwise, undesired behaviors can be observed.

Keywords: Buckling restrained braces, ABAQUS, Buckling, Imperfection, Gap, Friction coefficient, Steel core.

Çelik Çekirdek Kusurunun, Boşluk Boyutunun ve Sürtünme Katsayısının Tamamı Çelik Burkulması Önlenmiş Çaprazların Davranışına Etkileri

ÖZ

Burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ'ler), genellikle bir çelik çekirdekten ve bir burkulmayı önleyen ortamdan oluşan, yüksek enerji sönmeme kapasiteleri, süneklik ve rijitlik sergiledikleri için, yüksek sismik bölgelerde yanal kuvvetlere direnmek için kullanılır. Çelik çekirdek hem basınç hem de çekme kuvvetlerini taşır. Basınç sırasında çekirdek burkulmaya başlar ve burkulmayı önleyen ortam bu burkulmayı önlemeye çalışır. Bununla birlikte, enkesit ve çelik çekirdek arasındaki boşluk nedeniyle, çelik çekirdek sonunda burkulur. Burkulma fenomeni ayrıca başlangıç kusuru ve sürtünmesiz yüzey/başlangıç boyutu ile de ilişkilidir. Bu çalışmada, çelik çekirdeğin başlangıç kusurunun, boşluk boyutunun (1-5 mm) ve sürtünme katsayısının (0.01-0.5) BÖÇ'lerin davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda sonlu elemanlar aracı ABAQUS kullanılarak numerik analizler yapılmıştır. Toplam 19 sayısal model geliştirilmiştir ve tekdüze yüklenmiştir. İlk kusur,

burkulma mod şekilleri kullanılarak modellere uygulandı. Sonuçlar, boşluk boyutu artıkça yük taşıma kapasitesinde azalmaya sebep olduğunu ortaya koymuştur. Boşluk boyutunun 1 ile 2 mm arasında tutulması önerilmiştir. Diğer bir yandan, ilk kusurun yük taşıma kapasitesini ve genel davranışı etkilememiştir. Ancak mod şeklinin ölçeği ve boşluk boyutu artıkça yükteki dalgalanmaların da arttığı görülmüştür. Ayrıca, sürtünme katsayısı 0.01 ile 0.05 arasında tutulmalıdır yoksa istenmeyen davranışlar gözlemlenebilir.

*Anahtar Kelimeler:*Burkulması önlenmiş çaprazlar, ABAQUS, Burkulma, Kusur, Boşluk, Sürtünme katsayısı, Çelik çekirdek.

I. INTRODUCTION

Lateral resisting systems are desired to have high rigidity under wind and seismic loadings [1]. Buckling Restrained Braces (BRBs) are one of the lateral resisting systems which are designed to resist lateral force during a severe seismic event. Unlike conventional braces such as concentrically braced frames, they exhibited stable hysteresis behavior which leads to high energy dissipation capacity, ductility, and stiffness. This behavior is achieved by yielding under both tension and compression.

BRBs, which are sort of metallic dampers, display a balanced hysteretic behavior by axial yielding under reversed cyclic tension and compression forces during major earthquakes. Frames incorporating BRBs could also be used with the purpose of seismic retrofitting to increase lateral stiffness and strength of existing reinforced concrete (RC) or steel buildings. Recently, some further applications are being made in Japan and the USA, particularly as ductile energy dissipating end diaphragms in steel bridges. Approximate symmetric behavior of BRBs under tension and compression and their feature of not causing any degradation in terms of stiffness and strength as well as obtaining stable hysteretic curves expand their area of use. Furthermore, when compared to other alternative seismic energy dissipation systems, BRBs have several advantages such as easy replacement following an earthquake (if needed), easy construction with relatively low cost and simple end connection details [2-4].

Buckling restrained brace includes a core and an encasing. Figure 1 demonstrates a typical buckling restrained brace. A typical buckling restrained brace can be divided into three segments: restrained yielding segment (restrained plastic zone), restrained non-yielding segment (restrained elastic zone), unrestrained non-yielding segment (unrestrained elastic zone). These segments are illustrated in Figure 1. The unrestrained non-yielding segment is used to connect a buckling restrained brace to a frame. The restrained yielding segment is composed of a core and an encasing. Restrained non-yielding is designed to show elastic behavior [5]. Generally, the core element is made of steel material. For the encasing, concrete encasing [6-8] or all-steel encasing [9,10] is generally preferred.

As it is seen in Figure 1, unbonding material or a gap is provided between the encasing and core element. Different materials such as thin rubber, polyethylene, silicone grease, and tape strip have been tested for this part [11]. The main aim to utilize unbonding material is to eliminate or minimize axial force transfer between the encasing and core element. Instead of using unbonding material, a gap is also provided as an alternative to the unbonding material.

Due to this gap, core elements buckle under compressive force. As the gap size increase, the load carrying capacity of buckling restrained braces reduces. Moreover, increasing the gap size may lead to a reduction in the low-cycle fatigue life of buckling restrained braces [11].

A gap size of 2 mm between the steel core and concrete was introduced by Guo et al.[12]. Chou and Chen [13] utilized a gap size of 1.5 mm between the steel core and concrete. Avcı-Karatas et al.[2] used 1.5 mm for gap size between aluminum/steel core and concrete encasing. A gap size of 1.5 mm between the steel core and steel encasing was utilized by Guo et al.[9]. AlHamaydeh et al. [14] adopted 2.54 mm for the gap size between the steel core and concrete encasing. Bozkurt and Topkaya

[10] utilized two different gap sizes of 1 mm and 3 mm including the thickness of teflon pad for the steel core and steel encasing. Heidary-Torkamani et al. [15] utilized a gap size of 6 mm between the tubed steel core and tubed steel encasing.

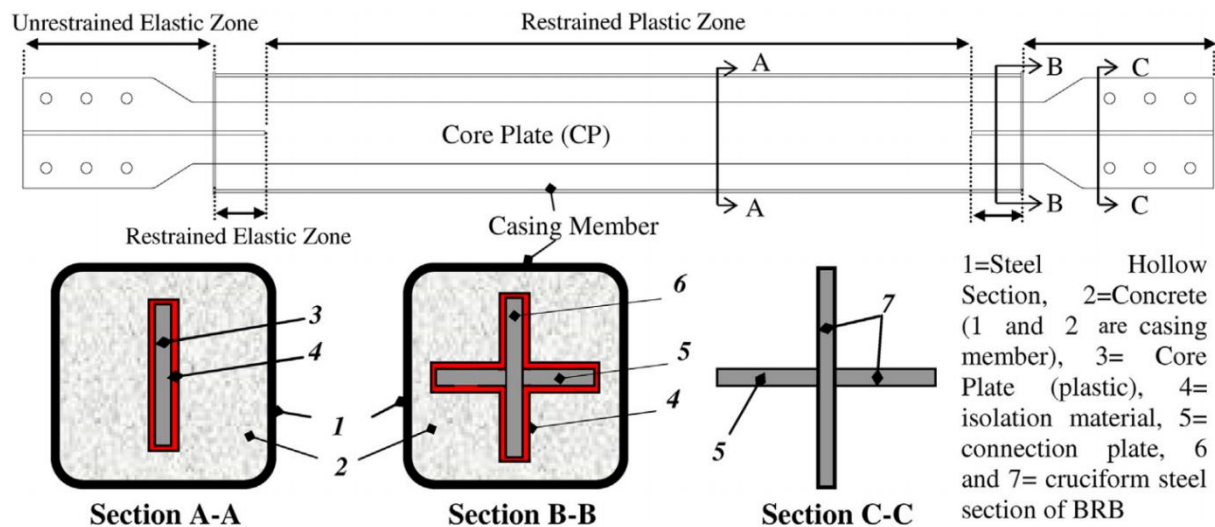


Figure 1. Typical buckling restrained brace[8]

In the literature, limited studies[6, 9, 12-18] are available on numerical modeling of BRBs. The reason for this can be attributed to the complexity of modeling interaction between the steel core and encasing, which leads to significant convergence problems and computational cost. The interaction occurs whenever the steel core buckles and contacts the encasing. Therefore, monotonic loading [13, 18] or one cycle of cycling loading [14] are also preferred for a parametric study of BRBs in order to reduce the convergence problems and computational cost. If the bolted connections were designed as elastic during the experiments, the interaction of these connections may not be included in the model in order to simplify further the numerical models[6, 13, 18].

For numerical modeling, different friction coefficients were adopted by the researchers. Guo et al.[12] and Cao et al. [17] utilized a friction coefficient of 0.1 for the interaction between the steel core and concrete encasing. Avci-Karatas et al.[16] used a friction coefficient of 0.03 for the interaction between the steel core and concrete encasing where a teflon pad was utilized. Chou and Chen [13] and Heidary-Torkamani et al. [15] selected friction coefficient as 0.1 for the steel core and steel encasing where grease oil was utilized. Guo et al. [9] selected the friction coefficient of the steel core to steel encasing interaction as 0.1. A friction coefficient of 0.05 was utilized by Wang et al. [6] for the interaction between the steel core and concrete encasing.

Initial imperfection should be implemented into numerical models in order to trigger the buckling phenomenon. Initial imperfection can be applied using buckling mode shapes with a predefined amplitude which is generally indicated with the length of the steel core or applying a predefined displacement. Cao et al. [17] simulated the geometrical imperfection of the steel core by combining the first mode (one sin wave) and the third mode (three sine wave) with an amplitude of 1/1000 of the length. The initial imperfection of $L/1000$ with first mode shape (one sin wave) was adopted by Guo et al.[12], Guo et al.[9], Jiang et al. [18] and Wang et al. [6]. On the other hand, Chou and Chen [13] utilized the first mode (one sin wave) with an amplitude of $L/3000$ to simulate initial imperfection. AlHamaydeh et al. [14] adopted $L/1850$ to have slower convergence and less computational efficiency.

In this study, the effects of gap size, initial imperfection and friction coefficient on the behavior of buckling restrained braces are studied. If the provided gap is too small, the core element and encasing can interact which leads to axial force transfer. On the other hand, if the provided gap is too large, then

the steel core significantly buckles. Therefore, the size of this gap is an important parameter that should be considered in the design of the buckling restrained braces. Other important parameters considered in the numerical analyses are initial imperfection and friction coefficient. It is seen in the aforementioned studies that there is no consensus in the literature about the value of gap size, friction coefficient and initial imperfection. Therefore, the effects of these parameters on the behavior of the buckling restrained braces are evaluated in terms of maximum load, energy dissipation capacity and PEEQ.

II. NUMERICAL STUDY

Numerical analyses were performed using the finite element modeling tool, ABAQUS with a version of 6.12-1 [19]. ABAQUS is a very reliable finite element software that was preferred by many researchers [20-24]. Three-dimensional solid elements were used to construct the numerical model. Numerical models were constructed using an eight-node brick element with reduced integration (C3D8R). Since the non-yielding segment was designed as elastic, coarse mesh size was utilized for the parts in the non-yielding segments. On the other hand, a finer mesh size was adapted for the parts in the yielding segments where deformation and yielding were expected to occur. Moreover, the mesh size of the encasing was chosen to be equal to the steel core since the steel core and encasing exhibit interactions. Therefore, 10 mm mesh size was selected for the encasing and steel core whereas 50 mm mesh size was used for the rest of the elements. Moreover, in order to accurately capture the buckling of members, four layers through thickness were recommended [25-27]; therefore, the thickness of steel core was divided into four elements. The detailed mesh configuration is depicted in Figure 2. Numerical models consist of a total of 41018 elements and 70080 nodes.

Both geometric and material nonlinearity was implemented in the model. Bolts, welds and connections were not modeled in order to reduce computational time and to prevent any possible convergence problem. Instead, tie constraint was used to connect the elements. Frictional surfaces may lead to significant convergence problems [27]. Two types of contact forces were introduced to the numerical models: normal contact and tangential frictional forces. The finite sliding surface to surface contact was used for the surface between the encasing and steel core. The friction coefficient was taken as 0.03 for the tangential behavior. Hard contact approach was performed for normal behavior.

Boundary conditions were assigned to the back face of the end-plates. These end-plates were connected to the columns in the experimental study. Therefore, all degrees of freedom were restrained excepted that transitional restraint was released at the end-plate where the loading was applied. MPC constraint was defined to a reference point at the center of the end-plate. The loading was applied to this reference point. Displacement controlled monotonic loading was applied to the models.

Yielding and ultimate loading of the core plate are reported as 373 and 510 MPa for the core plates. Young's modulus and poisson's ratio were used 210 GPa and 0.3, respectively. The experimental study was conducted under cyclic loading. Monotonic loading was preferred for numerical analyses in order to reduce computational cost and convergence problems. With accurate numerical modeling of the material, the results of monotonic numerical modeling can be compared with the results of experimental cyclic loading [28-33]. Therefore, a stabilized material model described in Bozkurt et al. [29] and Özkılıç et al. [28] was utilized herein. Stabilized material model is used to mimic cyclic hardening of steel in the monotonic analyses when the tensile coupon test results are available and cyclic behavior of the steel is absent.

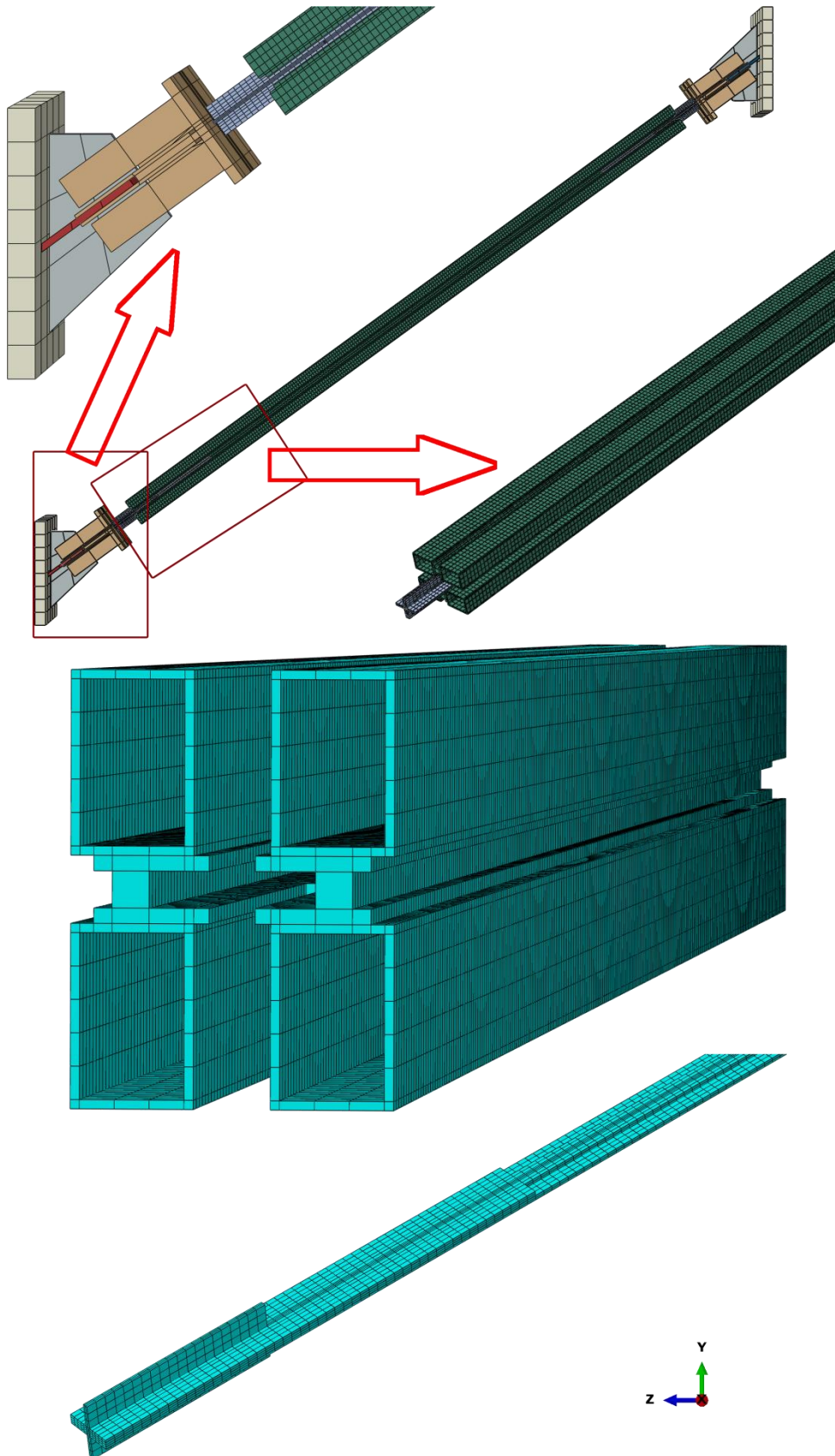


Figure 2. Mesh configuration

The numerical models are compared in terms of PEEQ, P_{\max} and energy dissipation capacity. PEEQ is the plastic equivalent strain and calculated as ratio of effective plastic strain to yield strain. PEEQ

measures local plastic strain demand and higher value of PEEQ indicates potential damage and vulnerability[27, 34]. P_{max} is the maximum loading observed in the load-displacement curve. Energy dissipation capacity is calculated under the area of the load-displacement curve[35].

For verification model and parametric study, the design of all-steel BRBs developed by Bozkurt et al. [36] was preferred. Bozkurt et al. [36] studied different connection detail on BRBs with welded overlap cores. The details of the sub-assembly test setup are given in Figure 3. Bozkurt et al. [36] conducted four tests using gusset and pin connection. In this study, the BRB with gusset connections was utilized. The length of the BRB was 3730 mm and the angle was 36.5 degrees. Loading was applied through a column. A cyclic loading recommended by AISC Seismic provisions for Structural Steel Buildings [37] was exposed to the specimens.

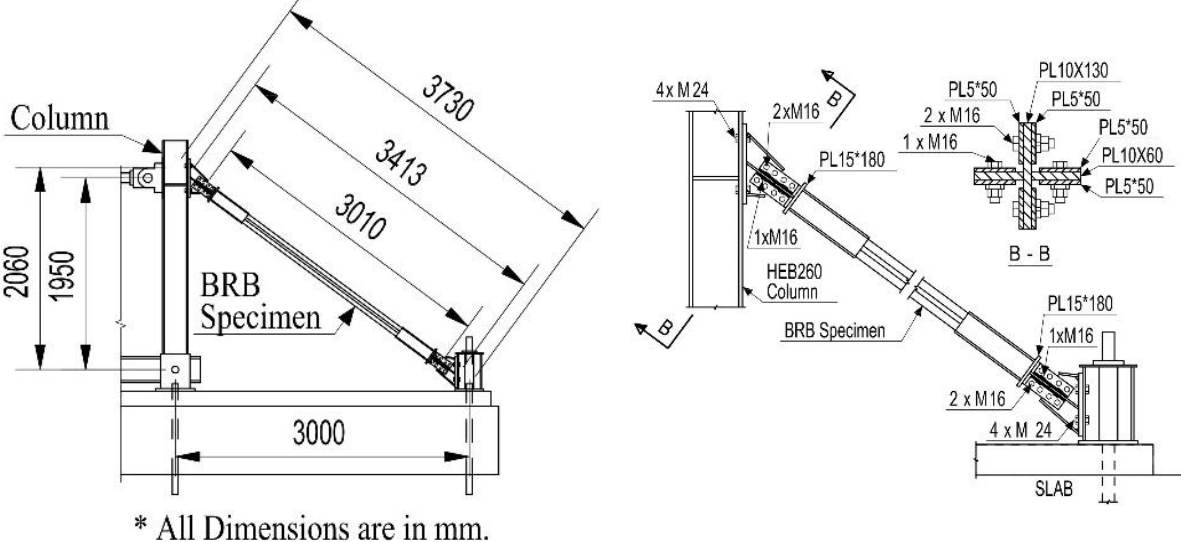


Figure 3. Details of sub-assembly test setup [36]

Figure 4 demonstrates the cross-section of encasing and steel core. A total of 2 mm gap is provided between the steel core and encasing. Teflon is used to reduce friction between steel and encasing.

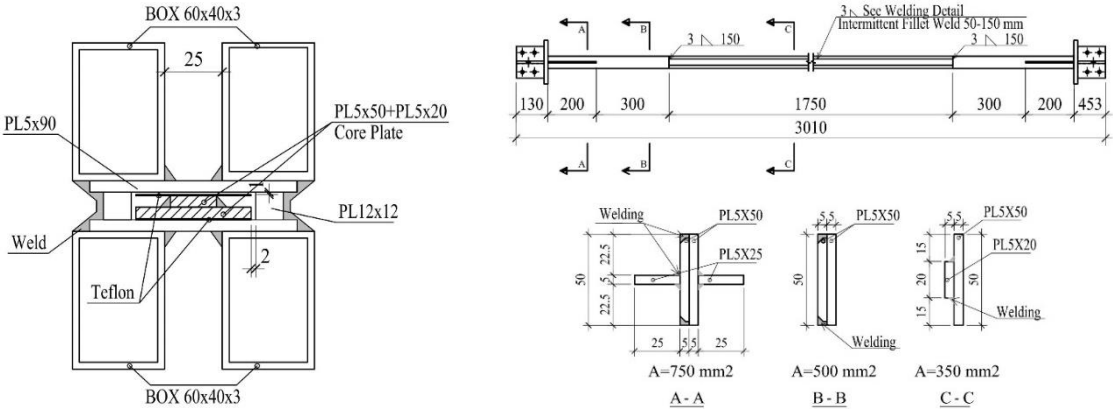


Figure 4. Details of steel core and encasing [36]

Initial imperfection was implemented to numerical models using *IMPERFECTION option which is available in the library of ABAQUS. In order to determine mode shapes, eigen-value analyses were conducted. The first five-mode shapes were recorded (Figure 5). In the verification model, the first mode shape (one sin wave) with an amplitude of $L/7000$ (0.25 mm), where L is the length of the yielding segments, was utilized.

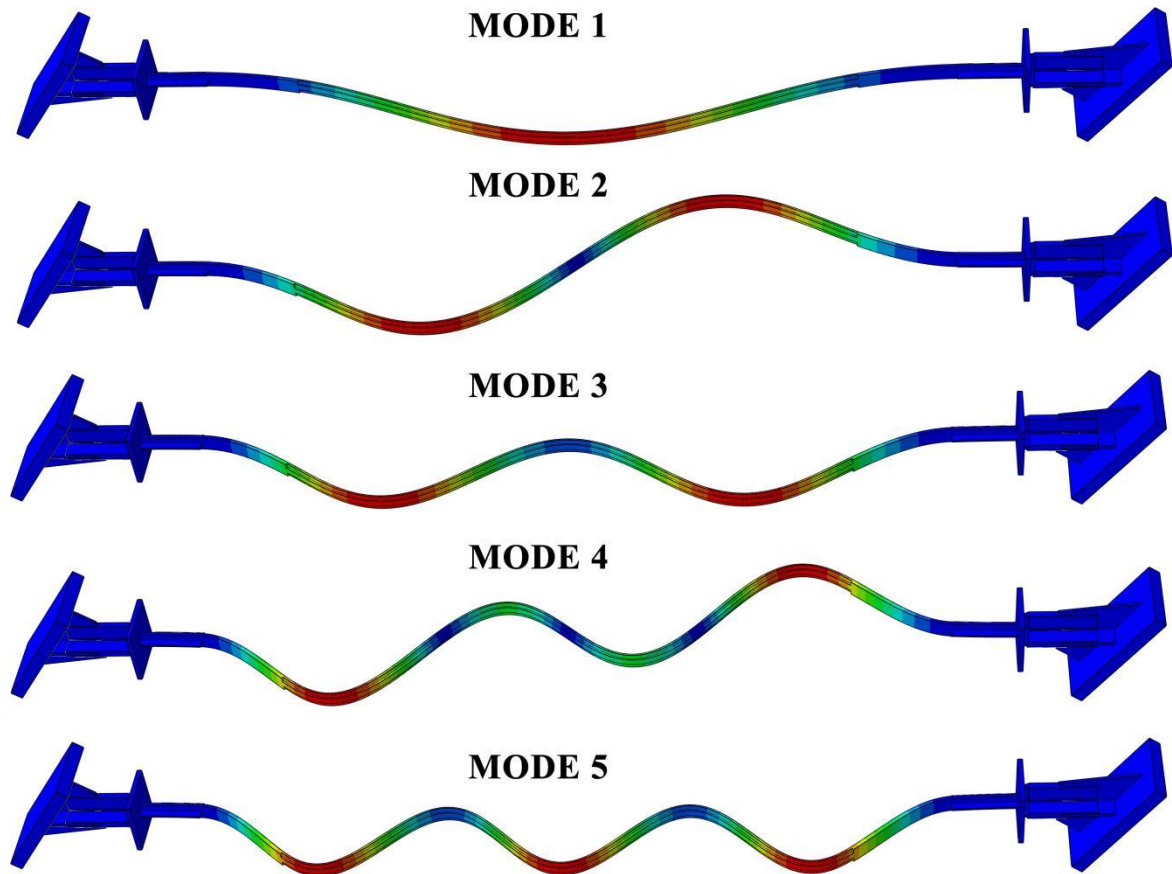


Figure 5. Mode shapes

Table 1. Properties of models

Model	Gap Size	Friction Coefficient	Mode Shape	Amplitude
Model 1	1	0.03	Mode Shape 1	L/7000
Model 2	2	0.03	Mode Shape 1	L/7000
Model 3	3	0.03	Mode Shape 1	L/7000
Model 4	4	0.03	Mode Shape 1	L/7000
Model 5	5	0.03	Mode Shape 1	L/7000
Model 6	2	0.03	Mode Shape 1	L/3500
Model 7	2	0.03	Mode Shape 1	L/1750
Model 8	2	0.03	Mode Shape 5	L/3500
Model 9	2	0.03	Mode Shape 5	L/1750
Model 10	2	0.03	Mode Shape 1 + 5	L/1750
Model 11	2	0.01	Mode Shape 1	L/7000
Model 12	2	0.02	Mode Shape 1	L/7000
Model 13	2	0.04	Mode Shape 1	L/7000
Model 14	2	0.05	Mode Shape 1	L/7000
Model 15	2	0.1	Mode Shape 1	L/7000
Model 16	2	0.2	Mode Shape 1	L/7000
Model 17	2	0.3	Mode Shape 1	L/7000
Model 18	2	0.4	Mode Shape 1	L/7000
Model 19	2	0.5	Mode Shape 1	L/7000

A total of 19 numerical models were developed for the parametric study. Table 1 demonstrates the properties of the numerical models. Models 1-5, Models 6-10 and Models 11-19 were designed to investigate the effects of gap size, mode shapes with different amplitude and friction coefficient, respectively.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. VERIFICATION MODEL

The comparison of numerical results and experimental findings in terms of hysteresis behavior is given in Figure 6. The verification model revealed that the finite element model is able to mimic the load-displacement curve of the experimental result monotonically and gives slightly stiffer results than the experimental findings. It can be said that the developed numerical models with described assumptions are capable of predicting experimental results.

The deformed shapes of experimental and numerical study are compared in Figure 7. It is seen that the numerical model simulated buckling of the steel core due to the provided gap. Similar buckling at failure was also observed in the experimental study. The deformed shapes were only compared at the end of the experiment since the deformation of the steel core could not be observed during the experiments due to the steel encasing. Therefore, it can be concluded that the assumed model can be used to investigate the effect of the gap size and initial imperfection.

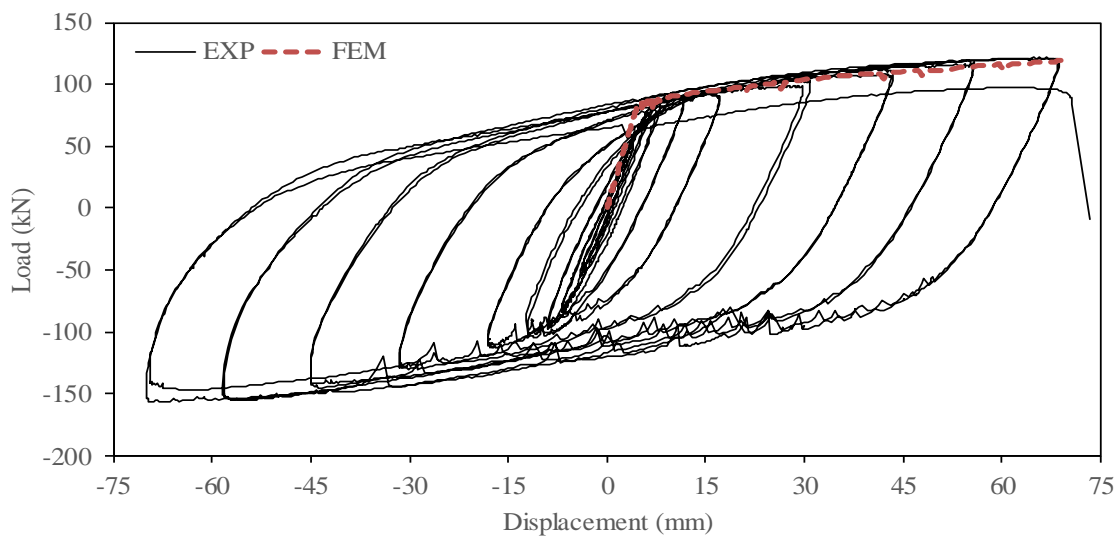


Figure 6. The comparison of numerical and experimental results

Figure 8 illustrates the deformed shapes of the specimens at the displacement values of 5 mm, 10 mm, 30 mm, 50 mm and 70 mm. It is seen that almost no PEEQ is observed up to 10 mm. After 10 mm, the value of PEEQ distribution significantly increased. On the other hand, initial imperfection of one sine wave is observed in U1 distribution at 5 mm, where U1 indicates the displacement in $-X$ direction shown in Figure 8. It is seen that buckling was initiated at a displacement value of 10 mm. The number of buckled waves increases as the value of displacement increases. Moreover, the shortening of the steel core due to compression can be seen in Figure 8.

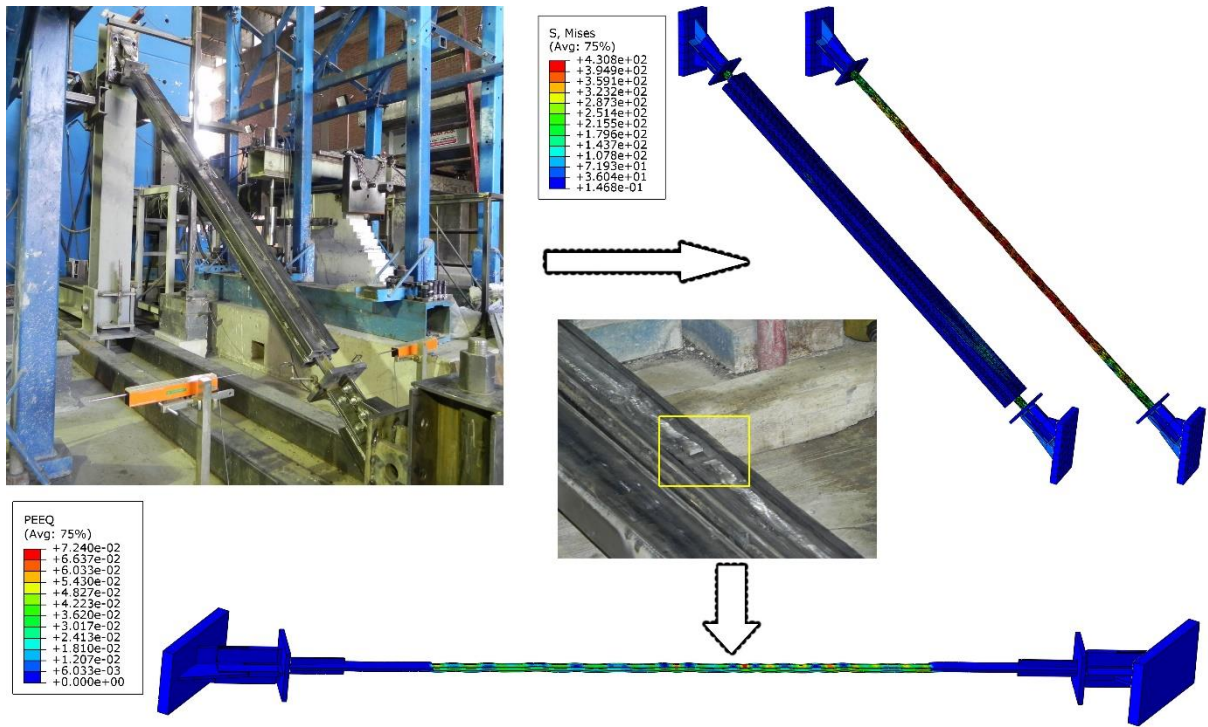


Figure 7. Deformed shapes

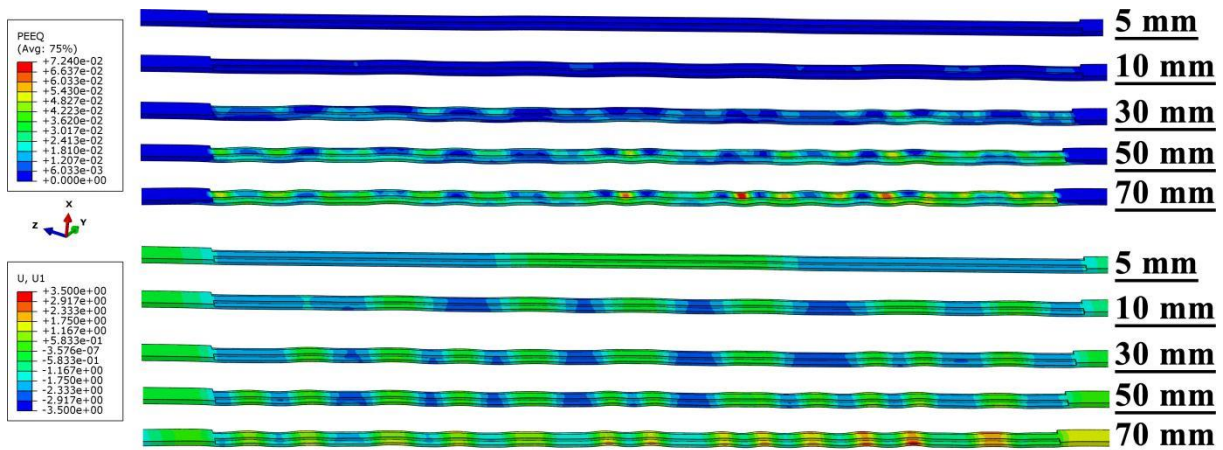


Figure 8. Progress of PEEQ and U1 distributions

B. THE EFFECTS OF GAP SIZE

Five numerical models having the same boundary conditions, material models, dimensions were constructed. The numerical models have the same properties as the verification model, except that different gap sizes were adopted. Total gap sizes of 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, and 5 mm were selected. In the experimental study, a total gap size of 2 mm, indicating 1 mm gap size for each side, was utilized. All models were subjected to monotonic loading up to the displacement of 70 mm.

Load-displacement curves of numerical models are shown in Figure 9. Table 2 demonstrates loading capacity, energy dissipation capacity and maximum PEEQ value of the models. It is observed that increasing gap size results in decreases in maximum loading and energy dissipation capacity. 10% and 14% differences of maximum load and energy dissipation capacity are observed between numerical models with a gap size of 1 mm and 5 mm, respectively. More importantly is that increasing gap size leads to fluctuations in load-displacement curves. These fluctuations were also observed in the

experimental study (Figure 6). As the gap size increases, the fluctuations increase. For the model with a gap size of 5 mm, these fluctuations decreased loading up to 22%. This ratio modifies to 3% when the gap size is reduced to 1 mm. Moreover, maximum value of PEEQ observed at the models increases as the gap size increases, which indicates that the model with a gap size of 5 mm is most vulnerable to the damage and the model with a gap size of 1 mm is least susceptible to the damage.

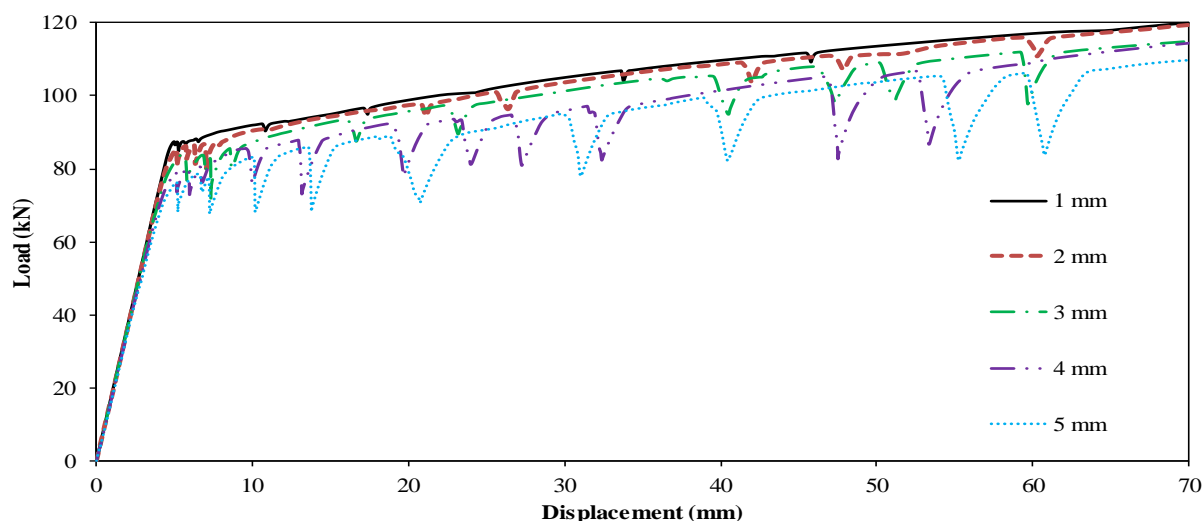


Figure 9. Comparison of load-displacement curves of the models having different gap size

Table 2. The results of models with different gap sizes

Model	Gap Size (mm)	P_{max} (kN)	Energy (J)	PEEQ
Model 1	1	120.1	7170	0.054
Model 2	2	119.4	7064	0.072
Model 3	3	114.9	6829	0.093
Model 4	4	114.4	6541	0.097
Model 5	5	109.7	6287	0.116

C. THE EFFECTS OF INITIAL IMPERFECTION

Six numerical models having the same assumptions used in the verification model were constructed. The difference between these models is only initial imperfection. As discussed in the aforementioned studies, the initial imperfection shape was mostly considered as a single sine wave (Mode 1) and also it is seen that three sine waves (Mode 5) was also utilized for the initial imperfection. Therefore, Mode shape 1 (single sine wave), Mode shape 5 (three sine wave) and the combination of these mode shapes were considered as the parameters for the parametric study. Moreover, different amplitudes of sine waves were considered. The maximum amplitude is $L/1750$ (approximately 1 mm) is equal to one side of the gap size. One should be careful while selecting the imperfection amplitude. If the imperfection of the steel core exceeds the gap size, initial convergence problems may arise.

The results of the parametric study are demonstrated in Figure 10. Table 3 demonstrates the loading capacity, energy dissipation capacity and maximum PEEQ value of the models. It is observed that all numerical models exhibited almost the same load-carrying capacity. The difference between numerical models is the fluctuations that occurred in the loading, which resulted in a difference in energy dissipation capacities. A maximum 3% difference in energy dissipation capacity was observed. It is seen in Figure 10 that as the amplitude of the mode shape increases, the fluctuations in the load-displacement curves increase. Moreover, the value of PEEQ increases as the amplitude of the mode shape increases. However, it can be concluded that the change in loading capacity, energy dissipation capacity and PEEQ is insignificant.

Table 3. The results of models having different mode shapes and amplitudes

Model	Mode Shape	Amplitude	P_{max} (kN)	Energy (J)	PEEQ
Model 2	Mode Shape 1	L/7000	119.4	7064	0.072
Model 6	Mode Shape 1	L/3500	119.4	6978	0.073
Model 7	Mode Shape 1	L/1750	118.9	6855	0.075
Model 8	Mode Shape 5	L/3500	119.4	7023	0.072
Model 9	Mode Shape 5	L/1750	118.6	6986	0.078
Model 10	Mode Shape 1 + 5	L/1750	119.9	6870	0.073

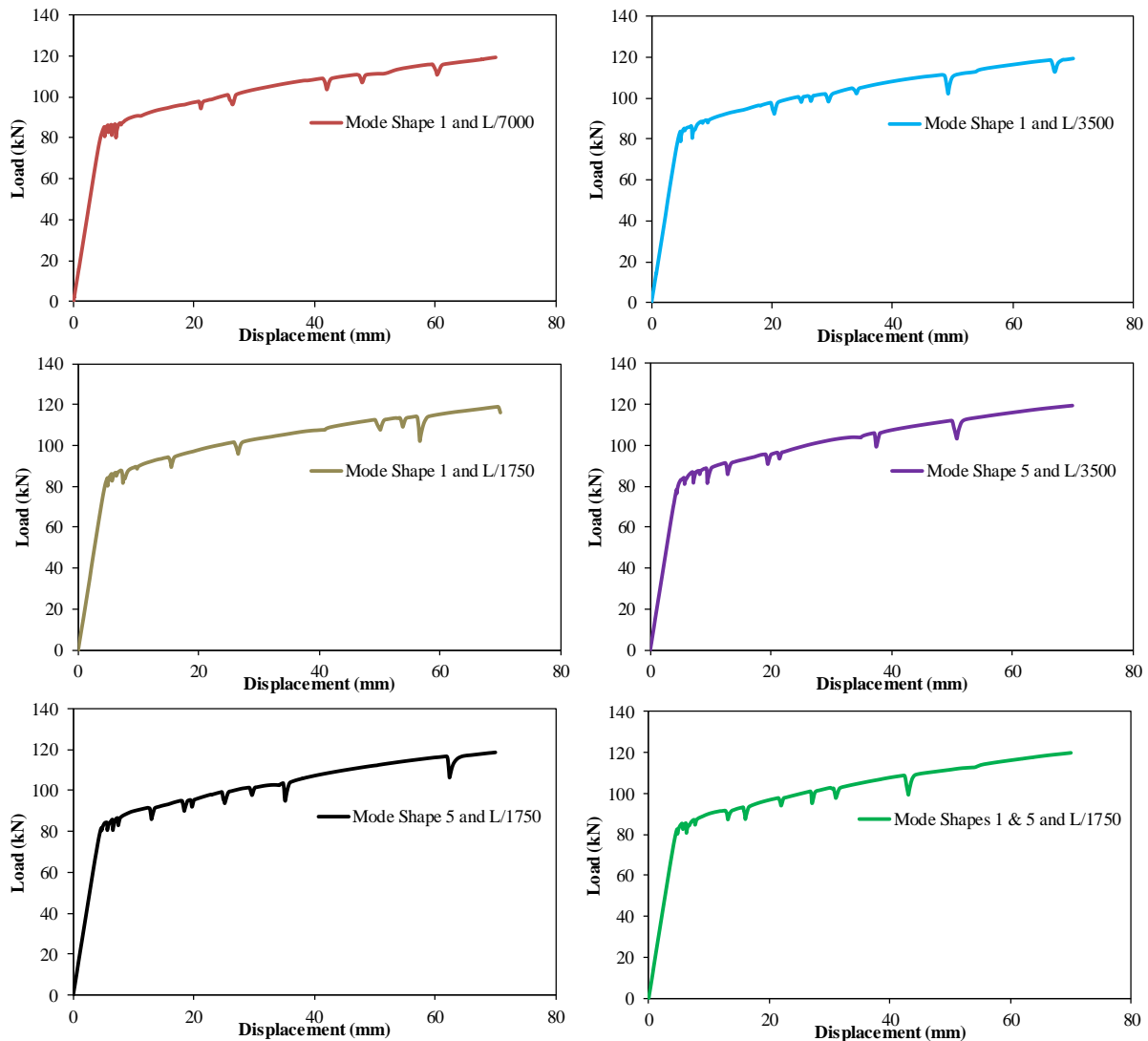


Figure 10. Comparison of load-displacement curves for the models having different mode shapes and amplitudes

D. THE EFFECTS OF FRICTION COEFFICIENT

The results of ten numerical models having different friction coefficients are compared in Figure 11. The results in terms of the maximum loading, energy dissipation capacity and PEEQ are given in Table 4. It should be noted that significant convergence problems were encountered in the models having friction coefficients higher than 0.10. In order to circumvent the convergence problems, several attempts were tried by changing the friction coefficient gradually with ± 0.005 . For example, when the

model having the friction coefficient of 0.5 was not converged, then the models having friction coefficients in order of 0.495, 0.505, 0.49, 0.51, 0.485, 0.515, 0.48 and 0.52 were analyzed until the model converges. The converged friction coefficients are given in Table 4. Furthermore, as the friction coefficient increases, computational time increases.

It is seen that the results of the models having friction coefficient below 0.1 are similar in terms of maximum loading, energy dissipation capacity and PEEQ. On the contrary, the behavior of the models significantly changes when the friction coefficient is higher than 0.1. Although energy dissipation and load capacities of the models having friction coefficient equal and higher than 0.1 are significantly higher than those of the models having friction coefficient below 0.1, PEEQ values of former ones are significantly high. This indicates that these models are prone to failure in earlier cycles. Moreover, it is seen in Figure 12 that undesirable behavior is observed in the models having friction coefficients equal and higher than 0.1. PEEQ distributions are concentrated in the restrained elastic zone which should be designed elastic during the cyclic loading. Therefore, the friction coefficient equal and higher than 0.1 should be avoided and necessary precautions should be taken in the design of BRBs. Teflon pad or grease oil can be utilized between the steel core and encasing in order to minimize the friction coefficient.

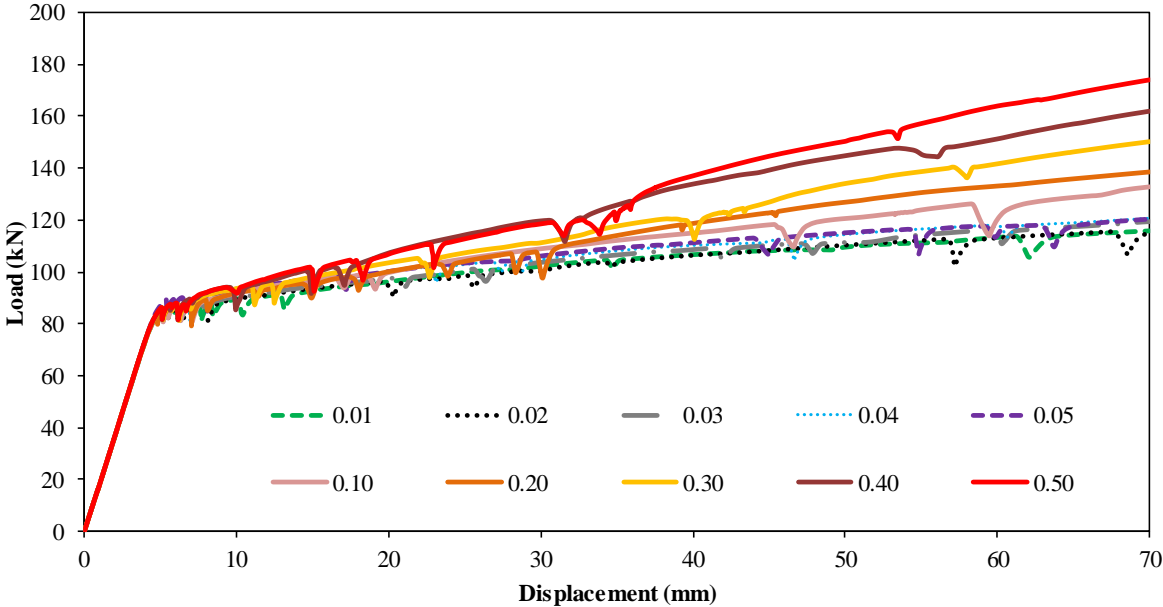


Figure 11. Comparison of load-displacement curves of the models having a different friction coefficient

Table 4. The results of models with the different friction coefficient

Model	Friction Coefficient (μ)	Converged (μ)	P_{max} (kN)	Energy (J)	PEEQ
Model 2	0.03	0.03	119.4	7064	0.072
Model 11	0.01	0.01	118.5	6947	0.071
Model 12	0.02	0.02	118.9	6959	0.072
Model 13	0.04	0.04	120.2	7073	0.073
Model 14	0.05	0.05	121.4	7078	0.073
Model 15	0.10	0.10	132.7	7424	0.121
Model 16	0.20	0.195	138.5	7677	0.136
Model 17	0.30	0.295	150.2	7998	0.157
Model 18	0.40	0.415	161.9	8351	0.162
Model 19	0.50	0.520	174.0	8756	0.171

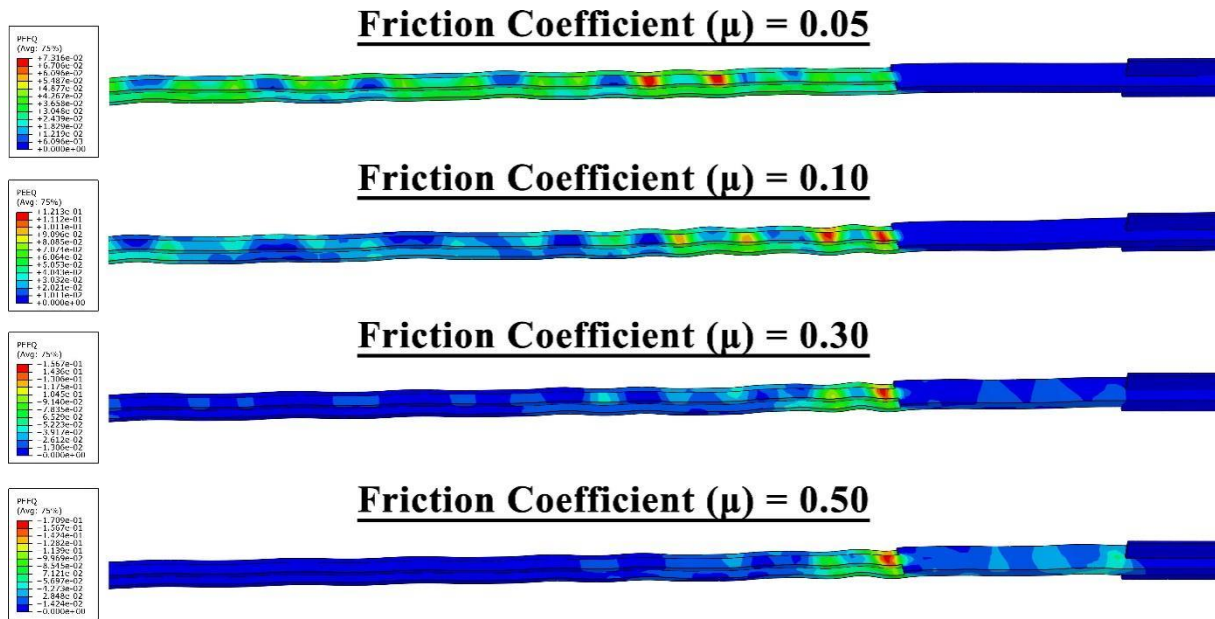


Figure 12. PEEQ distributions of the models having friction coefficient of 0.05, 0.1, 0.3 and 0.5

IV. CONCLUSION

The steel core is one of the most important elements in BRBs, which is directly related to the capacity of BRBs. The steel core yields under both tension and compression. Due to the gap, steel core buckles under compression and buckling are associated with initial imperfection and gap size between the encasing and steel core. The friction coefficient is also an important parameter that influences the axial load transfer between the steel core and encasing. A total of 19 numerical models were constructed for the parametric study using finite element software (ABAQUS) in order to examine the effects of gap size, initial imperfection and friction coefficient on the behavior of BRBs. The followings can be drawn based on the numerical study:

- The gap size between the steel core and encasing is investigated using five numerical models. The results revealed that increasing gap size leads to a significant decrease in loading and energy dissipation capacities. Moreover, the fluctuations are more pronounced in the models with larger gap sizes. These fluctuations may significantly affect low-cycle fatigue life. Therefore, it is recommended to use the minimum gap size as possible. However, one should be careful to avoid any load transfer between the encasing and steel core. On the other hand, Bozkurt and Topkaya [10] reported that the specimen having a gap size of 1 mm exhibited significantly better performance than that of the specimen having a gap size of 3 mm. Therefore, the gap size of 1-2 mm between the steel core and steel encasing is recommended, provided that proper unbonding materials are utilized.
- Six numerical models having different initial imperfection are studied. The results revealed that initial imperfection has almost no effect on the load-carrying capacity, energy dissipation capacity and PEEQ. However, the fluctuations in the load-displacement curves increase as the amplitude of the mode shape increases. This study was conducted under monotonic loading; therefore, these fluctuations are expected to increase under cyclic loading.
- When buckling mode shapes are utilized for initial imperfection, the amplitude of the mode shape should be less than the gap size of each side; otherwise, the model will lead to initial convergence problems. Furthermore, increasing initial imperfection increases computational cost and leads to convergence problems, which were also reported in [14, 15].

- The effects of friction coefficient were investigated with 10 models having friction coefficients between 0.01 and 0.50. The results showed that the models with friction coefficients between 0.01 and 0.05 exhibited stable yielding along the steel core and similar performance in terms of loading capacity, energy dissipation capacity and PEEQ distribution. On the contrary, the models having friction coefficients equal and higher than 0.10 exhibited undesirable behavior and significantly increased loading capacity. Yi [38] also reported that friction coefficient higher than 0.15 significantly affects the compression behavior of BRBs. Therefore, it can be concluded that the friction coefficient between 0.03 and 0.05 is convenient for the interaction of the steel core and steel encasing when an adequate unbonding material is provided.
- Since unstable behavior is not desired in the design of BRBs, the friction coefficient higher than 0.10 should be avoided. Necessary precautions should be taken in the design of BRBs. Based on the experimental studies of Chou and Chen [13], Heidary-Torkamani et al. [15] and Bozkurt and Topkaya [10], grease oil and teflon pad can be utilized between the steel core and encasing for all-steel BRBs.
- Significant convergence problems occurred in the models having a friction coefficient higher than 0.1. Moreover, computational cost increases as the friction coefficient increases.

V. REFERENCES

- [1] M. E. Kural, Ö. Zeybek, and M. Seçer, "Çelik Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Analiz Yöntemlerinin İncelenmesi," *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, vol. 13, no. 2, pp. 75-87, 2011.
- [2] C. Avcı-Karatas, O. C. Celik, and C. Yalcin, "Experimental investigation of aluminum alloy and steel core buckling restrained braces (BRBs)," *International Journal of Steel Structures*, vol. 18, no. 2, pp. 650-673, 2018.
- [3] C. Avcı-Karatas and O. C. Celik, "Çelik Çekirdekli Burkulması Önlenmiş Çaprazların (BÖÇ) tasarımı, üretimi ve deneysel incelenmesi," *Teknik Dergi*, c. 30, s. 1, ss. 8861-8886, 2019.
- [4] C. Avcı-Karatas and O. C. Celik, "Design, fabrication, and cyclic behavior of aluminum alloy core buckling restrained braces (BRBs)," *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 23, no. 6, pp. 659-670, 2017.
- [5] Y. O. Özkılıç, M. B. Bozkurt, and C. Topkaya, "Evaluation of seismic response factors for BRBFs using FEMA P695 methodology," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 151, pp. 41-57, 2018.
- [6] J. Wang, B. Li, C. Chou, and L. Chen, "Cyclic experimental and analytical studies of buckling-restrained braces with various gusset connections," *Engineering Structures*, vol. 163, pp. 38-50, 2018.
- [7] R. Ozcelik and E. F. Erdil, "Pseudodynamic Test of a Deficient RC Frame strengthened with buckling restrained braces," *Earthquake Spectra*, vol. 35, no. 3, pp. 1163-1187, 2019.
- [8] R. Ozcelik, Y. Dikiciasik, and E. F. Erdil, "The development of the buckling restrained braces with new end restrains," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 138, pp. 208-220, 2017.
- [9] Y. L. Guo, J.-Z. Tong, X.-A. Wang, and P. Zhou, "Subassembly tests and design of steel channels assembled buckling-restrained braces," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 16, no. 9, pp. 4191-4224, 2018.

- [10] M. B. Bozkurt and C. Topkaya, "Development of welded overlap core steel encased buckling restrained braces," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 127, pp. 151-164, 2016.
- [11] R. Özçelik, "Buckling restrained braces," *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 22, no. 3, pp. 160-170, 2016.
- [12] Y.-L. Guo, J.-Z. Tong, X.-A. Wang, and B.-H. Zhang, "Subassembly tests and numerical analyses of buckling-restrained braces under pre-compression," *Engineering Structures*, vol. 138, pp. 473-489, 2017.
- [13] C.-C. Chou and S.-Y. Chen, "Subassembly tests and finite element analyses of sandwiched buckling-restrained braces," *Engineering Structures*, vol. 32, no. 8, pp. 2108-2121, 2010.
- [14] M. AlHamaydeh, F. Abed, and A. Mustapha, "Key parameters influencing performance and failure modes for BRBs using nonlinear FEA," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 116, pp. 1-18, 2016.
- [15] H. Heidary-Torkamani and S. Maalek, "Conceptual numerical investigation of all-steel Tube in-Tube buckling restrained braces," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 139, pp. 220-235, 2017.
- [16] C. Avci-Karatas, O. C. Celik, and S. Ozmen Eruslu, "Modeling of Buckling Restrained Braces (BRBs) using Full-Scale Experimental Data," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 23, no. 10, pp. 4431-4444, 2019.
- [17] X.-Y. Cao, D.-C. Feng, G. Wu, and Y.-H. Zeng, "Reusing & replacing performances of the AB-BRB with thin-walled concrete-infilled steel shells," *Thin-Walled Structures*, vol. 157, p. 107069, 2020.
- [18] Z. Jiang, Y. Guo, B. Zhang, and X. Zhang, "Influence of design parameters of buckling restrained brace on its performance," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 105, pp. 139-150, 2015.
- [19] ABAQUS Manual, Providence, RI, USA, "Abaqus Version 6.12-1 Documentation," 2012.
- [20] E. Madenci, and Y. O. Özkılıç, "Free vibration analysis of open cell FG porous beams: analytical, numerical and ANN approaches," *Steel and Composite Structures*, vol. 40, no. 2, pp. 157-173, 2021.
- [21] C. Aksoylu, Y. O. Özkılıç, and M. H. Arslan, "Damages on prefabricated concrete dapped-end purlins due to snow loads and a novel reinforcement detail," *Engineering Structures*, vol. 225, pp. 111225, 2020.
- [22] C. Aksoylu, Y. O. Özkılıç, Ş. Yazman, L. Gemi and M. H. Arslan, "Experimental and Numerical Investigation of Load Bearing Capacity of Thinned End Precast Purlin Beams and Solution Proposals," *Teknik Dergi*, vol. 32, no. 3 p. 10823-10858, 2021.
- [23] E. Madenci, Y. O. Özkılıç, and L. Gemi, "Theoretical investigation on static analysis of pultruded GFRP composite beams," *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 8, no. 3, pp. 483-490, 2020.
- [24] L. Gemi, E. Madenci, and Y. O. Özkılıç, "Experimental, analytical and numerical investigation of pultruded GFRP composite beams infilled with hybrid FRP reinforced concrete," *Engineering Structures*, vol. 244, pp. 112790, 2021.





- [25] Y. O. Özkılıç, "A comparative study on yield line mechanisms for four bolted extended end plated connection," *Challenge Journal of Structural Mechanics*, vol. 7, no. 3, pp. 93-106, 2021.
- [26] Y. O. Özkılıç, "Investigation of the effects of bolt diameter and end-plate thickness on the capacity and failure modes of end-plated beam-to-column connections," *Research on Engineering Structures & Materials*, in-press, 2021.
- [27] Y. O. Özkılıç, "A new replaceable fuse for moment resisting frames: Replaceable bolted reduced beam section connections," *Steel and Composite Structures*, vol. 35, no. 3, pp. 353-370, 2020.
- [28] Y. O. Özkılıç, M. B. Bozkurt, and C. Topkaya, "Mid-spliced end-plated replaceable links for eccentrically braced frames," *Engineering Structures*, vol. 237, p. 112225, 2021.
- [29] M. B. Bozkurt, S. Kazemzadeh Azad, and C. Topkaya, "Development of detachable replaceable links for eccentrically braced frames," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 48, no. 10, pp. 1134-1155, 2019.
- [30] G. Della Corte, M. D'Aniello, and R. Landolfo, "Analytical and numerical study of plastic overstrength of shear links," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 82, pp. 19-32, 2013.
- [31] Y. O. Özkılıç, "Experimental and numerical studies on replaceable links for eccentrically braced frames," Middle East Technical University, Doctoral Dissertation, Ankara, Turkey, 2020.
- [32] P. W. Richards and C.-M. Uang, "Effect of flange width-thickness ratio on eccentrically braced frames link cyclic rotation capacity," *Journal of Structural Engineering*, vol. 131, no. 10, pp. 1546-1552, 2005.
- [33] Y. O. Özkılıç, and C. Topkaya, "Extended end-plate connections for replaceable shear links," *Engineering Structures*, vol. 240, p. 112385, 2021.
- [34] Y. O. Özkılıç, "Optimized stiffener detailing for shear links in eccentrically braced frames," *Steel and Composite Structures*, vol. 39, no. 1, pp. 35-50, 2021.
- [35] L. Gemi, E. Madenci and Y. O. Özkılıç, "Çelik, Cam FRP ve hibrit donatılı betonarme kirişlerin eğilme performansının incelenmesi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 8, no. 2, pp. 1470-1483, 2020.
- [36] M. B. Bozkurt, Y. O. Özkılıç, and C. Topkaya, "Investigation on connection details for welded overlap core steel encased buckling restrained braces," presented at the 13th International Congress on Advances in Civil Engineering, İzmir, Turkey, 2018.
- [37] AISC. 341-16, *Seismic provisions for structural steel buildings*. 2016.
- [38] Z. Yi, "Assessment Using FEA of the Influence of Detailing Parameters on Performance of Buckling Restrained Braces," Politehnica University, Msc, 2016.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Araç Cüzdanı: Motorlu Araçların Teknik Servis ve Bakım Kayıtlarının Blokzinciri Üzerinde Yönetilmesi

 Mustafa TANRIVERDİ^{a,*},  Mevlüt UYSAL^a,  Mutlu Tahsin ÜSTÜNDAĞ^b,  Zafer AYZAZ^a

^a Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

^b Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.904757

Öz

Günlük hayatta edindiğimiz tecrübeler bize özellikle ikinci el motorlu araç satışlarında, araçların geçmişteki teknik servis ve bakım kayıtları gibi bilgilere erişim noktasında sorun yaşandığını göstermiştir. Yaşanan bu zorluk çeşitli mağduriyetlere neden olmaktadır. Blokzinciri, özellikleri ve sunduğu fırsatlar sayesinde karşılaşılan bu sorunun üstesinden gelmek için uygun bir teknoloji olarak değerlendirilebilir. Bu çalışmada her bir araç için özel blokzinciri ağı içerisinde bir hesap tanımlanması ve araç bakım servislerinin, parça sağlayıcıların ve sigorta şirketlerinin de katılımcı olarak bu ağa eklenmesi yöntemine dayanan bir çözüm önerilmektedir. Sunulan çözümde servis noktalarındaki uygulamalar sayesinde araçlara ait bakım, parça değişimi, tamirat gibi işlemlere ilişkin kayıtların blokzinciri hesabına kaydedilmesi ve bu bilgilerin blokzinciri ağına dağıtık, şeffaf ve değiştirilemez olarak saklanması planlanmıştır. Sunulan çözüm sayesinde servis noktalarının ve müşterilerin araçların geçmiş dönemlerdeki servis kayıtlarına şeffaf ve güvenli bir şekilde erişimi sağlanabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Blokzinciri, Araç cüzdanı, Araç alım satımı

Vehicle Wallet: Managing Technical Service and Maintenance Records of Motor Vehicles on Blockchain

ABSTRACT

The experiences we have gained in daily life shows that there are some problems about accessing to information such as past technical service and maintenance records of the vehicles, especially in terms of sales of used motor vehicles. This difficulty causes various grievances. Blockchain, thanks to its features and opportunities, can be considered as a suitable technology to overcome this problem. In this study, a solution is proposed which is based on defining an account in the private blockchain network for each vehicle and adding vehicle maintenance services, parts providers and insurance companies to this network as a participant. In the presented solution, it is planned that, the records of the operations such as maintenance, replacement of parts and list of repairs are recorded in the blockchain account via the applications at the service points and this information is stored in the blockchain network distributed, transparent and immutable. The solution provides both service points and customers to access the previous service records of the vehicles in a transparent and secure way.

Keywords: Blockchain, Vehicle wallet, Vehicle trade

I. GİRİŞ

Motorlu araçlar yaklaşık yüz yıldan beri ulaşım, ticaret, sanayi ve hobi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda kullanım alanı ve seçenekleri artan motorlu araçlar, tüketicilerin günlük hayatları için bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle son zamanlarda tecrübe ettiğimiz koronavirüs (COVID-19) pandemisi nedeniyle insanlar ulaşım için toplu taşıma yerine özel araçlarını kullanma eğilimindedir. Bu dönemde araç üreticilerinin üretimi ciddi oranda azaltması veya durdurması nedeniyle ikinci el piyasası ciddi oranda değer kazanmıştır. Bu durumda ülkemizde zaten büyük bir pazara sahip olan ikinci el araç pazarının daha da büyümesine neden olmuştur. Bu durumu sayılarla ortaya koyan INDICATA raporuna göre 2020 Temmuz ayında Türkiye ikinci el çevrimiçi binek ve hafif ticari araç pazarında 238.614 adet satış gerçekleşmiştir. Bu satışlarda 2019 Temmuz ayına göre %66, 2020 Haziran ayına göre ise %31 oranında bir artış gözlenmiştir [1]. Otomotiv Distribütörleri Derneği (ODD) tarafından 2019 yılında yayınlanan rapora göre 2018 yılında 641.550 olan otomobil, hafif ticari araç ve ağır ticari araç satışı 2019 yılı Ocak-Aralık döneminde %23.3 azalarak 491.909 olmuştur [2]. Yine bu rapora göre 2019 yılı Ocak-Aralık döneminde ikinci el otomobil, hafif ticari araç ve ağır ticari araç satışı bir önceki yıla göre %66.4 artarak 963.584 olmuştur. Bu satışlar arasında otomobil pazarı % 77.8 pay ve 749.700 adet ile ilk sırayı almaktadır. Otomobil pazarını %17.3 pay ve 167.023 adet ile kamyonet pazarı izlemektedir. Sayılar incelendiğinde Türkiye’ de ikinci el araç satışlarının sıfır araç satışlarının iki katından fazla olduğu görülmektedir. Dünyada birçok ülkede de ikinci el araç pazarındaki satış miktarı sıfır araç pazarındaki satış sayısından büyüktür. Tüketiciler, fiyat avantajı, ilk alım vergileri, yıllık vergileri gibi nedenlerden dolayı sıfır araç yerine ikinci el araçları tercih etmektedir [3].

Gabbott tarafından yapılan bir çalışmada; tüketicilerin ikinci el araç alırken aracın yaşını, km bilgisini, fiziksel durumunu, geçmiş kullanım durumunu, fiyatını, markasını önemsendiği ifade edilmiştir [4]. Duvan ve Ozturkcan tarafından yapılan bir çalışmaya göre ülkemizde ikinci el araç tercihinin etkileyen en önemli faktörler; uygun fiyat, araç geçmişine ait memnuniyet, kazasızlık, boyasızlık, düşük km, iyi bir dış görünüş olarak belirtilmiştir [5]. Akçi de ikinci el araç alım sürecinde müşterilerin fiyat, yakıt tüketimi ve hasar durumu gibi faktörleri dikkate aldığını ifade etmiştir [3]. Yapılan çalışmalardan ve günlük hayattan edindiğimiz bilgilere göre özellikle ülkemizde ikinci el araç almak isteyen müşterilerin araçların geçmiş yıllarda yapılmış bakımları, kaza durumu, değişen ve boyanan kaporta parçaları gibi bilgilere önem verdiği görülmektedir.

Akçi tarafından ikinci el otomobil pazarının tüketici yönünden değerlendirilmesine ilişkin yapılan çalışmada, müşterilerin ikinci el otomobil alım aşamalarında en çok şikâyet ettikleri konu olarak satıcıların gerçek bilgileri saklaması gösterilmiştir [3]. Araştırmacı tarafından bu durumun çözümü olarak müşterilerin oto test merkezlerinden faydalanmaları tavsiye edilmiştir. Oto test merkezlerinden genel olarak aracın kaportasına ait parçaların değişme ve boyanma bilgileri alınabilmekte bunun yanında aracın motor performansı, elektronik aksamı vb. durumlar hakkında raporlara ulaşılabilmektedir. Yaşadığımız tecrübeler oto test merkezlerinin belli bir standardı olmadığı, piyasada bu işi çok basit yapan korsan firmaların olduğunu göstermektedir. Bir test merkezinde bildirilen değişen bir kaporta parçasının başka bir test merkezinde değişmemiş olarak bildirildiği durumlar yaşanabilmektedir. İkinci el araç almak isteyen müşterilerin yaşadığı güven sorununun çözümü olarak bir aracın geçmişteki tüm bakım kayıtlarına, kullanılan malzeme ve parçalara, herhangi bir arıza ya da kaza kaydına, değiştirilen parçaların orijinal olup olmaması gibi bilgilere erişilmesi gerekmektedir. Bu tür bilgilere doğru bir şekilde erişebilmek için bahsedilen işlemlere ilişkin kayıtların bu işlemleri yapan servis noktaları tarafından elektronik ortama aktarılması gerekmektedir. Mevcut durumda otomotiv firmaları garanti süresince araçların tüm bakım ve servis işlemlerinin yetkili servislerde yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla bir aracın garanti süresindeki tüm kayıtlarına erişmek mümkün olabilmektedir. Bu avantaj, bakım ve tamir işlemleri yetkili servislerde yapılan araçların ikinci el araç alımında daha fazla tercih edilmesine neden olabilmektedir. Ancak yetkili servis hizmetlerinin piyasaya göre daha pahalı olmasından dolayı araç sahiplerinin büyük çoğunluğu garanti süresi biten araçları için özel servisleri tercih etmektedir. Özel servislerin büyük çoğunluğu araç kayıtlarının elektronik ortamda yönetebileceği bir bilgi sistemine sahip olmamakla beraber; bilgi sistemi olan servislerin de diğer servislerle herhangi bir şekilde veri paylaşımı yapmadığı bilinmektedir. Araç ekspertiz merkezleri ve ikinci el araç alım

satımına bir standart geliştirilmesi ve hizmet sunumundaki hesap verebilirlik durumunda iyileştirme yapılması adına 8 Eylül 2018 tarih ve 30529 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “İkinci El Motorlu Kara Taşıtlarının Ticareti Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” uygulamaya alınmıştır. Bu yönetmelikle birlikte hem test merkezlerinin TSE standartlarına göre hizmet sunumu, hem de alım satım işiyle uğraşan tüccarların satış sonrası sorumlulukları düzenlenmiştir. 2018 yılı sonrası ikinci el araç alım satımlarında yönetmelik kapsamına giren araçlar için hem test merkezleri hem de satıcılar sorumluluk almakta olup, yapılan test işlemlerine dair kayıtların 5 yıl süresince saklanması zorunlu hale getirilmiştir. Ancak yönetmeliğin 3.maddesi 3.fıkrasında “Sekiz yaş ve yüz altmış bin kilometre üzerindeki ikinci el otomobil ve arazi araçları için ekspertiz raporu alınması zorunlu değildir.” hükmü bulunmaktadır. Dolayısı ile bu durumda birçok araç yine kanuni koruma dışına çıkmış olmaktadır [6].

Bu çalışmada bahsedilen tüm sorunların üstesinden gelebilmek için özel bir blokzinciri ağında araçların servis ve bakım bilgilerinin dağıtık ve şeffaf olarak saklanması üzerine bir çözüm önerisi sunulmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

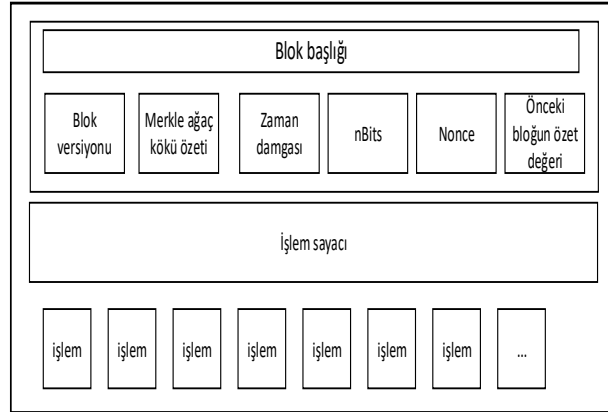
A. BLOKZİNCİRİ

Blokzinciri teknolojisi ilk olarak gerçekte var olup olmadığı belli olmayan Nakamoto adlı bir yazar tarafından tanıtılmıştır [7]. İlk zamanlarda kripto paralar ile bilinir hale gelen blokzinciri, sonraki yıllarda özellikleri sayesinde farklı alanlarda hayatı kolaylaştıran çözümlere öncülük etmiştir. Blokzinciri teknolojisi yapısı gereği sunduğu fırsatlar ile dağıtılmış uygulamalarda devrim yaratmıştır [8]. Araştırmacılar tarafından blokzincirine ilişkin birçok tanım yapılmıştır. Bunlardan birkaçı şu şekildedir; Beck, blokzincirini bir bilgisayar ağında birçok katılımcı arasında güvenli, tutarlı ve şeffaf işlemlerin yapılmasına olanak sağlayan bir veritabanı olarak ifade etmiştir [9]. Reyna vd. blokzincirini yapılan veri işlemlerinin güvenilirliğinin ağdaki paydaşlar tarafından sağlandığı bir veri yapısı olarak tanımlamıştır [10]. Zheng vd. göre blokzinciri katılımcı düğümler tarafından onaylanan işlemlerin bloklar halinde saklandığı, yeni veriler eklendikçe yeni blokların oluşturulduğu ve bu şekilde giderek büyüyen bir veri defteri olarak ifade edilmiştir [11]. Teknik açıdan bakıldığında, blokzinciri merkezi olmayan uzlaşma yöntemleri, kriptografik algoritmalar ve dağıtık, şeffaf ve değiştirilemez bir veritabanının birleşimi olarak tanımlanabilir [12]. Blokzinciri teknolojisinin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Dağıtık yapı: Paydaşlar merkezi bir otoriteye ya da üçüncü taraf uygulamalara güvenmek zorunda kalmaz.
- Şeffaflık: Ağda bulunan düğümler diğer düğümlerin yaptığı işlemleri görebilir.
- Otonom Çalışma: Blokzinciri ağının bir sahibi yoktur, herhangi bir düğüm zincirden çıkarsa ağ çalışmaya devam eder.
- Saldırılara karşı direnç: Proff of Work (PoW) gibi uzlaşma mekanizmaları karşı saldırı yapmak için çok fazla hesaplama gücü gerekmektedir.
- Hata izlenebilirliği: Blokzincirindeki hatalı noktalar tespit edilebilir.
- Geçmiş verilerin değişmezliği: Blokzincirinde bulunan bir verinin değiştirilmesi ya da silinmesi mümkün değildir [13].

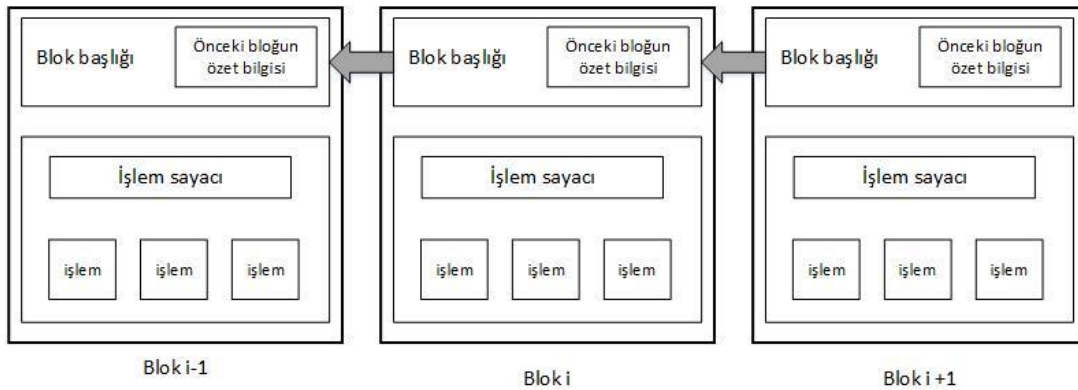
Blokzinciri teknolojisinin sunduğu önemli hizmetlerden biri de akıllı sözleşmelerdir. Akıllı sözleşmeler, bir dizi olayın gerçekleşme şartlarını blokzinciri üzerinde yürüten bir işlem protokolüdür [14]. Akıllı sözleşmeler, taraflar arasında yapılan anlaşmaların elektronik ortamda şeffaf ve güvenli bir şekilde yürütülmesini sağlamaktadır. Birçok blokzinciri sistemi farklı yazılım dilleri desteği ile akıllı sözleşme hizmeti sunmaktadır. Örneğin Ethereum sistemi üzerinde Solidity yazılım dili ile akıllı sözleşmeler oluşturabilmek mümkündür. Akıllı sözleşmeler sayesinde farklı birçok alanda faydalı çalışmalar yapılabilmektedir. Akıllı sözleşmelerin özelliklerinden bazıları şunlardır:

- Akıllı sözleşmeler, merkezi otoriteden bağımsız, dağıtık ve güvenli yapıları sayesinde günümüzde kullanılan klasik sözleşmelerin yerini alabileceğini vadetmektedir.
- Akıllı sözleşmeler, blokzinciri ağında çalışan makine tarafından okunabilen şeffaf ve değiştirilemez yazılım kodu parçalarıdır.
- Akıllı sözleşmeler, oluşturulduktan sonra izlenmeye gerek duymadan otomatik olarak çalışır.



Şekil 1. Blok yapısı [12].

Blokzinciri, yapılan işlemlerin boyutuna göre artan, birbirine bağlı bloklardan oluşmaktadır. Bir blok Şekil 1’de gösterildiği gibi önceki bloğa ait değerler, zaman damgası, blok versiyonu ve işlem sayacı gibi bilgileri bulundurmaktadır. Blokların birbirine bağlanmasıyla Şekil 2’deki gösterilen blokzinciri yapısına benzer bir zincir oluşur.



Şekil 2. Blokzinciri yapısı [12].

Mevcut blokzinciri sistemleri Genel (Public) Blokzinciri, Özel (Private) Blokzinciri ve Konsorsiyum (Consortium) Blokzinciri olmak üzere üç kategoride sınıflandırılmıştır [15,16]. Genel Blokzinciri, çeşitli kurumlara bağlı ya da bağımsız kişilerin katılımına, kayıt eklemesine ve madencilik yapmasına imkân veren açık bir platform sunmaktadır. Bu tür blokzincirlerinde herhangi bir kısıtlama yoktur ve bu yüzden izinsiz blokzinciri olarak da adlandırılır. Katılımcılar arasında izinleri doğrultusunda veri paylaşımı ve alışverişine olanak sağlayan bir ya da birden fazla grup tarafından yönetilen blokzinciri yapıları Özel Blokzinciri olarak ifade edilmektedir. Ağa bir paydaşın katılımı ve erişimi, ağı yöneten grup tarafından belirlenen kurallara göre yapılmaktadır. Konsorsiyum Blokzinciri, blok doğrulama ve uzlaşma işlemlerinde tek bir organizasyonun yerine önceden belirlenmiş bir grup paydaşın karar verici olarak yer aldığı kısmen özel ve izinli bir blokzinciri olarak tanımlanabilir. Bu tür ağlarda kimlerin katılımcı olacağına ve kimlerin madencilik yapabileceğine bu paydaşlar tarafından yönetilmektedir. Bu çalışmada özel blokzinciri üzerinde bir uygulama önerilmiştir.

B. MOTORLU ARAÇLAR İÇİN MEVCUT BLOKZİNCİRİ UYGULAMALARI

Son yıllarda blokzinciri teknolojisi çeşitli uluslararası kuruluşlar, özel sektör ve basın tarafından büyük ilgi görmektedir. Aynı şekilde birkaç yıl önce alanyazında blokzinciri konulu çalışma sayısı sınırlı iken günümüzde bu teknoloji ile ilgili farklı alanlarda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır [17]. Alanyazın incelendiğinde motorlu araçlar üzerine yapılmış blokzinciri tabanlı çalışmalara rastlamak mümkündür. Bunlar genelde motorlu taşıtların vergi, muayene, sahiplik gibi bilgilerinin dağıtık olarak saklanması, araç kiralama, elektrikli araçların kripto paralar karşılığı şarj edilmesi gibi konular üzerinedir. Bu çalışmalardan bazılarında aşağıda yer verilmiştir.

Danimarka’da hayata geçirilen Vehiche Wallet adlı proje ile her aracın üretim, bakım, sahiplik durumu, kiralama ve hurdaya çıkma gibi bilgilerin araçlar için blokzinciri ağı üzerinde oluşturulan dijital cüzdanlarda saklanabilmektedir. Bu proje sayesinde Danimarka vergi kurumları araç bilgilerine erişebilmiş ve vergi tahsilatlarında kolaylık sağlanmıştır [18-19]. Araç kiralama hizmetlerinde hem firma hem de müşterilerin mağdur olduğu durumlar ile karşılaşabilmektedir. Hassija vd. sundukları çalışmada araç kiralama hizmetlerinde blokzinciri ve akıllı sözleşmelerden faydalanarak, kabahatli ve ceza gibi durumların dijital olarak yönetilmesi sağlanmıştır [20].

Son yıllarda elektrik ile çalışan araçlar günlük hayatta kullanılmaya başlanmıştır. Yakın gelecekte de bu araçların yaygınlaşması öngörülmektedir. Kim vd. elektrikli araçların şarj istasyonlarında şarj edilmesi, ücretinin de blokzinciri üzerinden ödenmesini öneren bir çalışma yapmıştır [21]. Pustisek vd. elektrik şarj istasyonlarının yaygınlaşacağını belirtmiş ve araç sahipleri için trafik, zaman ve maliyet gibi etkenleri göz önünde bulundurarak en avantajlı şarj istasyonunun belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır [22]. Xia vd. ise elektrikli araçların birbiri ile elektrik transferi yapabilmesi ve yapılan transfer karşılığında ücret ödenmesi üzerine bir sistem önermişlerdir [23].

Kim vd. giderek yaygınlaşan otomatik sürüş özellikli akıllı araçların daha güvenli yolculuk için kendi aralarında veri alışverişi yapabileceklerine ilişkin bir çalışma yapmıştır [24]. Yazarlar çalışma sayesinde diğer araçların durumu, yol çalışmaları ve diğer çevre bilgilerinin blokzinciri üzerinde tutulması ve araçlar arasında paylaşılması sayesinde daha güvenli otomatik sürüş imkanı sağlanabileceğini ifade etmiştir. Çalışmada bir kaza, acil durum veya suç teşkil eden bir durumun tespit edilmesi durumunda akıllı sözleşmeler ile bu durumun kayıt altına alınması ve ilgili birimlerle paylaşılmasının faydalı olacağından bahsedilmiştir.

Hossain vd. kamyonet, otomobil ve motosiklet gibi motorlu araçlara ilişkin araç sahibi bilgileri, aracın maddi değeri, aracın rengi, araca ait vergi ve sigorta bilgileri gibi verilerin blokzinciri üzerinde saklanmasına ilişkin bir çalışma yapmışlardır [25]. Yazarlar bu çalışma sayesinde geleneksel sistemlerde gerekli olan resmi belge zorunluluğunun ortadan kalkabileceği ve belge doğrulama işlemlerinin daha hızlı, şeffaf ve güvenilir olabileceğini belirtmiştir. Ama çalışma incelendiğinde her araç sahibinin blokzincirinin bir nodu (katılımcısı) olduğu görülmüştür. Bunun uygulamanın hataya geçirilmesi durumunda çok fazla her katılımcı için çok büyük veri alanı gerektireceği ve performans sorunlarına neden olabileceği düşünülmektedir.

Demir vd. motorlu araçların sigorta kayıtlarının blokzinciri üzerinde saklanması ve paylaşılması üzerine bir çalışma yapmıştır [26]. Bu çalışmanın amacı araç sahipleri, sigorta firmaları, üreticiler, adli birimler ve güvenlik birimleri gibi paydaşlar için güvenli verinin sağlanması olarak belirtilmiştir. Aracın sahiplik bilgileri, sigorta durumu, sürücü belgesi vergi ödemeleri gibi verilerin paydaşlar arasında güvenli bir şekilde paylaşılması durumunda daha güvenilir ve daha hızlı işlem yapmanın mümkün olacağı iddia edilmiştir. Örnek olarak ise polis kontrol noktasında bir araç ve sürücü için gerekli kontrol işlemlerinin önerilen sistem sayesinde çok daha hızlı ve güvenilir olabileceği ifade edilmiştir.

Literatürde benzer çalışmaların giderek arttığı görülmektedir. Birkaç istisna dışında yapılan çalışmaların teorik olduğu ve ileride geliştirilmek üzere çözüm önerileri içerdiği görülmüştür. Blokzinciri teknolojisinin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla beraber yakın zamanda günlük hayatta uygulamalı çalışmalara rastlamanın mümkün olacağı düşünülmektedir. Diğer ülkeler yapılan çalışmalarda daha çok

motorlu araçlara ait vergi ödemeleri, sigorta durumu, aracın sahipliği gibi veriler üzerinde durulmuştur. Diğer ülkelerden farklı olarak ülkemizde motorlu araçların bir yatırım aracı olarak görüldüğü ve ikinci el araç alım satımının çok fazla olduğu bilinmektedir. Yine diğer ülkelerden farklı olarak ikinci el araç alım satımlarında aracın kaporta durumu ve servis kayıtları gibi bilgilerine önem verildiği ve bu bilgilerin aracın değeri üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak araçların kaporta durumu, servis kayıtları ve kullanılan malzeme ve parça bilgilerinin blokzinciri üzerinde yönetilmesi ve paylaşılması üzerine bir çözüm önerisi getirilmiştir.

C. ARAÇ CÜZDANI UYGULAMASI

Bu çalışmada motorlu araçların servis ve bakım bilgilerinin dağıtık ve şeffaf olarak blokzinciri ağı üzerinde saklanması üzerine bir uygulama önerilmektedir. Aşağıdaki bölümlerde bu uygulamanın teknik özellikleri, örnek ekran tasarımları (mockup) ve günlük hayatta nasıl uygulanabileceği hakkında bilgi verilmektedir.

Tablo 1. Uygulamadaki aktörlerin görev ve hakları.

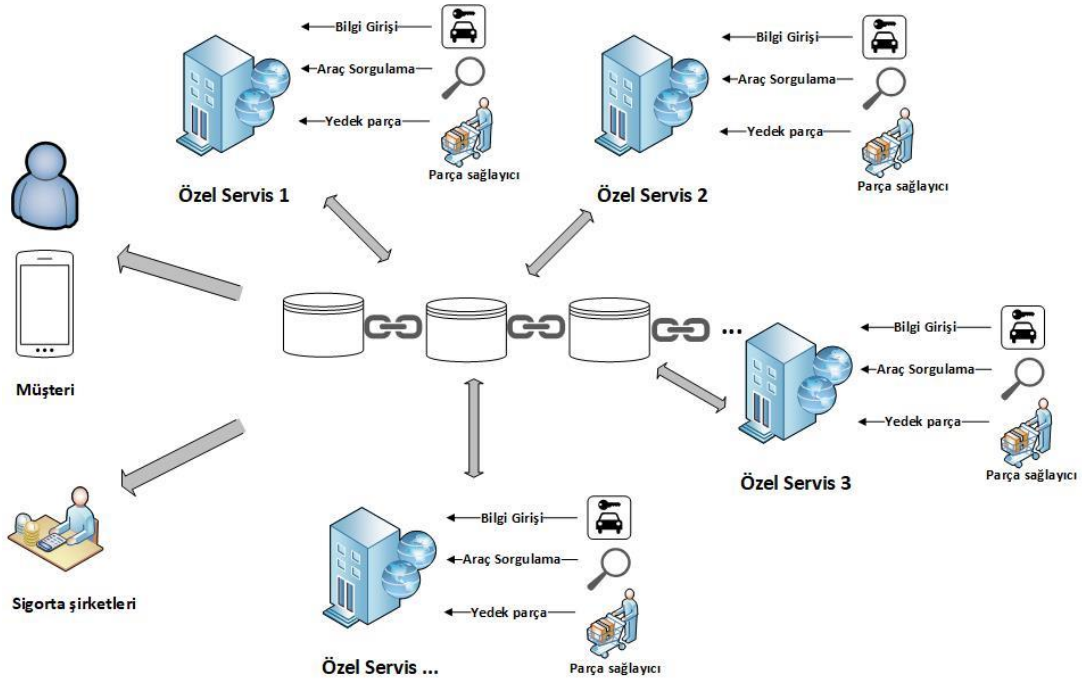
Aktör	Görevleri ve Hakları
Uygulama yönetimi	Uygun blokzinciri ağının kurulması Blokzinciri ağı için gerekli bakım güncellemelerin yapılması Katılımcı özel servislerin belirlenmesi ve yönetimi Özel servislere kurulum sırasında ve sonrasında maddi ve teknik destek verilmesi Mobil uygulama geliştirilmesi ve yönetilmesi İdari ve mali işlerin yönetilmesi Tanıtım, reklam ve iletişim merkezi gibi hizmetlerinin yerine getirilmesi
Özel servis	İlk kurulum için uygulama yönetimiyle birlikte çalışılması Kurulan uygulama noktasının bakım ve güvenliğinin sağlanması Araç bilgilerinin doğru ve düzenli olarak uygulamaya girilmesi Araç bilgisi sorgulamak isteyen müşteriler için ücret karşılığı rapor oluşturulması İdari ve mali konularda uygulama yönetimi ile çalışılması
Araç sahibi	Kendi aracına ait bilgilerin blokzincirinde saklanmasını talep edebilir. İstediğinde özel servisler veya mobil uygulama aracılığıyla kendi aracına ait bilgileri sorgulayabilir.
İkinci el araç müşterisi	Almak istediği araca ait bilgileri özel servis veya mobil uygulama aracılığıyla makul bir ücret karşılığında sorgulayabilir.
Parça sağlayıcı	Uygulama üzerinden özel servislere parça ve malzeme bilgisi sunarak, kullanılan parça ve malzemelerin kayıt altına alınmasını sağlar. Kayıtlarını şeffaf ve doğru bir şekilde paylaşan bu firmalar sigorta şirketleri ve müşteriler tarafından tercih edilecektir.

Sigorta şirketleri

Özel servis, parça sağlayıcıların ve müşterilerin kayıtlarına erişebilir. Bu sayede sigorta veya şirketi özel servis kaynaklı olası usulsüzlüklerin önüne geçilebilir.

Önerilen araç cüzdanı uygulamasında iki grup bulunmaktadır. Bunlardan birincisi araç verilerini blokzinciri ağına yükleyecek özel araç servisleri, ikincisi ise blokzinciri üzerinde saklanan araç verilerini sorgulamak isteyen ikinci el araç müşterileridir. Bu blokzinciri ağına sadece yetkilendirilmiş özel servislerin veri kaydedebilmesi gerekmektedir. Bu nedenle önerilen araç cüzdanı uygulaması özel bir blokzinciri üzerinde çalışmalıdır. Uygulama kapsamında öncelikle özel bir blokzinciri ağının kurulması gerekmektedir. Bunun için HyperLedger [27], Ethereum [15], MultiChain [28] gibi blokzinciri sistemleri kullanılabilir. Piyasada ve akademik çalışmalarda bu sistemlerin başarılı uygulama örneklerine rastlamak mümkündür. Özel servislere gerekli teknik destek sağlanarak bu servis noktalarının kurulan blokzinciri ağının birer nodu (katılımcısı) olması sağlanmalıdır. Katılımcı özel servisler bir araca ilişkin yapılan her bakım ve servis işleminin blokzincirine kaydedilmesini sağlamalıdır. Burada her aracın blokzinciri ağında bir cüzdan hesabı olmalıdır. Özel servisler tarafından kayıtlı olmayan araçlar için blokzincirinde cüzdan oluşturma işlemi de yapılabilir. Bu cüzdan oluşturma aşamasında her araç için kimlik numarası yerine geçen motor şasi numarasının kullanılması uygun olacaktır.

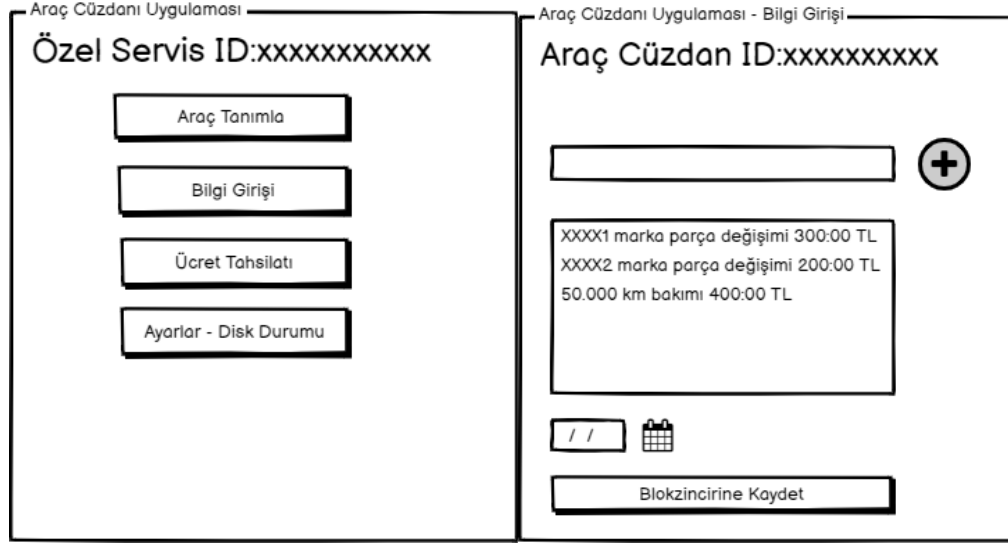
Uygulamada ikinci el araç almak isteyen müşterilerin sorgulama yapabilmesi sağlanmalıdır. Bunun için uygulamaya katılımcı özel servislerin bilgi girişinin yanında araç bilgilerini sorgulama hizmeti de vermesi gerekmektedir. Böylelikle kayıtlı herhangi bir servisin girdiği araç bilgisine diğer özel servisler tarafından erişmek mümkün olacaktır. Ayrıca blokzinciri sistemleri tarafından sağlanan API (Uygulama Arayüzü) hizmetleri aracılığıyla geliştirilecek bir mobil uygulama sayesinde müşterilerin özel bir servise gitmesine gerek kalmadan araç sorgulama imkânı verilebilir. Uygulamada kurulan blokzinciri türü özel blokzinciri olduğu için ağa katılmak isteyen özel servislerin belirlenmesi ve yönetilmesi gerekmektedir. Bu yönetim görevi bir firma veya bir organizasyon tarafından yürütülebileceği gibi özel servisler tarafından belirlenen bir kurul da bu görevi yerine getirebilir. Önerilen uygulamanın doğru bir şekilde kurulması ve yönetilmesi için uygulamada yer alan aktörlerin görevleri ve hakları Tablo 1’ de verilmiştir.



Şekil 3. Araç cüzdanı uygulamasının genel yapısı.

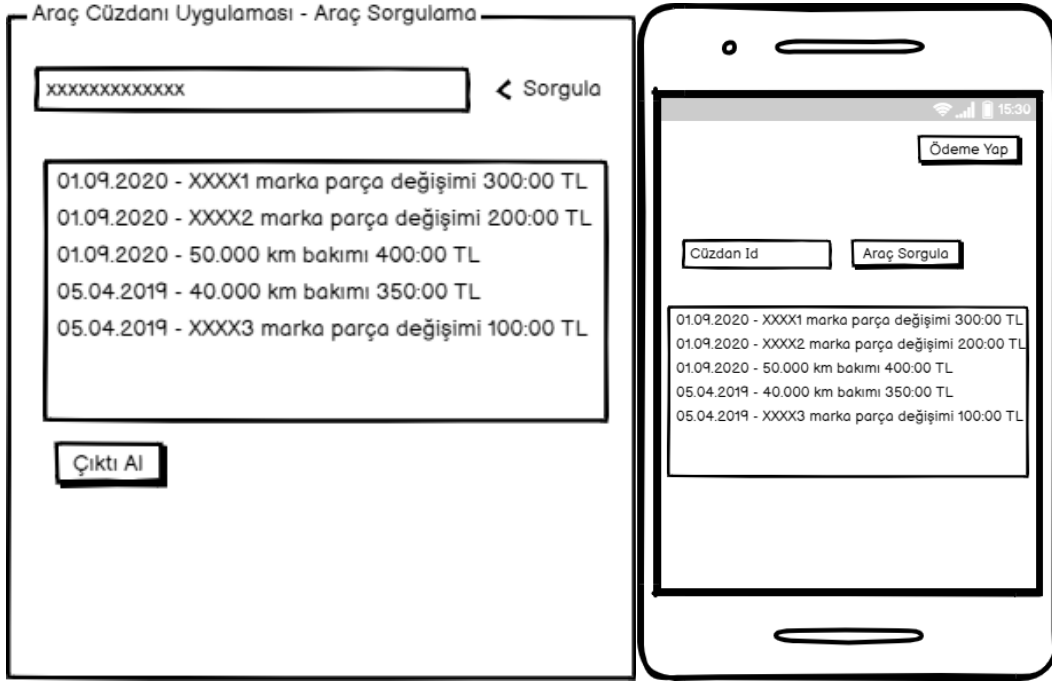
Şekil 3’te önerilen araç cüzdanı uygulamasının genel yapısı verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi uygulamaya katılan özel servisler blokzinciri ağında birer paydaş olarak yer almaktadır. Bu paydaş özel

servisler ağı katıldıktan sonra güncel bir şekilde bütün araçların cüzdanlarına başka bir deyişle servis ve bakım bilgilerine erişebilmekte ve veri merkezi olarak çalışmaktadır. Özel servisler kullanacağı parçaları bilgilerini de uygulamaya veri sağlayan parça sağlayıcı firmalar tarafından temin etmesi durumunda kullanılan parçaların da blokzinciri üzerinde takip edilmesi mümkün olacaktır. Bu sayede hem müşteri kullanılan parçanın özelliklerini görebilecek hem de sigorta şirketleri ödeme süreçlerini daha doğru ve şeffaf yapabilecektir. Sigorta şirketleri, araç sahipleri ve araç servisleri anlaşmalı olarak daha fazla ödeme almak için usulsüz olarak yüksek masraf çıkardığı durumlar ile karşılaşmaktadır. Bu uygulama sayesinde parçaların ve malzemelerin şeffaf bir şekilde uygulama üzerinden takip edilebilmesi sayesinde bu tür usulsüzlüklerin önüne geçilebilecektir. Şekilde görüldüğü gibi geliştirilen mobil uygulama üzerinden de istenilen bir araca ait bilgilere blokzinciri ağı üzerinden anlık olarak erişmek mümkün olacaktır.



Şekil 4. Araç Cüzdanı Uygulamasının ana menüsü ve bilgi girişi ekranları.

Önerilen sistemin daha iyi anlaşılması için örnek ekran tasarımları hazırlanmıştır. Şekil 4'te araç cüzdanı uygulamasının ana menüsü ve bilgi girişi ekranları yer almaktadır. Özel servisler, ana menü ekranında görülen menülerden araç tanımlayabilecek, bilgi girişi yapabilecek, ücret tahsil edebilecek ve uygulama ayarları ve disk durumu gibi bilgilere erişebilecektir.

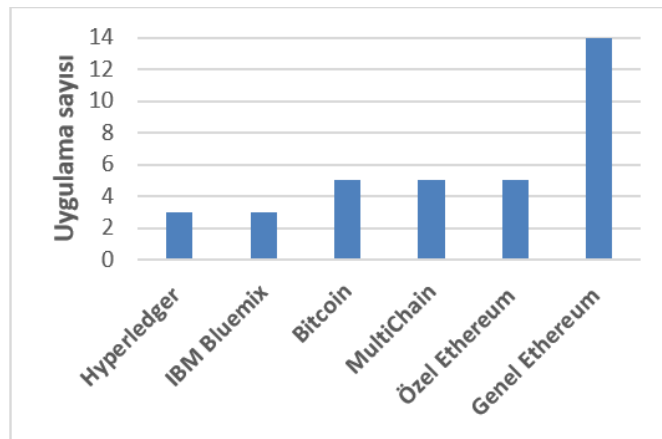


Şekil 5. Özel servis uygulaması ve mobil uygulamada bulunan araç sorgulama ekranları.

Şekil 5' te özel servisler tarafından kullanılan uygulama ve müşteriler tarafından kullanılan mobil uygulama üzerinden yapılan araç sorgulama ekranları görülmektedir. Bu ekranlarda sorgulanmak istenilen aracın cüzdan ID değeri girilerek o aracın blokzinciri üzerindeki tüm kayıtlarına erişmek mümkün olmaktadır. Bununla birlikte, cüzdan ID sadece araç sahibi ve servis yetkilisi tarafından bilindiği için, araç bilgilerin üçüncü kişiler tarafından istemsiz görüntülenmesi engellenmiş olur. Ekran tasarımlarında görüldüğü gibi özel servis uygulamasında çıktı alma seçeneği, mobil uygulamada ise ödeme yapma seçeneği bulunmaktadır. Mobil uygulama ve özel servisler üzerinden yapılacak araç sorgulama ödemelerinin kredi kartı veya nakit olarak tahsil edilmesi önerilmektedir. İlerleyen zamanlarda bu seçeneklere alternatif olarak özel blokzinciri ağı üzerinde yönetilen sanal paralar ile de ödeme seçeneği sunulması planlanabilir.

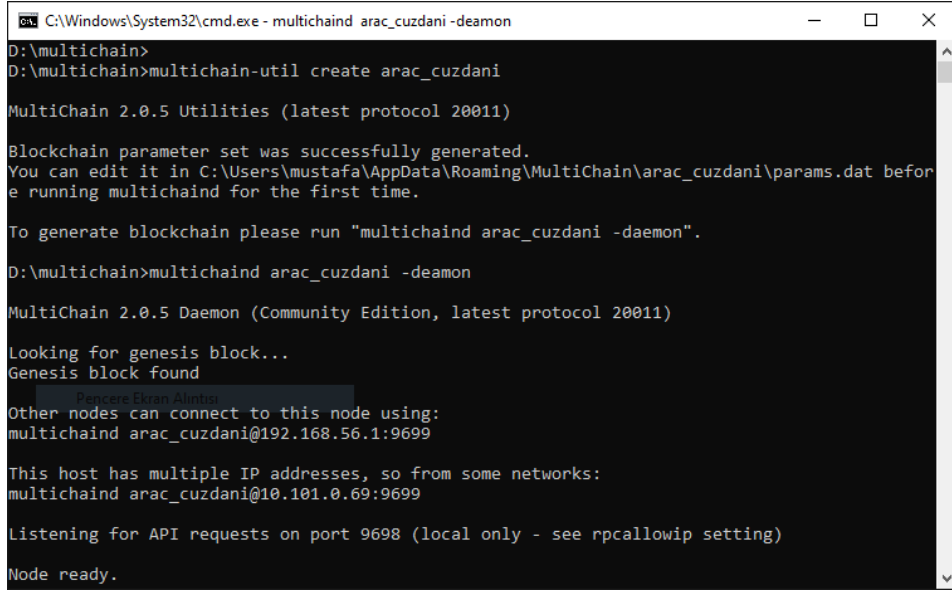
D. ÖNERİLEN UYGULAMANIN GELİŞTİRİLMESİ

Literatürde blokzinciri konulu birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bunlardan büyük kısmı mimari ve çözüm önerileri içeren çalışmalardır. Sayısı çok az olan bazı çalışmalarda ise mevcut blokzinciri sistemleri kullanılarak gerçek zamanlı uygulamalar sunulmuştur. Abadi vd. 2018 yılı itibariyle bu çalışmalarda kullanılan blokzinciri sistemlerini şekil 6'daki gibi listelemiştir.



Şekil 6. Literatürde kullanılan blokzinciri sistemleri [29].

Abadi vd. tarafından yapılan çalışmaya göre araştırmacılar blokzinciri sistemi olarak en çok Ethereum, Bitcoin, MultiChain, Hyperledger ve IBM Bluemix sistemlerini tercih etmiştir. Genel olarak incelendiğinde bu sistemler benzer özellikler ve benzer performans değerlerine sahiptir. Bu çalışmada önerilen uygulama için blokzinciri sistemi olarak kullanımı kolaylığı ve birçok yazılım dili için API desteği sunan MultiChain sistemi tercih edilmiştir. Tekrar vurgulamak gerekirse blokzinciri sistemleri genel olarak benzer özellikler sunmaktadır, bu nedenle araştırmacılar tarafından yazılım dili ya da önceki tecrübeler ışığında farklı blokzinciri sistemleri de tercih edilebilir.



```
C:\Windows\System32\cmd.exe - multichaind arac_cuzdani -daemon
D:\multichain>
D:\multichain>multichain-util create arac_cuzdani

MultiChain 2.0.5 Utilities (latest protocol 20011)

Blockchain parameter set was successfully generated.
You can edit it in C:\Users\mustafa\AppData\Roaming\MultiChain\arac_cuzdani\params.dat before running multichaind for the first time.

To generate blockchain please run "multichaind arac_cuzdani -daemon".

D:\multichain>multichaind arac_cuzdani -daemon

MultiChain 2.0.5 Daemon (Community Edition, latest protocol 20011)

Looking for genesis block...
Genesis block found

Other nodes can connect to this node using:
multichaind arac_cuzdani@192.168.56.1:9699

This host has multiple IP addresses, so from some networks:
multichaind arac_cuzdani@10.101.0.69:9699

Listening for API requests on port 9698 (local only - see rpcallowip setting)

Node ready.
```

Şekil 7. Blokzinciri kurulumu.

Blokzinciri kurulumu için Windows 10 işletim sistemi yüklenmiş Intel Xeon 2.40 GHz işlemci ve 32 GB belleğe sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. İlk aşamada bu bilgisayara MultiChain sistemi kurulumu gerçekleştirilmiştir. Şekil 7’de kurulumla ilişkin ekran görüntüsü verilmiştir. Bu ekranda da görüldüğü gibi “arac_cuzdani” adlı zincir kurulmuş ve gerekli dosyalar oluşturulmuştur. Kurulum yapılan bilgisayarın ip adresi 192.168.56.1 olarak belirlenmiş ve kurulan “arac_cuzdani” adlı zincire bağlanmak için “arac_cuzdani@192.168.56.1” bilgisi herkese açık olarak yayınlanmıştır.


```
Win10 [Çalışıyor] - Oracle VM VirtualBox
Dosya Makine Görünüm Giriş Aygıtlar Yardım
C:\Windows\System32\cmd.exe - multichaind arac_cuzdani@10.101.0.69:9699
C:\multichain\multichain-windows-2.0.5>multichaind arac_cuzdani@10.101.0.69:9699
MultiChain 2.0.5 Daemon (Community Edition, latest protocol 20011)
Retrieving blockchain parameters from the seed node 10.101.0.69:9699 ...
Blockchain successfully initialized.
Please ask blockchain admin or user having activate permission to let you connect and/or
transact:
multichain-cli arac_cuzdani grant 1YGs2cBqdG7DUkZcns4tm1aYGm3qz1z5NNVgfk connect
multichain-cli arac_cuzdani grant 1YGs2cBqdG7DUkZcns4tm1aYGm3qz1z5NNVgfk connect,send,rec
eive

C:\multichain\multichain-windows-2.0.5>multichaind arac_cuzdani@10.101.0.69:9699
MultiChain 2.0.5 Daemon (Community Edition, latest protocol 20011)
Retrieving blockchain parameters from the seed node 10.101.0.69:9699 ...
Other nodes can connect to this node using:
multichaind arac_cuzdani@10.0.2.15:9699

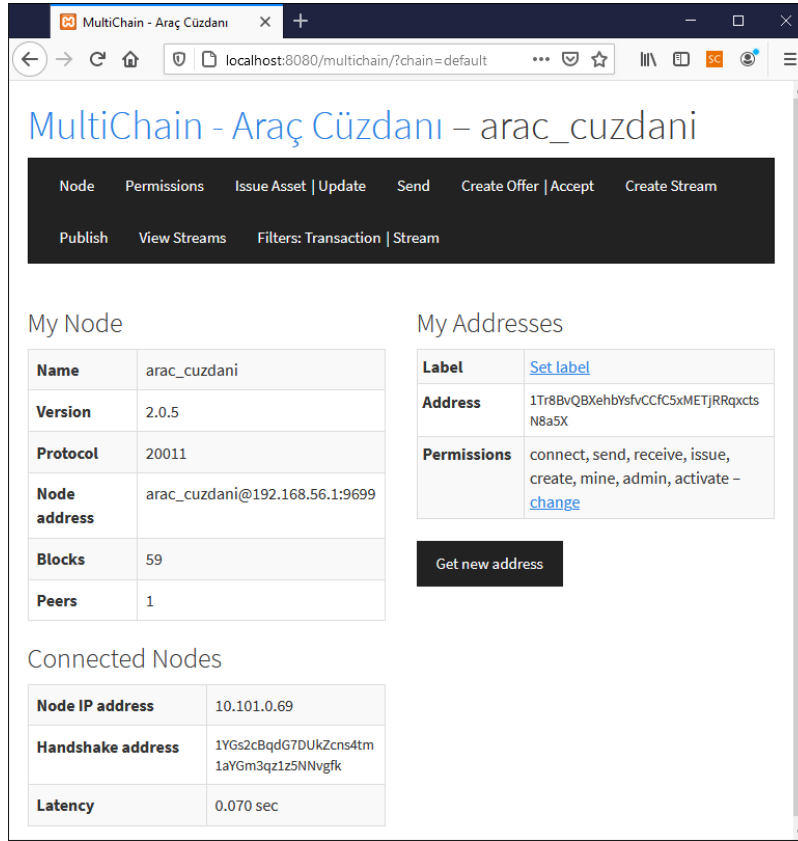
Listening for API requests on port 9698 (local only - see rpcallowip setting)
Node ready.
```

Şekil 8. Blokzincirine katılım.

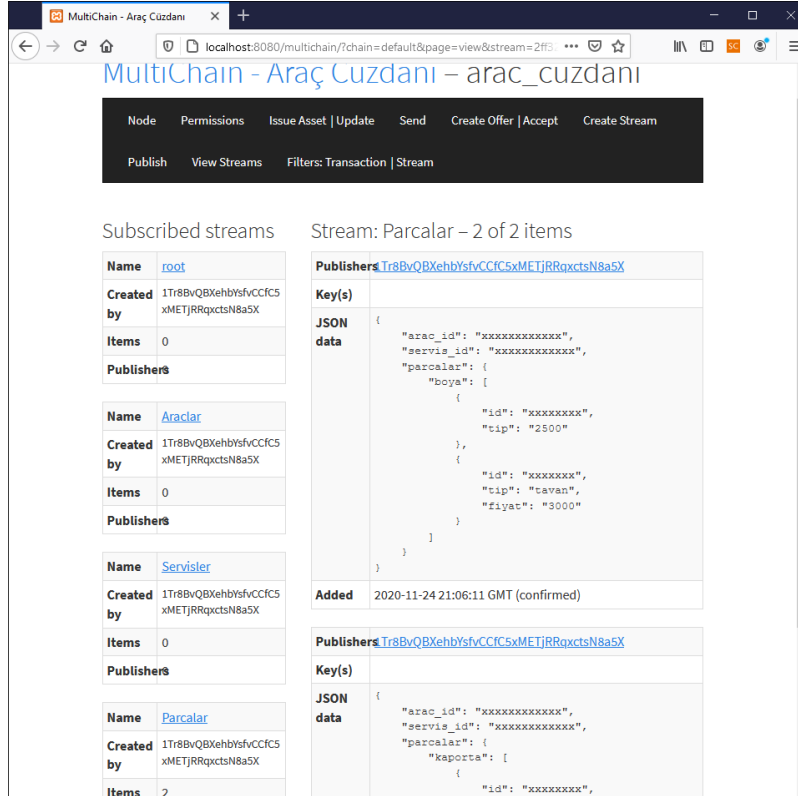
MultiChain ve diğer özel blokzinciri sistemlerinde zincire katılımcı eklenmesi için ip adresi ve port numaralarına göre firewall üzerinden gerekli izinlerin sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada üzerinde geliştirme yapılan bilgisayara Oracle VM VirtualBox programı kurularak bir sanal makine oluşturulmuş ve internet bağlantısı sağlanmıştır. Daha sonra bu sanal makineye gerekli MultiChain dosyaları yüklendikten sonra herkese açık olarak yayınlanan “arac_cuzdani@192.168.56.1” komutu MultiChain komutu olarak çalıştırılmıştır. Şekil 8’de MultiChain komutunun çalışmasına ilişkin ekran görüntüsü görülmektedir. Sanal makine üzerinden ilgili komut girildikten sonra özel blokzinciri olan “arac_cuzdani” zincirine bağlanmak için izinlerin verilmesi gerekmektedir. İlgili izinler ve tanımlamalar yapıldıktan sonra sanal makine üzerinden kurulan zincire bağlantı sağlanabilmektedir.

MultiChain tarafından geliştiricilere sunulan en önemli araçlardan biri de “MultiChain Explorer” adlı web uygulamasıdır. Bu uygulama sayesinde web üzerinden blokzinciri üzerindeki tüm faaliyetler eş zamanlı olarak tarayıcı üzerinden yönetilebilmektedir. Bu geliştirme aşamasında da “MultiChain Explorer” uygulamasından faydalanılmıştır.

Şekil 9’da “MultiChain Explorer” adlı uygulamanın ekran görüntüsüne yer verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 192.168.56.1 ip adresi üzerinde kurulan “arac_cuzdani” adlı zincire 10.101.0.69 ip adresine sahip bilgisayar katılımcı olarak bağlanabilmektedir. Bu uygulama sayesinde çok sayıda katılımcının bilgileri ve izinleri yönetilebilir.



Şekil 9. MultiChain Explorer uygulaması katılımcı ekranı.



Şekil 10. MultiChain Explorer uygulamasında data akışları.

MultiChain sunduğu data stream(veri akışı) özelliği sayesinde klasik veritabanı tablolarına benzer yapıda veri saklamayı sağlamaktadır. Data stream üzerinde metin, json verisi, dosya gibi farklı yapılarda veri saklanabilmektedir. Şekil 10’da “MultiChain Explorer” uygulaması aracılığıyla tanımlanmış data akışları görülmektedir. Şekil incelendiğinde “Parcalar” adlı data akışında arac_id, servis_id ve parçaların id, fiyat gibi özellikleri ile saklanabildiği görülmektedir. Data akışlarına kaydedilecek verinin formatı istenildiğinde ihtiyaca göre güncellenebilir. Data akışlarının bir diğer özelliği ise her katılımcı için data akışlarına okuma ve yazma izinlerinin ayrı ayrı tanımlanabilmesidir. Bu sayede “Parcalar” adlı data akışı için tüm servislere yazma izni verilirken, “Servisler” adlı data akışı için sadece yönetim birimine yazma izni verilebilmiştir.

Bu bölümde MultiChain sistemi kullanılarak bir zincir oluşturulmuş ve bu zincire başka bir bilgisayarın da katılımcı olarak bağlanması sağlanmıştır. Zincir üzerinde oluşturulan “Araclar”, “Servisler” ve “Parcalar” adlı data akışları sayesinde verilerin dağıtık ve değiştirilemez olarak kaydedilmesi sağlanmıştır. Buraya kadar bir blokzinciri sistemi kurulumu ve yönetimi hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bu aşamadan sonra sektörün ihtiyaçlarının ayrıntılı analizinin yapılması ve MultiChain tarafından PHP, C#, Python, Java, Javascript gibi yazılım dilleri için sunulan API’ler sayesinde geliştirmeye devam edilmesi gerekmektedir.

E. ÖNERİLEN UYGULAMANIN HAYATA GEÇİRİLMESİ

Önerilen uygulamanın ilk kurulumu, devamının sağlanması ve yönetilmesi sırasında bazı zorluklarla karşılaşılması öngörülmektedir. Günümüzde birçok veri elektronik ortamda saklanmakta ve yönetilmektedir. Dünyada ve ülkemizde verilerin şeffaflığı ve güvenliği giderek daha önemli hale gelmektedir. Bu kapsamda önerilen araç cüzdanı uygulamasının ülkemizde de son yıllarda artan dijitalleşme çalışmalarına katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Araç cüzdanı uygulamasının sağlıklı bir şekilde hayata geçirilmesi ve yaygınlaşması için kamu destekli araştırma birimlerinden destek alınması ve yasal mevzuat açısından gerekli çalışmaların yapılması çok önemlidir. Uygulamanın yaygınlaşması sonrasında elde edilen veri havuzu, veri madenciliği, makine öğrenmesi, büyük veri gibi teknolojilerin kullanımı sayesinde faydalı birçok çalışmada kullanılabilir. Ayrıca elde edilen verilerin E-devlet, Emniyet Genel Müdürlüğü, TÜVTÜRK Araç Muayene İstasyonları ve bankalar gibi kurum ve kuruluşlar ile paylaşılması günlük hayatı kolaylaştırabilir.

Uygulamanın başarısı için özel servislerin katılımı ve bu servislerin sağlıklı bir şekilde uygulamayı kullanması çok önemlidir. Bunun için de özel servislere teknik destek verilmesi gerekmektedir. Örneğin Şekil 11’de ülke çapında bazı yetkili servislerde bulunan egzoz emisyon ölçüm cihazının bir örneği bulunmaktadır. Araç cüzdanı uygulamasına katılan özel servisler için de bu cihaza benzer bir cihaz tasarlanması özel servislerin işini kolaylaştıracaktır. Uygulama için gerekli monitör, sunucu, disk üniteleri, yazıcı gibi donanımların bu cihaz üzerinde yer alması sağlanabilir.



Şekil 11. Egzoz emisyon ölçüm cihazı [30].

Gerekli tanıtım ve pazarlama çalışmalarından sonra ikinci el araç müşterilerinin güvenli ve şeffaf olarak araç kayıtlarına erişebildiği için araç cüzdanı olan araçları tercih etmesi öngörülmektedir. Aynı zamanda, ileride kendi aracını satarken kolaylık sağlayacağını düşünen araç sahiplerinin de bakım ve servis işleri için araç cüzdanı uygulamasına dâhil olmuş özel servisleri tercih edeceği düşünülmektedir. Aynı şekilde uygulamaya veri sağlayan parça sağlayıcılarından temin edilen parçaların şeffaf ve değiştirilemez olarak izlenebilmesi özel servisler, sigorta şirketleri ve araç sahipleri için önemli olacaktır. Verilerin şeffaf, güvenli, dağıtık ve değiştirilemez bir şekilde paylaşılmasına olanak sağlayan araç cüzdanı uygulamasının araç sahipleri, müşteriler, özel servisler ve sigorta şirketleri tarafından tercih edileceği ve bu sayede uygulamanın yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

Uygulama yaygınlaşana kadar tanıtım, pazarlama ve özel servislere teknik destek verilmesi gibi hizmetler için maddi kaynak sağlanması gerekecektir. Uygulamanın yaygınlaşması ile müşterilerin özel servisler ve mobil uygulama aracılığıyla ödediği araç sorgulama ücretleri sayesinde uygulama yönetimi kendi ihtiyaçlarını karşılayabilecek duruma gelebilecektir. Zaman içerisinde blokzinciri ağı üzerinde kayıtlı bilgilerin çoğalması, özel servislere bilişim kaynağı ve disk maliyeti de oluşturacaktır. Bu masrafların da araç sorgulama ücretleri sayesinde karşılanabileceği düşünülmektedir. Elde edilen sorgulama gelirler ve tanıtım, müşteri hizmetleri teknik destek ve bakım gibi masraflar gibi mali işler uygulama yönetim birimi tarafından yürütülecektir.

III. SONUÇ

Merkezi bir yapıya sahip olmayan ya da üçüncü taraflara güvenmeyen veri sahibi paydaşlar arasında veri güvenliği ve şeffaflık gibi nedenlerden dolayı veri paylaşımı sağlanamamaktadır. Sosyo-ekonomik etkenlerden dolayı ülkemizde giderek artan ikinci el araç alışverişlerinde aracın geçmişteki bakım ve servis bilgilerine erişim her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Ama gerekli teknolojik altyapı ve güven sorunları nedeniyle doğru bilgiye erişim sağlamak mümkün olamamaktadır. Bu nedenle ikinci el araç müşterileri bu konuda büyük zorluklar ve mağduriyetler yaşamaktadır. Blokzinciri teknolojisi, özellikleri ve sunduğu fırsatlar sayesinde paydaş birimlerin birbirine güvenmesini sağlamaktadır. Blokzinciri teknolojisi, dünya genelinde her geçen gün yeni uygulama alanları bulmaktadır. Bu çalışmada ikinci el araçların servis ve bakım kayıtlarının özel servisler aracılığıyla blokzinciri ağına dağıtık, şeffaf ve değiştirilemez olarak saklanması ve paylaşılmasına olanak veren araç cüzdanı uygulaması önerilmiştir.

Önerilen araç cüzdanı uygulaması blokzinciri ağı üzerinde çalıştığı için her özel servis hem veri sağlayıcı, hem denetleyici hem de veri merkezi olarak görev almaktadır. Bu yapıda her araç servisi tüm araç verilerinin bir kopyasını saklamaktadır. Bu sayede bir araç verisinin uygulama yönetimi ya da herhangi kötü niyetli bir servis tarafından değiştirilmesinin önüne geçilmektedir. Bu uygulama sayesinde verilerin saklanması ve doğrulanması tek bir merkez yerine tüm paydaşlar tarafından yürütülmekte ve servisler, uygulama yönetimi ve araç sahipleri arasında bir güven ortamı oluşturulmaktadır.

Çalışmada ikinci el alışverişlerde aracın geçmiş kayıtlarına erişim noktasında yaşanan sorunlara ve blokzinciri teknolojisi hakkında genel bilgilere yer verilmiştir. Çalışmanın devamında önerilen uygulamanın teknik özellikleri, genel yapısı ve daha iyi anlaşılması için ekran tasarımlarına ilişkin bilgiler verilmiştir. Yeni bir teknoloji olan blokzincirinin araştırmacılar tarafından daha iyi anlaşılması için önerilen uygulamanın önemli bir bölümü olan blokzinciri kurulumu ve yönetimi hakkında teknik bilgi ve ekran görüntülerine yer verilmiştir. Son olarak önerilen uygulamanın sağlıklı bir şekilde hayata geçirilmesi, yaygınlaşması ve başarılı bir şekilde yönetilebilmesi için önerilere yer verilmiştir.

Önerilen araç cüzdanı uygulamasının bu alandaki karar vericiler, bilişim firmaları ve araştırmacılar için öncü bir çalışma olduğu ve gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

IV. KAYNAKLAR

- [1] Indicata. (2020, 25 Ağustos). *Temmuz 2020 Türkiye Otomotiv 2.el online pazar trend raporu*. [Online]. Erişim: <https://www.indicata.com.tr/hakimizda/haberler-ve-medya/62-temmuz-2020-turkiye-otomotiv-2-el-online-pazar-trend-raporu>.
- [2] Otomobil Distribütörleri Derneği. (2020, 25 Ağustos). *Türkiye otomotiv pazarı*. [Online]. Erişim:<http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/2657/Sekt%c3%b6rel%20De%c4%9ferlendirme%20Ocak%202020.pdf>.
- [3] Y. Akçi, "İkinci el otomobil: tüketici bakışıyla," *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 1, s. 1, ss. 329-362, 2016.
- [4] M. Gabbott, "The role of product cues in assessing risk in second-hand markets," *Eur. J. Mark.*, vol. 25, no. 9, pp. 38–50, 1991.
- [5] B. S. Duvan ve S. Ozturkcan, "An overview of blockchain technology: architecture, consensus, and future trends," *2017 IEEE 6th International Congress on Big Data*, İzmir, Türkiye, 2009, ss. 557–564.
- [6] Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü. (2020, 25 Ağustos). *Resmi gazete*. [Online]. Erişim:<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/09/20180908-1.htm>.
- [7] S. Nakamoto. (2020, 25 Ağustos). *Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system*. [Online]. Erişim: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [8] Ş. Bahtiyar, O. Paksoy, E. Güldöşüren ve M. Pekel, "Öğrenciler arasında blokzincir farkındalığı üzerine bir araştırma," *European Journal of Science and Technology*, s. 18, ss. 424–434, 2020.
- [9] R. Beck, "Beyond Bitcoin: The rise of blockchain world," *Computer*, vol. 51, no. 2, pp. 54–58, 2018.
- [10] A. Reyna, C. Martín, J. Chen, E. Soler ve M. Díaz, "On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities," *Future Generation Computer Systems*, vol. 88, pp. 173–190, 2018.
- [11] Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen ve H. Wang, "An overview of blockchain technology: architecture, consensus, and future trends," *6th International Congress on Big Data, BigData Congress*, Bengaluru, India, 2018, ss. 557–564.
- [12] M. Tanrıverdi, M. Uysal ve M. T. Üstündağ, "Blokzinciri teknolojisi nedir? Ne değildir?: Alanyazın incelemesi," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, c. 12, s.3, ss. 203–217, 2019.
- [13] T. Aste, P. Tasca ve T. Di Matteo, "Blockchain technologies: the foreseeable impact on society and industry," *Computer*, vol. 50, no. 9, pp. 18–28, 2017.
- [14] H. N. Dai, Z. Zheng ve Y. Zhang, "Blockchain for internet of things: a survey," *IEEE Internet Things Journals*, vol. 6, no. 5, pp. 8076–8094, 2019.
- [15] V. Buterin.(2020, 25 Ağustos). *On public and private blockchains*. [Online]. Erişim: <https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains>.
- [16] D. Puthal, N. Malik, S. P. Mohanty, E. Kougianos ve G. Das, "Everything you wanted to know about the blockchain: its promise, components, processes, and problems," *IEEE Consumer Electronics*

Magazine, vol. 7, no. 4, pp. 6–14, 2018.

[17] R. Anascavage ve N. Davis. (2020, 25 Ağustos). *Blockchain technology: a literature review*. [Online]. Erişim:<https://ssrn.com/abstract=3173406> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3173406>.

[18] Intelligenthq. (2020, 25 Ağustos). *How Governments in Sweden, Denmark and Estonia are adopting Blockchain and AI*. [Online]. Erişim: <https://www.intelligenthq.com/how-governments-are-adopting-blockchain-and-ai-in-advanced-economies-part-2>.

[19] D. Puthal, N. Malik, S. P. Mohanty, E. Kougianos ve G. Das, "Everything you wanted to know about the blockchain: its promise, components, processes, and problems," *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol.7, no. 4, pp. 6-14, 2018.

[20] V. Hassija, M. Zaid, G. Singh, A. Srivastava, ve V. Saxena, "Cryptober: a blockchain-based secure and cost-optimal car rental platform," *The 12th International Conference on Contemporary Computing*, India, ss 1-6.

[21] N. H. Kim, S. M. Kang ve C. S. Hong, "Mobile charger billing system using lightweight Blockchain," *Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium: Managing a World of Things*, Seul, Kore, 2017, ss. 374–377.

[22] M. Pustišek, A. Kos ve U. Sedlar, "Blockchain based autonomous selection of electric vehicle charging station," *International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things*, Beijing Çin, 2018, ss. 217–222.

[23] S. Xia, F. Lin, Z. Chen, C. Tang, Y. Ma ve X. Yu, "A bayesian game based vehicle-to-vehicle electricity trading scheme for blockchain-enabled internet of vehicles," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 7, pp. 2020.

[24] K. Kim, T. Kim, and I. Y. Jung, "Blockchain-based Information Sharing between Smart Vehicles for Safe Driving," *IEEE Vehicular Technology Conference*, Belçika, 2020, ss. 1-2.

[25] M. P. Hossain, M. Khaled, S. A. Saju, S. Roy, M. Biswas ve M. A. Rahaman, "Vehicle Registration and Information Management using Blockchain based Distributed Ledger from Bangladesh Perspective," *IEEE Region 10 Symposium, TENSymp*, Pakistan, 2020, ss. 900–903.

[26] M. Demir, O. Turetken, and A. Ferworn, "Blockchain based transparent vehicle insurance management," *6th International Conference on Software Defined Systems*, İtalya, 2019, ss. 213–220.

[27] Linux Foundation. (2020, 25 Ağustos). *Hyperledger Project*. [Online]. Erişim: <https://www.hyperledger.org/>.

[28] MultiChain. (2020, 25 Ağustos). *Open source blockchain platform*. [Online]. Erişim:<https://www.multichain.com/>.

[29] F. A. Abadi, J. Ellul ve G. Azzopardi, "The Blockchain of things , Beyond Bitcoin : A systematic review," *IEEE International Conference on Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData)*, Kanada, 2018, ss. 1666-1672.

[30] K-Test Otomotiv. (2020, 25 Ağustos). *Egzoz emisyon cihazları*. [Online]. Erişim:<http://www.ktest.com.tr/tr/urun.asp?uid=2>.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Otonom Araçların Teknolojik Gelişim Süreci ve Trafik Seyir Özelliklerinin İncelenmesi

 Mustafa KARAŞAHİN^a,  Mehmet Çağrı KIZILTAŞ^{b,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.908525

ÖZ

Otonom araçlar gelecek ulaştırması ve kentinin en önemli unsurlarından bir tanesini teşkil etmektedir. İçinde bulunduğumuz yüzyılda kentleşme, sürdürülebilirlik ve dijitalleşme en temel unsurlar olacaktır. Bunun merkezinde ise otonom araçlar etkin ve belirleyici bir konuma sahiptir. Otonom araçların trafikte ağırlığı arttıkça ulaştırma ve kentleşme de yeniden şekillenecektir. Bu çalışma kapsamında, öncelikle otonom araç özelliklerinin kent ve ulaşım ile ilişkisi ortaya konulmuştur. Ardından ise otonom araçların gelişim süreci detaylı olarak ele alınmıştır. Akabinde otonom araçlarda güvenlik ve emniyet konusu değerlendirilmiş bu olup sonrasında otonom araç teknolojileri çok yönlü olarak paylaşılmıştır. Son olarak da bu kapsamda sonuçlar verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Otonom araç, trafikte seyir, ulaştırma sistemi

Review of Autonomous Vehicle's Improvement Period and On This Context Traffic Navigation Features

ABSTRACT

Autonomous vehicle is one of the most important element of future transport. Urbanization, sustainability and digitalization are going to be the most basic parameters in this century. At the central point of this, autonomous vehicle has an effective and determinant position. As traffic penetration of autonomous vehicle increases, transportation and urbanization are going to reshape. In this paper, firstly interaction between urbanization and transportation with autonomous vehicles is discussed. Then improvement period of autonomous vehicles is evaluated in detail. After these, safety and security issues of autonomous vehicles are discussed. Later on autonomous vehicle technologies are shared with multi directionally. Lastly conclusions are given.

Keywords: Autonomous vehicles, traffic navigation, transportation system

I. GİRİŞ

Kent kaynaklarının üretime dönüşümü sırasında, kentteki hareketlilik koşulları da değişmektedir. Bilgi ve iletişim teknolojisindeki hızla artan gelişmeler ulaştırma sistemlerine de nüfuz etmektedir. Çalışmalar, talep odaklı hareketlilik yönetimi yaklaşımının gelişimi için, gelecekte çok modlu ve esnek bir ulaştırma sistemi ile ulaştırma arzının sağlanmasına yönelmiştir. Kentsel hareketliliğin omurgası olarak, toplu ulaştırmanın rolü ise daha da artmakta ve sürekli modernize olmaktadır. Örneğin bütünleşik bir planlamada, yeşil dostu hareketliliğin bir parçası olarak bisikletli ve yaya ulaşım modları da dahil edilmelidir. Bunun ilave edilmesi durumunda, bireyler, ne zaman ve nerede ihtiyacı olduğu noktasında, kendi iradelerinde kendilerine münhasır ulaştırma türlerine (bisiklet, elektrikli bisiklet, elektrikli otomobil) sahip olmaktadır. Sahip olmadan kullanmak ilkesini takip eden bu paylaşım sistemi, özel araçlar tarafından işgal edilen kamusal alan miktarının büyük ölçüde azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Optimum değişenleri dikkate alan, bir özel, mobil ve elektronik hareketlilik desteği, günlük bütün elverişli araçların verimli bir şekilde kullanımına imkân tanımaktadır [1].

Hareketlilik arzı ile ilgili değişimler, kentin konumsal yapısı üzerinde de bir dönüşüme neden olmaktadır. Ulaştırma hizmetlerinin verimliliğini artırmak için, hareket merkezlerinin diğer bir deyişle 'hub'ların oluşturulmasını gerektirmektedir. Kentler de bu hareketlilik merkezleri civarında şekillenecektir. Paylaşımlı araç kullanımı sayesinde, kentsel alanlarda otopark yerleri için arazi tüketimi ise net bir şekilde azalacaktır. Bunun nedeni ise kentsel alanlardaki araçların günlük kullanım sürelerinin artması olarak gösterilebilir [2].

II. OTONOM ARAÇLARDA GELİŞİM SÜRECİ

Bir otonom aracın (OA) yapılandırılması için ilk bilinen kayda değer girişim 1977 yılında gerçekleştirilmiştir. Proje araştırması Japonya'daki Tsukuba Mekanik Mühendisliği Laboratuvarı tarafından icra edilmiştir. Araç cadde üzeri beyaz işaretlemelerin takip edilmesi sureti ile işlevlendirilmiş olup münhasır bir deneme şeridinde yaklaşık olarak 32,2 km/saat hıza ulaşmıştır. Otonom araçların (OA) gelişimindeki atılım ise 1980'li yıllarda Münih Bundeswehr Üniversitesi'nde Ernst Dickmanns ve ekibinin çalışmaları ile gerçekleşmiştir. Bunların prototipi trafik olmaksızın karayolu üzerinde yaklaşık olarak 97 km/saat hız yapmaya elverişli görünmektedir. Otonom araçların (OA) tarihindeki diğer bir önemli kilometre taşı ise AHS'nin 1997 yılında 20'den fazla tam otomat aracı içeren devrim niteliğindeki sunumudur [3]. Bu sunum Kaliforniya otoyolunda yapılmış ve herhangi bir arıza olmadan tamamlanmıştır. Söz konusu bu etkinlik 2005 yılı DARPA Mücadelesine kadar Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) herhangi bir akıllı ulaştırma sistemleri (AUS) etkinliğinin en yoğun ilgisine mazhar olanı durumundadır. Günümüzde Kasım 2007'de kentsel çevrede yer alan DARPA kentsel zorluğu da bir başka önemli girişim olarak kayıtlara geçmiştir.

1990'lar boyunca araç otomasyon sistemleri için temel yetkinlik sırası ile PROMETHEUS Programı, AHSRA (İleri Seyir Destekli Otoyol Sistemi Araştırma Birliği) ve AHS (Otomat Otoyol Sistemi) programları tarafından Avrupa, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) gösterilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) projeleri ise bu söz konusu otonom araç (OA) sistemlerinden her ikisini de kullanmaktadırlar [4]. 1990'ların projeleri ise muazzam ve eşsizdir. Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) ASH programı zorlu Demo'97 ile sonuçlanmıştır. Proje, zaman kurgusunda çok uzun olduğundan dolayı söz konusu gösterimden sonra devre dışı bırakılmıştır. Bu bağlamda 2000'den fazla küçük ve özel teşebbüs ortaya çıkmıştır. Hâlihazırda çok sayıda küçük ve orta ölçekli proje boyutlarından ötürü PROMETHEUS gibi programlarla eşleşmemektedir ve fakat otonom ulaştırmasının gelecek gelişimi için büyük bir potansiyele işaret etmektedir [5].

Tam uyarlanabilir seyir kontrolü (USK) ise otonom hız kontrolü kademeleri ile indirgenmiş uyarlanabilir seyir kontrolünün (USK) bir terkibidir. Sistem etkinleştirilebilir ve de kentsel sürüş ya da yüksek hız otoyol sürüşü ile indirgenmiş hız trafiği arasında uyarlanabilir. Bu da sürücüye, dönüşlere

ve de çevrede ne olduğuna daha iyi konsantre olma imkânını tanımaktadır. Bu gelişim tam otonom bir aracı temin edilmesinde gereklidir ve hâlihazırda da ARCOS projesi dâhilinde de test aşamasındadır. Kaza öncesi gren desteği ise sürücünün gelmekte olan bir nesneye yaklaşması dâhilindeki hızını hesaplamak sureti ile muhtemel çarpışmaları saptamak adına uyarlanabilir seyir kontrolünü (USK_ACC) kullanmaktadır. Eğer ki oran yeterince yüksekse sistem önceden frenleme yapar ve böylelikle de optimum frenleme başarılıdır. Bu da durma mesafesini azaltmaya yardımcı olmakta ve de eğer ki ortaya çıkar ise etkinin hızının indirgenmesini desteklemektedir.

Tam otonom bir yolcu aracının temin edilmesi adına hem yanal ve hem de boyuna kontrol sistemlerinin entegrasyonunun hatasız olması gerekmektedir. Bunlar kamunun sistemin güvenilirlik ve sağlamlığına inanabileceği noktasından hareketle geliştirilmelidirler. En erken dönem tam otonom sistemler ise indirgenmiş hız versiyonlu olarak üretilmişlerdir. Bu indirgenmiş hızlı uyarlanabilir seyir kontrolü (USK_ACC) ile şerit disiplini desteğinin bir terkibi olabilir. Bu da yüksek trafik tıkanıklığına sahip yollarda kullanım için verimli görünmektedir. Bir akıllı otoyol sistemi (IHS_AOS) hâlihazırda Çin'de gelişim sürecindedir Bu da güvenlik alarmı ve trafik detayı gibi karayolu üzeri durum hakkında araca bilgi temin etmektedir. Akıllı otoyol sistemi (IHS_AOS) aynı zamanda araçların otomat işletimini de desteklemektedir [6].

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Emek Departmanı, 2004 yılında Boston metropoliten alanında bir mesleki istihdam istatistik araştırması gerçekleştirmiştir. Bu söz konusu araştırmaya göre ağır tır sürücüsü olarak 12.930 kişi istihdam edilmektedir ve her birisi ortalama 41.120 ABD Doları/yıl maaş almaktadır. Sürücülere bu alanda artık daha fazla ihtiyacın olmaması ile birlikte tır şirketleri sürücü istihdamı için harcadığı toplamda 531.681.600 ABD Doları meblağı tasarruf edecektir ya da bunu iş araştırma ve geliştirmede harcayacaktır. Sadece yük nakliye şirketleri etkilenmeyecektir ve fakat aynı zamanda da UPS ve FedEx gibi kargo şirketleri de otonom araçlardan (OA) faydalanma yolunu seçebilecektir. Bir kamyon insanlara kargolarını ulaştırmak üzere kapıdan kapıya otonom sürüş gerçekleştirebilir. Söz konusu mesleki istihdam araştırması 10.240 işçi tespit etmiş olup bunların maaşları ise 31.540 ABD Doları/yıl değerindedir. Ayrıca bundan feragat edilmesi ile de yıllık ilave bir 322.969.600 ABD Doları tasarruf temin edilecektir ancak bu da binlerce insanın işsiz kalması anlamına da gelmektedir. Eğer bu gerçekleştirilecek ise bir denge noktası sağlanması gerekmektedir. Aynı sektörün farklı kollarında söz konusu insanların aktarılıp ikame edileceği yeni alanlar oluşturulması gerekli görünmektedir [7].

Daha ileri araç paylaşım sistemleri ve toplu ulaşımdaki değişim otonom araçların (OA) kullanımı vasıtası ile esasen mümkün görünmektedir ve birçok yerde aynı zamanda karayolu kullanıcıları için açık tanımlı faydaları teşkil etmektedir. Araç paylaşımında tam otomat indii bindi hizmetleri, vale otopark sistemi mantığı ile eğer ki araç paylaşım elverişliliği ve kullanımını orta vadede daha da fazla gelişir ise hemen hemen mantıklı ve gerekli bir sonuca dönüşecek gibi görünmektedir.

Mevcut durumda araç ve sürüş paylaşımı ile ilgili çok sayıda yeni fikrin test edildiği ve ortaya çıktığı görülmekte olup hatta bunlar otonom araçlar (OA) ile terkip edildiğinde daha büyük bir kapasiteye de ulaşabilecektir. Araç havuzlama planı geliştirilmiş olup örneğin sadece yaşlılar için değil aynı zamanda çocuklar için de ek bir dikkat aşaması Mercedes Benz desteği adı altında Kaliforniya'da Palo Alto'da gösterilmektedir. Aynı zamanda burada bu gibi hizmetler organize edildiğinde hareketlilik ve bilgi ve iletişim teknolojileri arasından sıkı bir bağlantı görülmektedir [8].

Otomotiv sanayi ise hâlihazırda otonom araçlar (OA) boyunca bir karayolu üzerinde olup SAE standartlarına göre ise düzey 4 ve düzey 5 otomasyonlarını ifade eden insan denetimi ya da müdahalesi olmaksızın kendi manevralarını gerçekleştirebilmektedir. Bu araçlar gerçek zamanlı bir trafikte diğer araçlarla birlikte hem manüel ve hem de otomatik olarak yayalar, bisikletliler ve diğer bütün çeşit karayolu kullanıcıları ile birlikte işletilmektedir. Dolayısı ile bu davranış yüksek önemde olmaktadır. Düzey 4 otomasyonunu ve ötesini karayollarında uygulamak adına otomotiv sanayinin işlevsel güvenliğini sağlamak için ISO26262 standardında önerilen sürecin takibi gerekmektedir. Bunun pratikteki anlamı ise de net güvenlik gereksinimleri için bozulma olasılığının 10^{-9} 'dan küçük olmasıdır. Karar alma modülündeki bu gibi gereksinimlerin bozulması dâhilinde 1'den fazla olmayan yanlış karar

10⁹ işletim saati içerisinde gerçekleştirilmelidir. Bu gibi bir entegrasyon ve düzeltme düzeyinin başarılması, herhangi bir yaklaşımı münhasıran simülasyona, saha testlerine, istatistiksel veri yetersizliği ve gerçek dışılığa dayalı kılmaktadır. 2016 yılında Kalra ve Paddock'un yaptığı bir çalışmada vurgulandığı üzere eğer ki 100 otonom araçlık (OA) bir filo ortalama 25 mil/saat'lik (40 km/saat) bir hızla yılın bütün günleri 24'er saat sürülüyor ise 100 milyon mil başına 1,09 ölümlük insan sürüş hatasından daha iyi bir şekilde %20'lik bir kayıp oranına sahip olmaktadır [9].

Otonom araçlar (OA) ulaştırma sistemlerinin güvenliğinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bunun ile de beraber otonom araçlar (OA) kendi iç güvenlik ve emniyet zorlukları ile de karşı karşıya olmaktadır (9). Eğer ki otonom araçların (OA) bir unsuru bozulur ya da saldırıya uğrar ise araç içi ağ bu durumdan etkilenmektedir, ardından da araç üzeri bilgisayar yanlış komut alabilir ve de trafik güvenliğini doğrudan sekteye uğratabilir. Örneğin bozulmuş ya da kurcalanmış küresel konumlanma sistemi (KKS_GPS) verisi, otonom araçların (OA) konumlanmasını etkilemektedir ve trafik düzensizliklerine ve çarpışma risklerine yol açmaktadır. Dahası yanlış bilgi, mücavir alandaki otonom araçlara (OA) da ulaştırılacak olup bu da tehlikeli bir duruma işaret etmektedir. Dolayısı ile de güvenlik ve emniyet, otonom araçlar (OA) için hayati olmaktadır. Yeterli güvenlik ve emniyet önlemleri, saldırılar ve bozulmaları azaltmak ve/ya önlemek adına uygulanmaktadır [10].

III. OTONOM ARAÇLARDA GÜVENLİK VE EMNİYET

Otonom araç (OA) güvenlik ve emniyeti oldukça geniş ve tartışmaya açık bir konudur. Dolayısı ile kabul edilmelidir ki, bu tarz çalışmalar kapsamında otonom araçların (OA) bütün güvenlik ve emniyet aşamaları en detaylı ve kapsamlı bir şekilde test edilmelidir. Akıllı ulaştırma sistemleri (AUS_ITS) ile kriptolu çözümler mevcut olmasına karşın, otonom araçlar (OA) üzerinde muhtelif siber saldırılar olabilir. Siber güvenliğin zayıf noktaları ve güçlendirme çalışmaları bağlamında otonom araçlarla (OA) ilgili bir inceleme temin etmesinin yanı sıra da aynı zamanda bağlantılı ve otonom araç (BOA) sektöründeki siber güvenlik zorluklarına ilişkin sorulara da cevap verebilmektedir [11].

Ortaya konulan çalışmalar temelde emniyet konularına odaklanmaktadır. Bunun ile de beraber otonom araçlarda (OA) güvenlik ve emniyet birbirleri ile bağlantılı olup bunun nedeni ise de hem bozulmaların ve hem de saldırıların güvenlik kayıplarına yol açmasıdır. Dolayısı ile diğer çalışmalara nazaran otonom araçların (OA) zorlukları ve son durumun daha kapsamlı bir incelemesinin temini adına; güvenlik bozulmaları, emniyete yönelik saldırılar ve müteakibet önlemler değerlendirilmektedir. Otonom araçlar (OA) ağ imkânına sahip olduğundan dolayı da otonom araçlardaki (OA) bozulmalar ve saldırılar aynı zamanda, ağ üzerindeki diğer bağlantılı olanları otonom araçları da etkilemektedir. Araçtan altyapıya iletişim (V2I_AAL) ve araçtan araca iletişim (V2I_AA) vasıtası ile altyapı ve araç boyunca teşekkül eden ağ, araca mahsus ağlar (VANET_ARMAR) olarak bilinmektedir. Araca mahsus ağlar (VANET_ARMAR) bağlantılı araçlar ve altyapı boyunca bilginin aktarılması imkânını da tanımaktadır. Araca mahsus ağlar (VANET_ARMAR) akıllı ulaştırma sistemi (UAS) kurgusundaki anahtar kısımdır. Akıllı ulaştırma sistemleri (AUS) ulaştırma sisteminin gelişmiş güvenlik, verimlilik ve hareketliliği için trafik yönetimini optimize etmek adına bilgi paylaşımını entegre edecek ve analiz edecektir. Örneğin akıllı ulaştırma sistemleri (AUS) araçları trafik tıkanıklığı olan alanlara sevk etmektedir ve dinamik olarak zirve saatler ve zirve dışı saatlerde karayolu hız sınırlarını ayarlamaktadır [12]. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) otoyol güvenliği el kılavuzu vurgulamaktadır ki altyapı üzerinde uygulanan uygun önlemler karayolu kazalarını etkin bir şekilde azaltabilir. Örneğin yaya bariyeri ve yüksek görünürlüğe sahip yaya geçitleri ise karayolları boyunca yaya yolları da dâhil olmak üzere trafik kazalarını %71 azaltmaktadır. Sola dönüş cepleri ve aşamaları, Missouri'de ölümlü ve yaralanmalı kazaları %54 azaltmaktadır ve de kavşaklarla bağlantılı kaza yaralanma oranlarını da %30 düzeylerinde azaltmaktadır. Kısmi aşama zamanlaması ve artan yaya geçişi süresi kavşaklarda yaya araç çarpışmalarında %60'a varan azalmaları beraberinde getirmektedir [13].

Modern araçlar, mühendislerin bazen hayat üçgeni olarak tabir ettiği boşluğu da içermektedir. Yaşam üçgenleri daha muhtemel olan minimal kazalar dâhilinde bir kazadan kaçınma ihtimaliyeti dâhilindeki

araç kullanıcıları çevresindeki korumalı alandır. Kaza değerlendirme sistemi/gereci bir pasif önlem çeşididir. Çökme bölgesi, emniyet kemeri, hava yastığı, kafalık ve ön cam levhası kaza değerlendirme sistemleri/gereçlerinin genel örneklerini teşkil etmektedir. Çökme bölgeleri, kaza kuvvetleri sürücü ve yolcu koltuğuna ulaşmadan önce kaza kuvvetlerinin emilimi ve dağıtılmasına yardımcı olmaktadır. Benzer şekilde emniyet kemerleri, hava yastıkları ve kafalıklar, sürücü ve yolcunun hareketsiz bir şekilde araçtaki yaşam boşluğunda durmalarına yardımcı olmaktadır [14].

A. OTONOM ARAÇ TEKNOLOJİLERİ

Son 50 yıldır mühendisler araç sürüşlerinde insan girdisini minimize etmek adına anahtar çözüme ulaşmak için daha ileri araştırmalara yönelmişlerdir. Jansson'ın çalışmasına göre araç kazalarının %93'ü insan hatalarından kaynaklanmaktadır ve Lübnan Kızılhaç'ı ortaya çıkarmıştır ki 2014 yılında araç kazaları 14.516 can kaybına neden olmuştur. Bu şok edici istatistikler Zlocki ve arkadaşlarının çalışmasında ifade ettiği gibi yavaş gelişen hâlihazırdaki altyapı üzerindeki istikrarlı artan trafik yoğunluğuna bağlı olmaktadır. İnsansız araçları geliştirmek adına gereksinim; söz konusu bu hataların saf dışı edilmesi ve daha da önemlisi insan hayatına kıyılmaması adına ortaya çıkmaktadır [15].

Bu söz konusu teknolojinin avantaj ve dezavantajlarını inceledikten sonra araştırmacılar, yeni bir teknolojinin getirmiş olduğu herhangi bir ekonomik probleme benzer olarak ortaya çıkabilen ekonomik kaygılar bağlamında faydaların dezavantajlara ağır bastığı sonucunu gerçeklemiştir. Bu konu bir hayli zamandır söz konusudur ve insanlar yeni teknolojiler ile başa çıkmak için diğer sahalardaki deneyimlerden de faydalanmaktadır. Bu noktada hâlihazırda otonom araçlara (OA) karayollarında niye rastlanılmadığı hususu önemli olmaktadır. Birçok senaryoda söz konusu araçlar gerçek zamanlı dünya ve koşullarla yüzleşmektedir ve mevcut koşullarda bu araçların işletimi ile ilgili hâlihazırda üreticilerin pazara girişlerinden çekinmelerinin anlaşılır sebepleri vardır.

Bu kapsamda araçlarda çoklu otomasyon sistemi çalışmaları yapılmaktadır. Bu sistemlerden bir tanesi izleme sistemi olup aracın yerleşimini ortaya koymaktadır. Quddus ve Noland tarafından geliştirilen bir sistem dijital yol haritalarını kullanmakta olup, ışık görüntüsü saptama ve kademelendirme (LIDAR_IGSVK) sensörünü kullanmak sureti ile kurbu ve karayolu sınırlarını saptayan karayolu görüntüsü elde edilmekte ve mevcut yol haritaları ile karşılaştırılmaktadır. Bu bağlamda Kojima ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada ise bir izleme sistem araç yerleşimini net bir şekilde hesaplamak için küresel konumlanma sistemi (KKS_GPS) konum verisini kullanmaktadır. Bu bağlamda koordinatlara göre araç yerleşimini net bir şekilde belirlemek adına araç mücavir alanını izlemek için bir lazer tarayıcıdan faydalanmaktadır ve dolayısı ile de mücavir alandaki nesnelerin görece konum değişimi sureti ile bu durumu geliştirmektedir. Buna ilave olarak işaret izleme sistemleri, Zhu ve Chen'in çalışmasına göre belirli işaretler ya da hatları birleştirmek sureti ile de aracı konumlandırmaktadır. Diğer otomasyon sistemleri ise çarpışma önleme sistemlerini içermektedir. Muhtemel bir çarpışma ile karşılaşıldığında ise bir sürücü iki seçeneğe sahip olup bunlar ya frenlemek ya da doğrultu değiştirmektir. Labayrade ve arkadaşlarının çalışması bir engel ile karşılaşmadan önce ya da diğer araçlarla güvenli takip mesafesini korurken aracın frenlemesi ya da durmasının kontrolü için bir boyuna çarpışma önleme sistemini uygulamaktadır [16].

Başlangıç otonom araç (OA) modelleme çabaları ise de otonom araç (OA) teknolojisi ışığında araç düzeyli etkileşimin tanımlanmasının incelenmesi dâhilinde ağırlıklı olarak mikroskobik bir perspektifte hesaplanmaktadır. 2010 yılında Kestim ve arkadaşları ise uyarlamalı seyir kontrolünün (USK_ACC) etkilerinin modellenmesi adına uyarlamalı bir akıllı sürüş modeli (ASM_IDM) araç takibini kullanmakta olup bu da otomat bir sürüş stratejisini teşkil etmektedir. Benzer bir şekilde 2016 yılında Li ve arkadaşları ise birbirine yakın seyreden araçların gaz pedalını kullanma bilgisinin paylaşılmasına ve de araçtan araca (AA_V2V) iletişiminin de entegre edilmesi sureti ile de tam hız farkına (FVD_THF) dayalı olarak bir araç takip modelini önermektedir. Alternatif bir yaklaşım ise hâlihazırdaki araç takip modellerini kullanmaktadır; fakat insan sürücülü standart araçtan farklı olarak davranabilen otonom araçların (OA) davranışlarını ihtiva edebilmek adına unsur değerlerini değiştirip geliştirmektedir. Araç intikal süresinin daha düşük değerleri, otonom araçlar (OA) için ayırt edici bir özellik olduğundan dolayı da bu alandaki otonom olmayan diğer araçlar reaksiyon süresinin etkisi ya da trafik davranışı ile ilgili gecikme etkisi ile ilgili görüşleri temin etmektedir [17].

Algı sistemi tasarımı bir otonom aracın (OA) gelişiminde hayati bir adımı teşkil etmektedir. Ticari araçlar ve araştırmada uygulanan sensör sistemlerinin uygun üretime hazır taslakları ve görünen sonsuz seçeneklerinin büyüklüğü dahilinde bir otonom araç (OA) uygulaması için optimum sistemin tayin edilmesi adına bu durum zor olabilmektedir. Bu kapsamdaki çalışmalarda ise, son model otonom araç (OA) günümüz algı teknolojisinin kapsamlı bir incelemesi sunulmaktadır. Günümüze kadar; otonom araç (OA) araştırmasında uygulanan hâlihazırdaki yöntemlerin haritalandırılması ve yerleşimi ile pazardaki hâlihazırdaki otonom özellikleri, ticari otonom araçlar (OA), hâlihazırdaki araştırmalardaki en yaygın sensörler, belirli otonom araç (OA) sensörlerinin ideal uygulamaları ile avantajlar, dezavantajlar ve sınırlar hakkında güncel bilgi de temin etmektedir [18].

Bu çerçevede şunun not edilmesi de önemlidir, konumlanma ve haritalanma bölümü münhasır mücavir alanda tam otonom aracın (OA) nasıl bir algı kapsamı temin ettiğini ortaya koymaktadır. Örnek olarak eğer bir otonom araç (OA) bir yaya geçidinin yakınında ise araç, algılamadaki önceliği yaya geçidi alanındaki yayaya vermelidir. Algılama ve sensör, konumlanma ve haritalama işleri arasındaki ilişki ters yönlü olmaktadır. Bu bağlamda örneğin eğer ki bir araç solunda ya da sağındaki karayolu işaretlerini sensör ile tespit ediyor ise karayolu ağının merkezindedir, dolayısı ile de konumlanma algoritmaları da birbirlerine bağlantılı olarak güncellenmek durumundadır [19].

20.yüzyılın son çeyreğinden beri araştırma ve üretim paydaşları gerçek sürüşlerde yüksek hızlı bir ulaştırma sistemi dâhilinde güvenli, güvenilir ve dayanıklı olacak bir şekilde tam otonom bir aracın üretimi adına hummalı çalışmalar yürütmektedir. Erken dönem otonom araç (OA) araştırmalarının ana katılımcıları ise dünya genelindeki otonom araç (OA) test ve rekabetinin merkezindedir. İfade edilen rekabet muhtelif sürüş mücavir alanlarında otonom araçların yeterliliği ve limitlerinin ele alınması için önemli imkânları ilgili paydaşlara sunmaktadır. Bu çerçevede üzerinde çalışmalar devam eden otonom araçların yazılım ve donanım ile ilgili hususları hakkında aydınlatıcı olmaktadır.

Araçtan altyapıya (AAL_V2I) ve araçtan araca (AA_V2V) iletişim gibi bağlantılı araç teknolojileri öncül bir bilgideki yüksek güvenilirlik kaynaklı hâlihazırdaki problemlerin bir bölümünü çözümüne yetkin ve yeterli görünmektedir. Araçtan altyapıya (AAL_V2I) iletişim; otonom araçlar ile her türlü yol ve trafik altyapısı, sinyalizasyonu arası iletişim ve veri akışını ifade etmektedir. Öte yandan araçtan araca (AA_V2V) iletişim, aracın şerit değişimi, sollama, hız azaltma ya da artırma durumları için diğer araçlarla iletişime geçerek veri aktarımı ve alımını gerçekleştirmesi durumudur. Otonom araç (OA) teknolojisi dâhilinde araçtan araca (AA_V2V) iletişim ve araçtan altyapıya (AAL_V2I) iletişimin entegre edilmesi sureti ile de etkin bir ortak sürüş ağı kurulabilmektedir [20].

Genelde ise otonom araç (OA) geliştiricileri; araçların mücavir alanlarının saptanması adına ışık, ses ve/ya görsel tabanlı sensörlerin farklı terkiplerini kullanmaktadırlar. Söz konusu bu sensörler ise LIDAR gibi aktif sensörlerden daha az maliyetli olan hâlihazırdaki pasif sensörlerin çoğu ile hem aktif ve hem de pasif olabilmektedir. Bunun ile de beraber aktif sensör fiyatları; Velodyne gibi LIDAR'a büyük yatırım yapan şirketler ve düşük maliyetli geliştirme yapmayı hedefleyen Innoviz gibi başlangıç şirketlerinin gelişmesi dâhilinde dramatik ölçülerde düşüşler gösterebilir. Buna ilave olarak; bu çerçevede otonom araç (OA) teknolojisinin gelişimi aktif sensör artışını kullandığından dolayı da bu sensörleri pratik olmaktan çıkaracak bir şekilde aktif sinyaller birbirilerine engel olmaya da başlayabilir. Örneğin yüksek yoğunluklu trafik koşullarında ise radar sistemleri diğer araçlardan radar sinyallerini alabilmekte, bu da sinyal karışmalarına, hatalı saptamalara ve ilave belirsizliklere neden olmaktadır. Görsel tabanlı sistemler bu söz konusu zorlukla karşılaşmamakta olup gelecek dönemlerdeki otonom araç (OA) sistemleri için öncül bir algı türü olduğundan dolayı görüntüye odaklanmak adına çeşitli araştırmacıları yönlendiren bir anahtar unsur olmaktadır [21].

IV. SONUÇ

Otonom araçların (OA) yaygınlaşması, araçların verimliliğini ve ayrıca ulaşım ağı kullanım verimliliğini artıracaktır. Bunun yanında, trafik güvenliğine de önemli oranda katkı sağlayacaktır. Ancak, otonom araçlar (OA) halen hâlihazırda emniyet ve güvenlik sorunları ile birlikte hukuksal altyapı ile ilgili çözülmemiş bir dizi problemlere sahiptir. Özellikle siber saldırılar ve Vandalizm gibi önemli problemler henüz çözüme tam olarak ulaştırılabilmemiş değildir. Bu bağlamda, tam otonom (seviye 5) araçların trafiğe çıkması ve kabul görmesi uzun yıllar alabilir [22].

Bu çerçevede otonom araçların (OA) trafiğe tam olarak penetre etmesi sürecinde belki 50 yıllık bir karma trafik ara döneminden söz etmek mümkün görünmektedir. Bu dönemde trafiğin karma olmasından kasıt otonom araçlar (OA) ve mevcut otomobillerden oluşması olduğu gibi bunun yanı sıra otonom araçların (OA) muhtelif seviyelerinin de trafikte beraber olmasını da içermektedir [23]. Dolayısı ile belki yarım yüzyıllık bir süreçte karma trafik içerisinde otonom araçların (OA) kademeli olarak trafik kesimlerine ve küresel ulaştırma sisteminin bütününe penetre ettiği bir durum ortaya çıkacaktır. Dolayısı ile de bu durumun iyi bir şekilde planlanması ve düzenlenmesi çok önemlidir. Ekonomik, teknik, sosyal ve politik yönleri itibari ile bu önem söz konusu olmakta olup bu geçiş sürecinin senaryolarının simülasyon yolu ile ortaya konulması ve farklılaşan otonom araç (OA) yoğunluklarına göre çözümlerin geliştirilmesi ile en sonunda otonom araçlardan (OA) homojen bir şekilde oluşan bir trafiğe sağlıklı bir yolla ulaşılması mümkün olacaktır [24]. En nihayetinde otonom araçların (OA) tam penetrasyonu ve tam otonominin ulaştırma sisteminde temini ile birlikte derinlemesine olarak yeniden şekillenmiş bir ulaştırma ve kentleşme ortaya çıkmış olacaktır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışmada bize destek olan değerli hoca ve meslektaşlarımıza teşekkür ederiz.

V. KAYNAKLAR

- [1] K. Lindemann, "BCS (Bundesverband CarSharing): Datenblatt CarSharing in Deutschland", *Hochschule*, vol. 5, pp. 3, 2014.
- [2] K. Breindl, "CarSharing ist auch in kleinen Städten möglich. In: Bundesverband CarSharing e.V. (eds.): Eine Idee setzt sich durch. 25 Jahre CarSharing. Brühl (köln stad- und verkehrsverlag) ", *Mobility Tech Green*, vol. 4, pp. 67-76, 2014.
- [3] J. Anderson, "Autonomous Vehicle Technology", *RAND*, vol.3, pp. 8. 2007
- [4] J. Schmidhuber, "Highlights of Robot Car History", *WPI*, vol. 3, pp. 40-44. 2005
- [5] A. Davila, E. Aramburu and A. Freixas, "Making the best out of aerodynamics: Platoons. In: SAE Technical Paper. ", *SAE International*, vol. 3, pp. 1–6. Apr 2013.
- [6] J. Golson "Tesla's autopilot system is reportedly getting more sensors. Google self-driving car project", *IEEE*, vol.7, pp. 315-329. 2017.
- [7] S. Guler, M. Menendez and L. Meier, "Using connected vehicle technology to improve the efficiency of intersections". *Transp. Res.*, vol. 3, pp. 121–131, 2017.
- [8] Öko-Institut; Institut für sozialökologische Forschung "SHARE – Forschung zum neuen Carsharing. Wissenschaftliche Begleitforschung zu Car2Go", *Halbzeit*, vol. 3, pp. 1-3, 2014.
- [9] Z. Fei, S. Miremadi, K. Akesson and B. Lennartson, "Efficient symbolic supervisor synthesis for extended finite automata," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 4, pp. 2368–2375, 2014.
- [10] N. Kalra and M. Paddock. "Driving to Safety: How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability? ", *RAND*, vol. 4, pp.8, 2016.

- [11] J. Cui and G. Sabaliauskaite "On the alignment of safety and security for autonomous vehicles", *IARIA*, vol. 4, pp. 59-64. 2017.
- [12] H. Hasrouny, E. Samhat, C. Bassil and A. Laouiti, "Vanet security challenges and solutions: a survey, Veh. Commun". *IEEE Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no.3, pp. 516–526, 2017.
- [13] A. Vaibhav, D. Shukla, S. Das, S. Sahana and P. Johri, "Security challenges, authentication, application and trust models for vehicular Ad Hoc network-a survey," *MDPI*, vol. 5, pp. 9131-9138, 2017
- [14] Society of Automotive Engineers (SAE), "SAE-J3016: Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-Road motor vehicles" *SAE*, vol. 28, pp. 4, 2016.
- [15] P. Bhavsar, P. Das, M. Paugh, K. Dey and M. Chowdhury, "Risk analysis of autonomous vehicles in mixed traffic streams," *Transportation Research Record*, vol. 2625, no.1, pp. 51–61, 2017
- [16] M. Zhu, H. Chen and G. Xiong "A model predictive speed tracking control approach for autonomous ground vehicles", *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 4, pp. 138-152, 2017.
- [17] J. Donga, S. Chenb, Y. Lia, R. Dua, A. Steinfeldc and S. Labia, "Facilitating connected autonomous vehicle operations using space-weighted information fusion and deep reinforcement learning based control" *SAE*, vol. 28, pp. 23–25, 2020
- [18] D. Hess, "Incumbent-led transitions and civil society: Autonomous vehicle policy and consumer organizations in the United States", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 151, pp. 8. 2020
- [19] I. Ashraf, S. Hur and Y. Park, "An Investigation of Interpolation Techniques to Generate 2D Intensity Image From LIDAR Data", *IEEE*, vol. 99, pp. 1, 2017.
- [20] T. Litman, "Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning", *Victoria Transport Policy Institute*, vol. 1, pp. 1-46, 2021
- [21] Z. Cui, S. Yang and H. Tsai, "A vision-based hierarchical framework for autonomous front-vehicle taillights detection and signal recognition," *IEEE*, vol. 7, pp. 931–937, 2015.
- [22] M. Daraei, A. Vu and R. Manduchi, "Velocity and Shape from Tightly-Coupled LiDAR and Camera," *IEEE*, vol. 4, pp. 60-67, 2017
- [23] D. Silva, D. Földes and C. Csiszár, "Autonomous Vehicle Use and Urban Space Transformation: A Scenario Building and Analysing Method", *Transportation Research*, vol. 4, pp. 1-22, 2021
- [24] X. Lin, F. Wang, B. Yang and W. Zhang, "Autonomous Vehicle Localization with Prior Visual Point Cloud Map Constraints in GNSS-Challenged Environments", *MDPI*, vol. 21, pp. 3703, 2021



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Optimization Packed Bed Column Reactor Parameters for Enzymatic Hydrolyzing of Lactose

 Sevim Gürdaş MAZLUM^{a,*},  İsmail Hakkı BOYACI^b,  Mehmet MUTLU^c

^a Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Cumhuriyet University, Sivas, TURKEY

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

^c Department of Mechanical Engineering, Ostim Technical University, Ankara, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: sgurdas@cumhuriyet.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.903157

ABSTRACT

The purpose of the study to increase the conversion ratio of lactose hydrolysis to glucose and galactose via packed bed reactors containing immobilised enzyme and design a reactor that will achieve a high conversion ratio in continuous systems. For this purpose, the dynamic properties of a packed bed reactor containing immobilised β -galactosidase enzyme on Duolite A 568 resin were determined by a stimulus-response technique and moment analysis. The relation between kinetic behaviour and The dynamic response was determined via Peclet number (Pe) and Damkohler number (Da). This study was completed with the development of a mathematical model using parameters such as flow dynamics, column geometry, enzyme immobilization performance and the behaviour of the enzyme in the column. According to the results, the particle size, L/D ratio and flow rate appropriate for this system were determined as 390 μ m, 10 and 4 mL/min, respectively. Furthermore, 55% conversion of lactose from milk was obtained using the enzyme immobilized packed bed reactor.

Keywords: Packed bed column, β -galactosidase, Stimulus-response technique, Moment analysis.

Laktozun Enzimatik Hidrolizi için Dolgulu Kolon Reaktör Parametrelerinin Optimizasyonu

ÖZ

Çalışmanın amacı, enzim tutuklu dolgulu kolon reaktör ile laktoz hidrolizinin glikoz ve galaktoza dönüşüm oranını arttırmak ve sürekli sistemde yüksek dönüşüm sağlayacak bir reaktör tasarlamaktır. Bu amaçla Duolite A 568 reçinesine tutuklu β -galaktosidaz enzimi içeren dolgulu kolon reaktörün dinamik davranışı moment analizi ve uyarı cevap tekniği ile belirlendi. Kinetik davranış ile dinamik tepki arasındaki ilişki Peclet sayısı (Pe) ve Damkohler sayısı (Da) ile belirlendi. Bu çalışma akış dinamiği, kolon geometrisi, enzim immobilizasyon performansı ve enzimin kolondaki davranışı gibi parametreler kullanılarak matematiksel bir modelin geliştirilmesi ile tamamlandı. Bu veriler doğrultusunda hazırlanan enzim tutuklu dolgulu kolon reaktör sisteminde kullanılması uygun olan partikül büyüklüğü, kolon L/D oranı ve akış hızı sırasıyla 390 μ m, 10 ve 4 mL/dk olarak belirlenmiştir. Ayrıca enzim tutuklu dolgulu kolon reaktör ile sütteki laktozdan 55 % dönüşüm elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dolgulu Kolon, β -galactosidase, Uyarı Cevap Tekniği, Moment Analizi.

I. INTRODUCTION

Lactose is a disaccharide found in milk, which is absorbed by the intestinal tract after conversion to its monosaccharide into glucose and galactose by lactase [1]. Enzymatic hydrolysis of lactose is one of the most important biotechnological processes, which is used to remedy the symptoms of lactose-intolerant individuals [2,3]. A deficiency of β -galactosidases in the gastrointestinal tract gives rise to problems like abdominal pain and diarrhea. This is known as lactose intolerance [4]. Hydrolyzing lactose makes it easier for people with lactose intolerance to consume milk and also improves product sweetness, increases product quality and processing efficiency in the dairy industry [5]. Recently, an enzymatic method has become an alternative technique to acid hydrolysis due to its many important advantages based on the quality of the final product. Soluble and immobilized β -galactosidases are both used for lactose hydrolysis in industrial applications [6,7]. There is a great need for an immobilized enzyme system enhancing stability, imparting reusability and reducing enzyme processes cost and viable in low lactose milk production. The use of immobilized enzyme eliminates the enzyme separation step from the main process, thus simplifying and enhancing the overall process yield [8].

Packed-bed reactors, which have the widest application area in biological processes and enzymatic hydrolysis processes, are practical and efficient. They show higher conversion efficiencies than those of continuously stirred tank reactors. Packed-bed reactors require that ideal plug flow conditions are met and that equal residence times are considered. Their popularity further originates from their effectiveness in terms of performance as well as more economically [9,10].

Mathematical modelling of a chemical process that includes flow depends on the details of the flow pattern of its elements and the distribution of the residence times [11-14]. This distribution obeys statistical laws and can be determined as a test signal passing through the system.

Injecting an amount of a tracer into the feed stream as a step input, as an impulse is likely to trigger a test signal. The concentration of a tracer injected instantly is seen at the system outlet over a series of time intervals, and the data are plotted to create a C- diagram. Centred on an impulse stimulus is the residence time distribution [11]. This method is called a stimulus-response technique. Stimulus-response techniques are used in different engineering operations but this is the first time one has been applied to an enzymatic process.

The residence times for fluid elements are determined based on the principle of statistical moments and the density function of probability. The zero moment of a probability density function is unity. The average value of the ensemble is the first moment, provides a measure of the place of the "centre" of the distribution and the second one is the variance, giving a measure of the symmetry or skewedness of the distribution regarding the mean [11].

This study was performed to determine the reaction conditions (flow dynamics and reaction kinetics) necessary to achieve minimum cost and maximum conversion. Its intended to design a packed bed reactor that will achieve high conversion ratios in continuous systems for the production of low lactose milk. This study was completed with the development of a mathematical model using parameters such as flow dynamics, column geometry, the behaviour of the enzyme in the column and the performance of the column developed according to the optimized parameters and tested using a milk sample.

A. MATHEMATICAL MODEL

When an impulse type stimulation is given to a packed bed column reactor prepared with global catalytic particles, it is estimated that the dynamic behaviour of the column (that of the C-curve) or, in other words, the probability distribution function, fits the dispersion model. The Differential equation which defines the process in the packed bed column reactor is represented by equation 1 [15].

The equation for a packed column with radius r is written as follows:

$$\varepsilon \frac{\delta C}{\delta t} = -U \frac{\delta C}{\delta X} + D_L \left[\frac{\delta^2 C}{\delta X^2} \right] + \frac{D_R}{r} \left[\frac{\delta}{\delta r} \left[r \frac{\delta C}{\delta r} \right] \right] - \rho_p N_{A'} \quad (1)$$

The radial and axial dispersion equations are included. The radial distribution can be overlooked when the ratio of column diameter is smaller than 1/10[13]. Particles and column diameters have been chosen for this ratio as needed. In this case, the radial dispersion term of the equation was omitted and the differential equation for a packaged axial dispersion column was taken:

$$D_L \frac{\delta^2 C}{\delta X^2} - U \frac{\delta C}{\delta X} - \rho_p N_{A'} = \varepsilon \frac{\delta C}{\delta t} \quad (2)$$

The boundary and initial conditions are based on Danckwerts boundary conditions [16]. Therefore, for a Dirac delta function pulse input, boundary condition I is

$$\text{At } \zeta = 0, UM = UJ(s)_{\zeta=0} - \left[\frac{D}{L} \frac{\delta J(s)}{\delta \zeta} \right]_{\zeta=0} \quad (3)$$

and boundary condition II is

$$\text{at } \zeta = 1, \frac{\delta J(s)}{\delta \zeta} = 0 \quad (4)$$

where M is the amount of tracer injected. For an inert tracer, [12].

$$N_{A'} = 0 \quad (5)$$

Eq. (2) can be written in the Laplace domain as

$$\frac{1}{Pe} \frac{\delta^2 J}{\delta \zeta^2} - \frac{\delta J}{\delta \zeta} - \frac{\varepsilon L}{U} \frac{\delta J}{\delta t} = 0 \quad (6)$$

Eq. (6) can be solved in the Laplace domain for $J=f(\zeta, s)$. Then, using the relationship

$$m_n = -1^n \lim_{s \rightarrow 0} \left(\frac{d^n \bar{C}_A}{ds^n} \right) \quad (7)$$

theoretical moment expressions were obtained. For time zero, the first absolute moment and the second central moment for the column itself, the result is [13,16,17].

$$m_0 = M \quad (8)$$

$$M_1 = \frac{m_1}{m_0} = \frac{\varepsilon L}{U} \quad (9)$$

and

$$M_2^{M*} = \frac{M_2^M}{M_0^M} - \left[\frac{M_1^M}{M_0^M} \right]^2 \quad (10)$$

$$M_2^{M*} = \frac{2}{Pe} - \frac{2}{Pe^2} [1 - e^{-Pe}] \quad (11)$$

From observed response peaks, experimental values for time zero and for the first and second times can be obtained with the following equations,

$$m_0^E = \int_0^a c d\tau \approx \sum_{i=1}^n C_{av,i} \Delta\tau \quad (12)$$

$$m_1^E = \frac{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n C_{av,i} (\tau_{i+1} + \tau_i)}{\sum_{i=1}^n C_{av,i}} \quad (13)$$

$$m_2^E = \frac{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^n C_{av,i} [\tau_{i+1}^2 + \tau_{i+1} \tau_i + \tau_i^2]}{\sum_{i=1}^n C_{av,i}} \quad (14)$$

The moments are calculated from zero to infinity. All moments must be determined to fully describe the distribution. Practically, these two are adequate for the characterization of residence time distribution

II.MATERIALS AND METHODS

A.MATERIALS

The microbial lactase enzyme from *Aspergillus oryzae* (fungal lactase activity 100,000 U/g, ENZECO[®], Enzyme Development Corporation, New York) was used in this study. Duolite A568, a weak base ion exchange resin, was obtained from Rohm and Haas (USA). Lactose, glucose and galactose were reagent grade and purchased from Merck (Germany). Glucose detection kits were provided from LifeScan (LifeScan, Chesterbrook, Pennsylvania). NaH₂PO₄·2H₂O and Na₂HPO₄·H₂O were supplied from J.T.Baker (Holland) and used as phosphate buffer. Other chemicals were of analytical grade quality. The skim milk sample was obtained from a local market in Ankara.

B. METHODS

B.1. Immobilization Of Enzyme Onto The Duolite

Enzyme immobilization was achieved according to the method of adsorption [18]. The immobilized enzyme procedure was explained by Gürdaş et al. [8]. After the immobilization process, the particles were washed with distilled water to remove the free enzyme and used in this study [8].

B.2. Experimental Set-Up

The packed bed reactor used for the continuous experiment is shown in Figure 1. The reactor was linked to the substrate and product reservoirs. A peristaltic pump was supplied by the lactose solution to the column from the substrate reservoir.

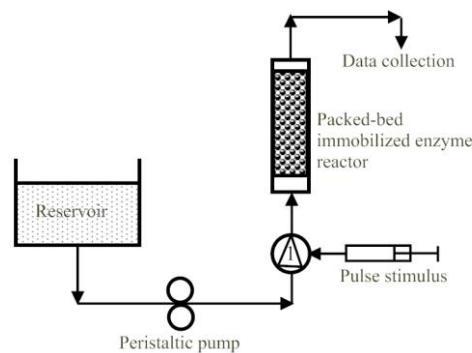


Figure 1. Schematic drawing of the packed-bed catalytic reactor

A packed bed reactor with an L/D [length (8.93 cm)/diameter (0.893 cm)] ratio of 10 was filled with 1.55 g of Duolite A 568 resin (free base, FB) and average 390 μm particle size. The system was washed with distilled water several times. Cylindrical Teflon columns (bed volume = 5 mL) with different L/D ratios (1, 2, 5 and 10) were used. The flow rate (Q) of the substrate solution was changed in the range of 1–10 ml/min. The void fraction of the bed (ϵ) was 0.39. The column was packed with β -galactosidase from *Aspergillus oryzae* immobilized on a weak base ion exchange resin.

B.3. Stimulus-Response Experiments

Stimulus-response experiments were conducted in three parts. Firstly, the dynamic behaviour of the column was investigated for the absence of diffusion and adsorption. For this purpose, the column was filled with Duolite A 568 resin and the system was then ‘pulse’ stimulated by adding 0.1 mL of cobalt (II) nitrate (Co(NO₃)₂·6H₂O) inert tracer to the eluate in order to determine the reference response of

the column. Secondly, the diffusion behaviour under conditions of no adsorption was investigated, the column was filled with Duolite A 568 resin and then ‘pulse’ stimulated by adding 0.1 mL of 4 M cobalt (II) nitrate inert tracer. The column response, which is the so-called ‘C curve’, was determined by following the concentration of inert tracer. In each case, absorbance at 510 nm of the tracer concentration solution was measured with a spectrophotometer (Shimadzu 1201 PC, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan).

In the late parts of the study, the column was filled with β -galactosidase immobilized on Duolite A 568 resin and then the system was ‘pulse’ stimulated with the addition of 125 mM lactose solution (4.5%). All the experiments were carried out at room temperature (20 °C, max. deviation ± 2 °C). The column response was determined by measuring the glucose concentration in the eluent stream using a glucose detection kit.

B.4. The Performance Of Immobilized Enzyme

The enzyme immobilized on Duolite A568 particles was tested for industrial applicability. Therefore, a packed bed reactor with different L/D ratios (1, 2, 5 and 10) was filled with enzyme-immobilized particles. A 4.5 percent lactose solution (125 mM) was constantly fed into the packed bed reactor through a single pass (without recycling). The flow rate of the lactose solution was 1–10 mL/min, and the total reaction time was 480 minutes. At the end of each cycle of the enzymatic reaction, 500 microliters of the reaction mixture (not the complete final product) were taken from the packed bed reactor and its glucose content was determined using a glucose assay kit [8]. In the late parts of the study, a packed bed reactor with an L/D [length (8.93 cm)/diameter (0.893 cm)] ratio of 10 was filled with 1.55 g of enzyme immobilized particles. The flow rate of the substrate was 4 mL/min. A skim milk sample four times greater than the column volume was passed through the system. Ten samples were collected every 10 seconds and the amount of glucose, which is one product of the reaction, was measured. The average of the measurements was taken and the rate of the conversion of lactose into glucose was measured.

III. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the parameters of the column (L/D ratio and solution flow rate) that influence the working performances of packed bed column reactors were studied. The determined parameters were investigated by a stimulus-response technique; an impulse type stimulation was given at the inlet of the column and the reply curves at the outlet were calculated. Evaluating the response curves, Peclet number, axial dispersion coefficient, conversion and Damkohler number, reaction rate constants have been calculated.

In this part of the study, the influences of the column L/D ratio and flow rate on the Peclet number were investigated. An inert cobalt solution was added to the system as an impulse type stimulation and response curves were determined at the outlet of the column. The absolute moments and central moments of the response curves were evaluated and Peclet numbers were calculated with the help of Eq (11).

Peclet number:

$$Pe_L = \frac{U_L}{D_L} \quad \text{or} \quad Pe_p = \frac{UD_P}{D_L} \quad (15)$$

stating the proportion of bulk mass transfer to axial dispersion coefficient. It can be defined according to the column length (Pe_L) or particle diameter (Pe_p). If the Pe number is high, that is, the axial dispersion coefficient is low, it shows that we have approached plug flow (PF); however, if the Pe coefficient is low, it shows that we have approached the conditions in a continuous stirred tank reactor (CSTR) because the axial dispersion coefficient is high [12]. Peclet numbers calculated with the help of Eq (11) and their change with the ratio of column L/D are shown in Fig 2a.

As can be understood from the figure showing the influence of flow rate on Peclet numbers, with a rising flow rate the Peclet number decreases in the beginning but then achieves a balance approaching a plateau value. The same flow behaviour was observed for different L/D ratios. This situation shows that the behaviour of the flow changes from plug flow to CSTR just as expected. With the rise in column L/D ratio, smaller Peclet number values were obtained. It was also noted that the flow shape couldn't be precisely formed because of the decrease in L/D ratio.

The axial dispersion coefficient was calculated using equation 15. The change in the calculated axial dispersion coefficient with the flow rate and column L/D ratio is given in Fig 2b.

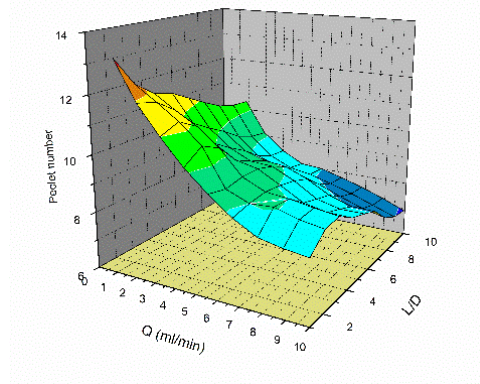


Figure 2a. Effects of flow rate (Q) and length/diameter (L/D) ratio on peclet number (Pe).

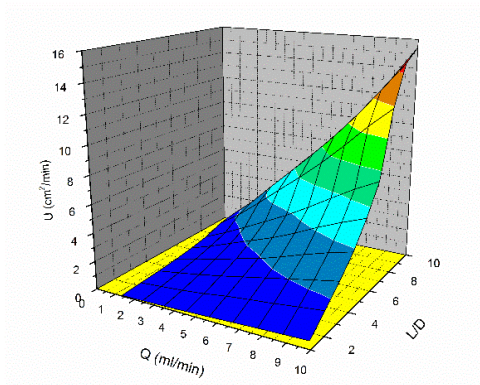


Figure 2b. Effects of flow rate (Q) and length/diameter (L/D) ratio on axial dispersion coefficient (U).

The axial dispersion coefficient also increased in parallel with the rise in flow rate. When Peclet numbers and axial dispersion coefficients are taken into consideration together, the column dynamics can be better explained. The Peclet number decreases at first with the rise in flow rate; however, it is then not affected any further. The rise in the flow rate in the portion where the Peclet number is constant, that is to say the mass transfer increased, led to the rise in the axial dispersion coefficient.

The rise in the axial dispersion coefficient shows that the flow in the column approached CSTR. The presence of an effective mixture is among the methods used to increase the output of a reaction in systems where there is mass transfer resistance [15]. The axial dispersion coefficient is quite important parameter in preparing a packed bed column reactor. When choosing the parameters used in a packed bed column system, attention must be paid to the fact that axial dispersion coefficients are high. However, expressions of enzymatic reaction speed must also be taken into consideration. With a rise in the column L/D ratio, the axial dispersion coefficient also increased. The fact that interstitial velocity is higher in the reactor which has the larger L/D ratio under the same flow ratio also led to the rise in the axial dispersion coefficient.

The influence on enzymatic conversion of the flow rate and column L/D ratio in packed bed column reactors was investigated by analyzing Damkohler numbers and reaction rate constants. For this purpose, using the optimum immobilized parameters determined before, the enzyme was immobilized [8] and put on four columns with different L/D ratios. The study was carried out with a single pass system and used the data gathered for enzymatic conversion at different flow rates; Damkohler numbers and reaction rate constant values were determined and the results were given by the figures.

An increase in the flow rate negatively affects the conversion in a single pass system. This occurs because of the increase in the flow rate and the decrease in residence time. In order to see the influence of flow rate on enzymatic conversion, conversion was divided into residence times and then the values of the conversion rate were calculated. The effect of the flow rate and column L/D ratio on conversion rate can be seen in Fig 3.

The increase in the flow rate caused a rise in conversion rate. The value of this rise decreased at higher flow rates and approached the conversion rate plateau value. It is known that with a rise in flow rate, mass transfer resistances on the surfaces of the particles decrease and the enzyme substrate interaction outlet increases [19]. The increase in the rate of conversion rise to the minimum level where mass transfer resistances could reach and this value approached a constant value.

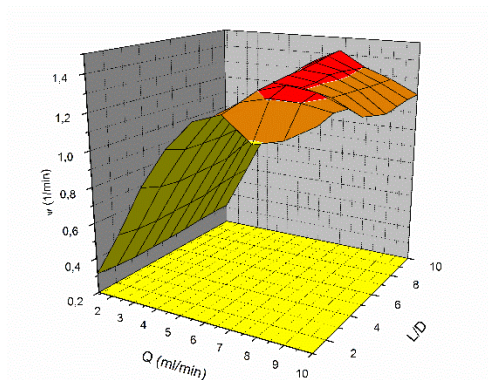


Figure 3. Effects of flow rate (Q) and length/diameter (L/D) ratio on conversion rate (Ψ).

It can be seen that the rate of conversion in terms of unit residence time decreased as the flow rate increased. At lower rates, the resistance of the film layer surrounding the particles reduced the enzymatic reaction rates. When high feed flow rates were reached, a decrease in reaction rate was seen since the resistance time was greatly decreased. This situation is more clearly seen in the column whose L/D ratio is 10.

As can be seen in the figures, conversion increased with a rise in the flow rate and then conversion decreased (fig 4). At low flow rates, conversion values decreased because of film resistance and at the high rates they decreased due to decreasing residence time. At low rates, because of film resistance, the substrate and catalyzator couldn't interact sufficiently. In order to maintain the film resistors at the lowest level with the aim of reaching high values of conversion, one must study the system at high rates, but for this system the value of 4 mL/min mustn't be exceeded.

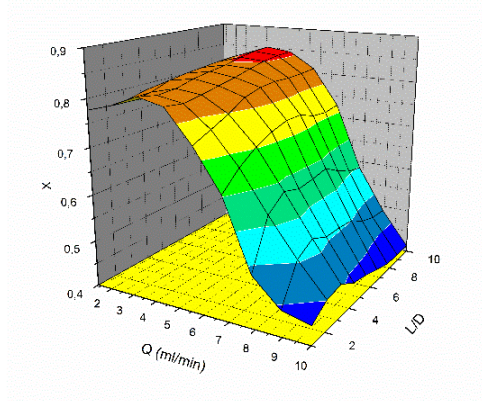


Figure 4. Effects of flow rate (Q) and length/diameter (L/D) ratio on conversion (X).

In the previous results, it was declared that the columns that had higher L/D ratios had higher axial dispersion coefficients. This effect continues until the enzymatic reaction rate becomes limiting. The Damkohler number:

$$Da = \frac{-r_{S_0}V}{F_{S_0}} = \frac{kC_{S_0}V}{u_0C_{S_0}} \quad (16)$$

is defined as the ratio of the maximum reaction rate to the maximum transfer rate. When Damkohler number is less than 1, it shows that the maximum mass transfer rate is larger than the maximum reaction rate (low mass transfer rate) and the limiting factor in the system is the enzymatic reaction. However, if the Damkohler number is greater than 1, it shows that the substrate that is necessary for the reaction cannot reach the enzyme sufficiently well due to high mass transfer rates, and the limiting factor is the mass transfer rate. As can be seen, the Damkohler number provides a great deal of information about the reaction system.

In this part of the study, the effects of column L/D ratio and flow rate on the Damkohler number were studied. For this reason, Danckwerts equation, which was developed for first order reactions, was used. It is known that Michaelis-Menten equations approach the kinetics of first order reactions at low substrate concentrations [13]. In this study it has been studied at concentrations κ_m and the enzyme kinetics were regarded to be first order. Danckwerts equation:

$$X = 1 - \frac{4q \exp\left(\frac{Pe_L}{2}\right)}{(1+q)^2 \exp\left[\frac{Pe_L q}{2}\right] - (1-q)^2 \exp\left[-\frac{Pe_L q}{2}\right]} \quad (17)$$

$$q = \sqrt{1 + \frac{4Da}{Pe_L}} \quad (18)$$

The Damkohler number was calculated using the Peclet numbers and conversion values that were determined previously in Eq. (17) and Eq. (18). The effects of column L/D ratio and flow rate on the Damkohler number are shown in Fig 5. With the rise in the flow rate, the Damkohler (Da) number decreases and at the higher flow rates the increase slows down. The fact that the flow rate increases in the area where the Da number is large shows that the increase in the maximum reaction rate is larger than that of the mass transfer rate. It is an expected situation that the mass transfer resistances decreases with the rise in the flow rate. Because of this, more substrate is able to reach the enzyme and react. This situation expresses that the rate limiting step for the enzymatic reaction is the mass transfer rate.

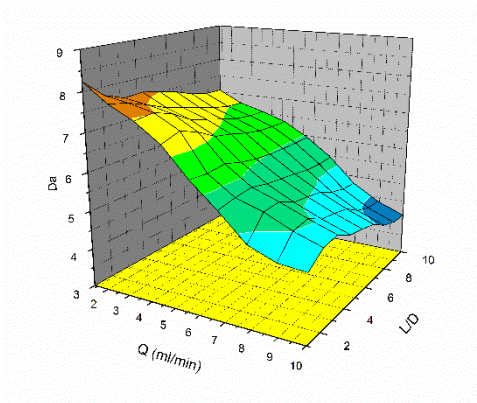


Figure 5. Effects of flow rate (Q) and length/diameter (L/D) ratio on Damkohler number (Da).

At the high flow rates, more substrate reaches the enzyme; however, since enzyme in limited quantity cannot influence each other with substrate more than it can catalyze, the limiting factor is the amount of enzyme (activity). For this reason, though the maximum transfer rate increases, the Da number decreases at high flow rates because the maximum reaction rate stays constant.

With the rise in the column L/D ratio, the Da number increased as seen in the figures. Previous results have shown that columns with high L/D ratios have low Peclet numbers and higher axial dispersion coefficients, and thus have higher mass transfer rates. The fact that the L/D ratio in the fixed-bed reactors is high causes the enzymatic reaction rate to be higher, and this situation give rise to the increase in the Da number.

With the aim of the effects of determining Damkohler number and column L/D ratio on conversion, Da number against conversion and column L/D turned into graphic and is shown in Fig 6. The Damkohler number for first order reactions is defined as:

$$Da = T \times k \tag{19}$$

Here τ shows residence time (min) and k is reaction rate constant (min^{-1}). As shown in the equation, Da number can be increased in two ways. These are by increasing the residence time and the reaction rate constant. As increasing flow rate leads to a decrease in the residence time, Da number is negatively affected. On the other hand, as the rise in flow rate increases the mass transfer rate, the reaction rate constant and thus the Da number increase. For this reason, optimization of the flow rate gains importance.

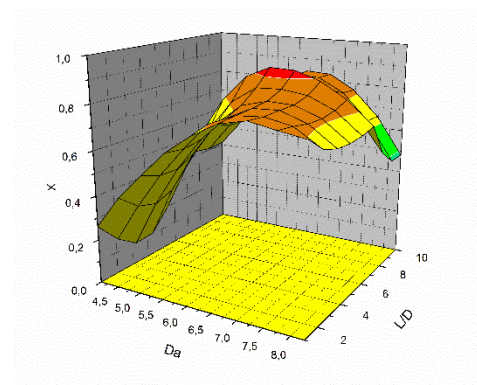


Figure 6. Effects of Damkohler number (Da) and length/diameter (L/D) ratio on conversion (X).

At flow rates with high Dankohler numbers, this is more clearly seen when the flow rate-Da number (fig 5) and the Da number-conversion graphic (fig 6) are investigated together, that conversion rate is also high. This flow rate changes in the range of 1–10 mL/min, depending on the column L/D ratio. In accordance with the previous results, it was found that the fact that increases in the column L/D ratio positively affect the conversion rate and Da number.

With the aim of determining the effect of column L/D ratio on the reaction speed constant, the reaction rate constant was calculated using Eq. (19). The reaction kinetics, as expressed before, were regarded as of the first order as studied at concentration κ_m . The effects of flow rate and column L/D ratio on reaction rate constants are given in Fig 7.

Though the reaction rate constant rapidly increased up to 6 mL/min with the rising flow rate, the amount of the increase then slowed and approached a plateau value. Despite very little increase in the flow rate constant with coming up this flow rate, as the residence time decreases the Da number also decreases. Thus, lower conversion values were obtained. As the column L/D ratio increased, the reaction rate also increased. These results are in accord with the conversion rate and Da number results.

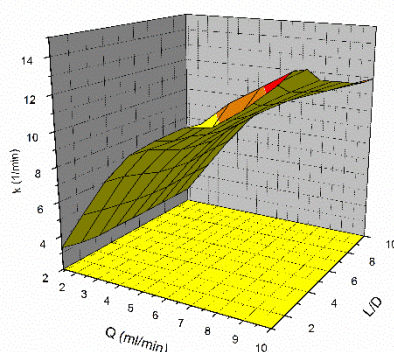


Figure 7. Effects of flow rate (Q) and length/diameter (L/D) ratio on reaction rate constant (k).

The influence of flow rate and L/D ratio on the conversion was also investigated. Conversion increased with rising flow rate, and then decreased. At low flow rates, conversion values decreased because of film resistors, while at high rates the values decreased due to the decreasing residence time. Because of film resistors at low rates, substrate and catalyst couldn't interact sufficiently. In order to maintain the film resistors at the lowest level to reach high values of conversion, the study must be conducted at high rates, but in this system a value of 4 ml/min must not be exceeded.

It was found that the fact that increases in the column L/D ratio positively affects conversion. The highest conversion was obtained at an L/D ratio of 10, out of four different column L/D ratios. Better axial dispersion was provided with increased column length and decreased column diameter, and the residence time was found to be longer compared to other columns.

A. THE PERFORMANCE OF IMMOBILIZED ENZYME

For the immobilized enzyme reactor's efficiency, lactose conversion was utilized as a criterion. Lactose hydrolysis by immobilized β -galactosidases was performed in a packed bed reactor, as previously mentioned. The immobilized enzyme's properties for lactose hydrolysis of buffered lactose solutions (4.5% w/v) were investigated. There are several studies in the literature related to lactose hydrolysis in batch and continuous systems via soluble. β -galactosidase from *Kluyveromyces lactis* onto a graphite surface via cross-linking and reported that the lactose conversion was found to be 70% at 37 °C within 3 h in batch systems [20]. In other studies, at a residence time of 11.8 min, 30.23% of lactose was

hydrolysed after passing through the enzymatic reactor in a recycling continuous system. When the residence time was increased to 43.7 min, the lactose conversion doubled (64.76%) [21]. In this study, at a residence time of 0.91 min, 55% of the lactose was hydrolysed by the immobilized enzyme reactor in a single pass continuous system. This result compares with similar studies in the literature where greater conversion with minimal residence time was achieved.

IV. CONCLUSION

The parameters of column L/D ratio and solution flow rate which influence the working performances of packed bed column reactors have been studied. The determined parameters have been investigated by a stimulus-response technique. An impulse type stimulation was given at the inlet of the column, the response curves at the outlet were drawn and the collected data were studied using the moment technique. Evaluating the response curves, Peclet numbers, axial dispersion coefficients, conversion ratios, Damkohler numbers, and reaction rate constants were calculated.

When the results of this study are evaluated, it can be seen that in order to obtain a high level of conversion within a unit residence time in a packed bed column reactor prepared with Duolite A568 resin on which β -galactosidase enzyme was immobilized, columns with low particle diameters (390 μm) and high L/D ratios (L/D:10) should be preferred.

In order to obtain high conversion in unit residence time, the enzyme was immobilized to the resin using optimal immobilization parameters and the enzyme immobilized packed bed column was prepared by filling a column with an L/D ratio of 10 with the enzyme immobilized particles. The flow rate was set at 4 mL/min and instead of lactose solution (4.5% w/v), milk was passed through the system. It was determined that the enzyme immobilized packed bed reactor hydrolysed the lactose in the milk at the rate of 55% with a residence time of 0.91 min. It was seen that the enzyme immobilized packed bed column provided the expected conversion in a single pass continuous system and thus the aim of the study was achieved. Once the results are evaluated, it is believed that this study will provide important advantages in industrial applications

ACKNOWLEDGEMENTS: Financial support from CUBAP (project no. M-343) is gratefully acknowledged.

V. REFERENCES

- [1] M. Messia, T. Candigliota, E. Marconi, "Assessment of quality and technological characterization of lactose-hydrolyzed milk," *Food Chemistry*, vol. 104, no.3, pp. 910-917, 2007.
- [2] E. Jurado, F. Camacho, G. Luzon, J. Vicaria, "A new kinetic model proposed for enzymatic hydrolysis of lactose by a β -galactosidase from *Kluyveromyces fragilis*," *Enzyme and Microbial Technology*, vol. 31, no.3, pp. 300-309, 2002.
- [3] R. Panesar, P.S. Panesar, R.S. Singh, M.B. Bera, "Applicability Of Alginate Entrapped Yeast Cells For The Production Of Lactose-Hydrolyzed Milk," *Journal of Food Process Engineering*, vol.30, no.4, pp. 472-484, 2007.
- [4] E. Sharp, N.M. D'Cunha, C. S. Ranadheera, T. Vasiljevic, D.B. Panagiotakos, N. Naumovski, "Effects of lactose-free and low-lactose dairy on symptoms of gastrointestinal health: A systematic," *International Dairy Journal*, vol.114, 104936, 2021.

- [5] D.G. Hatzinikolaou, E. Katsifas, D. Mamma, A.D. Karagouni, P. Christakopoulos, D. Kekos, "Modeling of the simultaneous hydrolysis-ultrafiltration of whey permeate by a thermostable β -galactosidase from *Aspergillus niger*," *Biochemical Engineering Journal*, vol.24, no. 2, pp.161-172, 2005.
- [6] M. Ladero, A. Santos, F. Garcia-Ochoa, "Diffusion and chemical reaction rates with nonuniform enzyme distribution: An experimental approach," *Biotechnology and Bioengineering*, vol.72, no.4, pp.458-467, 2001.
- [7] I. Roy, M.N. Gupta, "Lactose hydrolysis by Lactozym™ immobilized on cellulose beads in batch and fluidized bed modes," *Process Biochemistry*, vol.39, no.3, pp. 325-332, 2003.
- [8] S. Gürdaş, H.A. Güleç, M. Mutlu, "Immobilization of *Aspergillus oryzae* β -galactosidase onto Duolite A568 resin via simple adsorption mechanism," *Food and Bioprocess Technology*, vol.5, no.3, pp. 904-911, 2012.
- [9] D. Nemeč, J. Levec, "Flow through packed bed reactors: 1. Single-phase flow," *Chemical Engineering Science*, vol.60, no.24, pp. 6947-6957, 2005.
- [10] D. S. Wentworth, D. Skonberg, D.W. Donahue, A. Ghanem, "Application of chitosan-entrapped β -galactosidase in a packed-bed reactor system," *Journal of Applied Polymer Science*, vol.91, no.2, pp. 1294-1299, 2004.
- [11] V.V. Kafarov, "Cybernetic methods in chemistry & Chemical engineering", Moscow, Mir Publishers, 1976.
- [12] O. Levenspiel, "Chemical reaction engineering," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol.38, no.11, pp. 4140-4143, 1999.
- [13] Mutlu, M., Sağ, Y., Kutsal, T., "The adsorption of copper (II) by *Z. ramigera* immobilized on Calcium alginate in packed bed columns: a dynamic approach by stimulus-response technique and evaluation of adsorption data by moment analysis," *The Chemical Engineering Journal and The Biochemical Engineering Journal*, vol.65, no.1, pp.81-86, 1997.
- [14] J.M. Smith, "Chemical engineering kinetics", 2nd ed., USA, McGraw-Hill Inc, 1981.
- [15] I.H. Boyacı, "Dolgu Kolon Entegre Edilmiş Enzim Elektrot Sistemleri ile Gıda Örneklerinde Glukoz, Sukroz ve Laktoz Miktarının Saptanması," Doktora tezi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001.
- [16] E.E. Petersen, "Chemical reaction analysis", Prentice Hall, 1965.
- [17] M. Mutlu, E. Piskin, "Blood plasma proteins on polyurethane and alkylsiloxane plasma-treated polyurethane surfaces. Dynamic approach by stimulus-response technique", *Medical and Biological Engineering and Computing*, vol.28, no.3, pp. 232-236, 1990.

- [18] S. Gürdas, H.A. Güleç, M. Mutlu, "Adsorption Isotherm and Kinetic Modelling of [beta]-Galactosidase Immobilization onto a Basic Resin (Duolite A568)," *Asian Journal of Chemistry* vol.23, no.3, pp.1049, 2011
- [19] Y. Cho, J. Bailey, "Immobilization of enzymes on activated carbon: properties of immobilized glucoamylase, glucose oxidase, and gluconolactonase," *Biotechnology and Bioengineering*, vol.20, no.10, pp. 1651-1665, 1978.
- [20] Q.Z. Zhou, X.D. Chen, "Immobilization of β -galactosidase on graphite surface by glutaraldehyde," *Journal of Food Engineering* vol.48, no.1, pp. 69-74, 2001.
- [21] X. Li, Q.Z. Zhou, X.D. Chen, "Pilot-scale lactose hydrolysis using β -galactosidase immobilized on cotton fabric," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol.46, no.5, pp.497-500, 2007.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

COVID-19 Prediction from Chest X-Ray Images using Transfer Learning

 Kaan BIÇAKCI^a,  Volkan TUNALI^{a,*}

^a Department of Software Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Maltepe University, Istanbul, TURKEY

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

DOI: 10.29130/dubited.878779

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has been affecting our lives in many ways, not only the healthcare systems in the countries but the whole societies worldwide. Meantime, a considerable number of studies have been conducted and lots of medical techniques have been tried to overcome the pandemic. In this work, making use of real-world images, we applied Convolutional Neural Networks to chest X-ray images to predict whether a patient has the COVID-19 virus or not. Initially, we used transfer learning to fine tune a number of pre-trained ResNet, VGG, and Xception models, which are very well-known architectures due to their success in image processing tasks. While the achieved performance with these models was encouraging, we ensembled three models to obtain more accurate and reliable results. Finally, our ensemble model outperformed all other models with an F-Score of 97%.

Keywords: Chest X-Ray, COVID-19, Viral Pneumonia, Deep Learning, Transfer Learning, Ensemble Learning

Transfer Öğrenme Kullanarak Göğüs Röntgeni Görüntülerinden COVID-19 Tahmini

ÖZ

COVID-19 salgını, sadece ülkelerdeki sağlık sistemlerini değil, dünya çapında tüm toplumları birçok şekilde etkilemektedir. Bu süreçte, pandeminin üstesinden gelmek için önemli sayıda çalışma yapılmış ve birçok tıbbi teknik denenmiştir. Bu çalışmada, gerçek görüntülerden yararlanarak, bir hastada COVID-19 virüsünün olup olmadığını tahmin etmek için Evrimsel Sinir Ağlarını göğüs röntgeni görüntülerine uyguladık. Başlangıçta, görüntü işleme alanındaki başarıları nedeniyle çok iyi bilinen mimariler olan bir dizi önceden eğitilmiş ResNet, VGG, ve Xception modellerini elimizdeki probleme uygun olarak yeniden eğitmek üzere Transfer Öğrenme kullandık. Bu modellerle ulaşılan performans tatmin edici olsa da daha isabetli ve güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla üç ayrı modeli bir araya getiren bir topluluk modeli oluşturduk. Son olarak, topluluk modelimiz %97'lik bir F-Skoru ile diğer tüm modellerden daha iyi performans gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Göğüs Röntgeni, COVID-19, Viral Pnömoni, Derin Öğrenme, Transfer Öğrenme, Topluluk Öğrenmesi

I. INTRODUCTION

As of February 10th, 2021, there are 107,639,175 coronavirus cases which have resulted in the death of 2,358,080 people [1]. Since December 2019, the coronavirus has started to become a major problem worldwide as a pandemic. The COVID-19 pandemic has been affecting our lives in many ways, not only the healthcare systems in the countries but the whole societies worldwide. Meantime, a considerable number of studies have been conducted and lots of medical techniques have been tried to overcome the pandemic. Some studies have particularly focused on the diagnosis of COVID-19 from medical images like X-rays and CT scans.

There are several Deep Learning systems that were developed to identify and detect patients who had COVID-19 using their chest X-ray images. Minaee et al. tested some popular deep learning architectures such as ResNet [2] and DenseNet [3]. Their dataset was imbalanced due to the difficulty in finding X-rays images of COVID-19 patients. Therefore, in order to increase the size of COVID-19 X-rays, they used image augmentation in their study [4].

In a study by Khan et al., a model based on Xception architecture [5] was able to give promising results [6]. They also used ImageNet [7] weights of Xception model, fine tuned last layers, and achieved 90% accuracy in 3-class classification.

In another research, Apostolopoulos et al. used pre-trained models from architectures like MobileNet [8], Xception, and VGG [9] for the detection of COVID-19 using chest X-ray images [10]. They applied these models to both binary and multi-class classification and achieved 95% accuracy at best.

Ozturk et al. built a CNN model for COVID-19 detection using chest X-rays [11]. Their model achieved 87% and 98% accuracies for multi and binary class classification, respectively.

In this study, we applied CNN models to chest X-ray images to predict whether a patient has the COVID-19 virus or not. We used transfer learning to fine tune a number of pre-trained ResNet, VGG, and Xception models, which are very well-known architectures due to their success in image processing tasks.

The studies mentioned above were similar to our study. However, their datasets were generally very small when compared to ours; that is, we trained our models on a relatively larger dataset. Some of the studies consistently reported that their datasets were imbalanced in terms of class distribution having small number of COVID-19 X-ray images while having much greater number of images from normal patients. Our dataset, on the other hand, had a comparatively balanced class distribution. Additionally, some of the studies applied image augmentation techniques to increase the size and variety of their datasets as we also took a similar approach. In our study, we also used ensemble learning to enhance the classification accuracy. Different from the previous studies, we were able to get better results using a larger dataset and ensemble learning.

This paper is organized as follows: Section II explains the details of the datasets and deep learning models that we experimented with. In Section III, we present our results and discuss about them. Section IV concludes the study and provides some future directions for further research.

II. MATERIAL AND METHOD

A. DATASET

The dataset used in this study were provided by Chowdhury et al. [12]. The original dataset contains 3,886 Chest X-Ray images. The images in the dataset are divided into three categories as COVID-19,

Normal, and Viral Pneumonia according to their diagnosis, and their category distribution is 1,200, 1,341, and 1,345, respectively. Some sample images from the dataset are given in Figure 1.

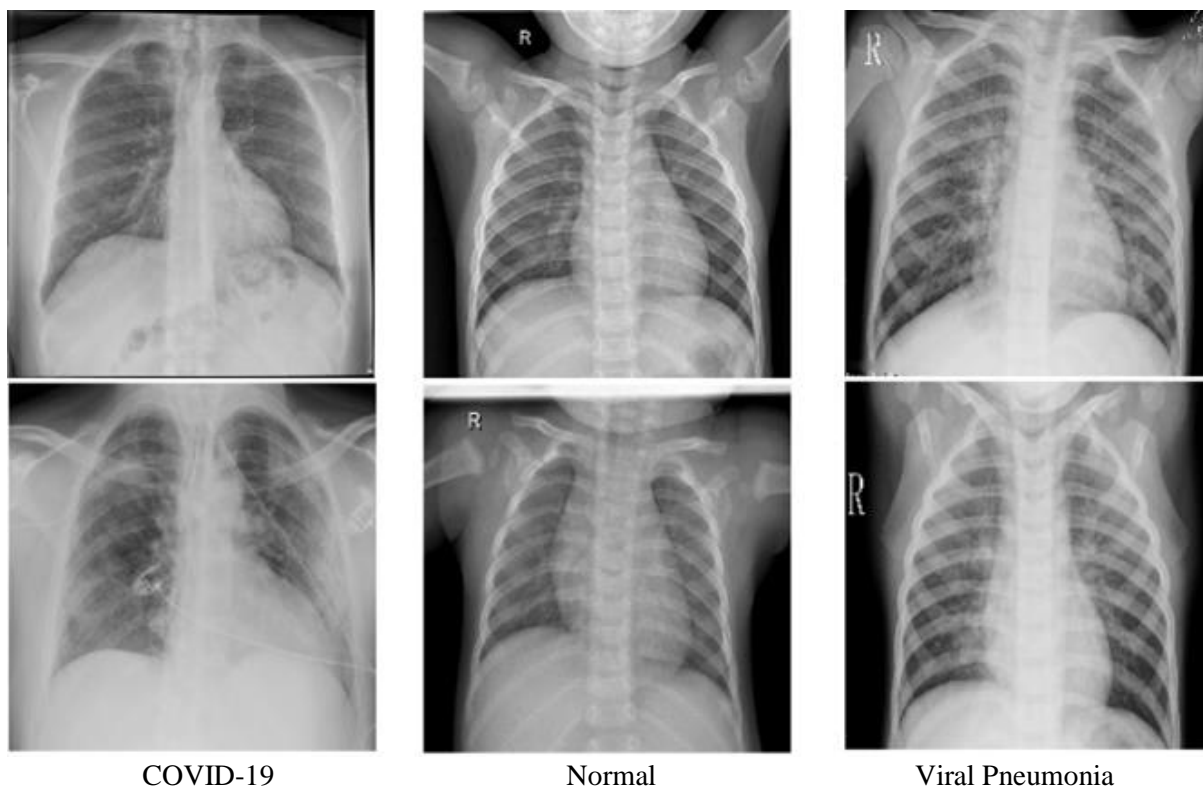


Figure 1. Some sample images from the dataset [12].

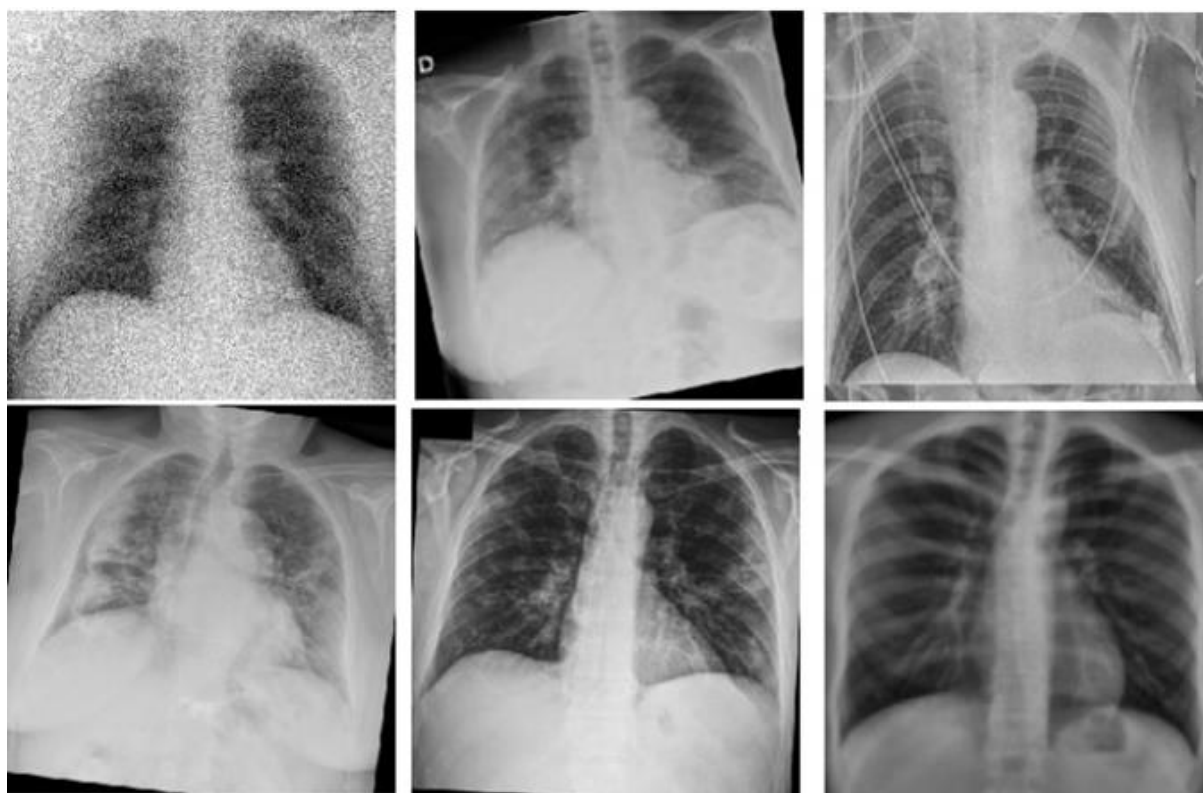


Figure 2. Some sample images we used to augment the COVID-19 category.

When we first examined the images in the original dataset, we observed that there were lots of duplicate images, especially in COVID-19 category. Thus, we identified the duplicates using a hashing method, and then removed them.

After the duplicate removal process, the dataset became more imbalanced than the original with 917 COVID-19, 1,339 Normal, and 1,338 Viral Pneumonia images. In order to make the dataset balanced, we augmented the COVID-19 category by warp shifting, rotating clockwise, and adding gaussian blur to 349 images that we picked at random. To achieve that, we used the image processing functions in OpenCV [13] and scikit-image [14] libraries. We flipped the images neither horizontally nor vertically because as data augmentation is performed, category labels of the images should stay the same. However, horizontal flip would make images of Normal category to have the heart on the right hand side of the chest which is a disease called “dextrocardia” [15]. Some sample images we used to augment the COVID-19 category are given in Figure 2.

It is worth mentioning that the dataset contained images in variety of resolutions such as 331x331, 1024x1024, and so on. Following the common practice in deep learning studies, we resized all images in the dataset to 224x224.

Once we obtained the final dataset, we split the dataset into train, validation, and test sets. We used 65% of the images for training, 15% for validation, and 20% for testing, as seen in Table 1. We need to state that we used the augmented images in COVID-19 category only for training. That is, those images did not appear in validation and test sets.

Table 1. Distribution of image categories in the dataset over train, validation, and test sets.

Split	COVID-19	Normal	Viral Pneumonia
Train	874	875	826
Validation	184	224	176
Test	208	240	336
Total	1,266	1,339	1,338

B. DEEP LEARNING METHODS

B. 1. Deep Learning

Deep learning is a subset of machine learning where algorithms are inspired by the connectivity patterns of human brain called Artificial Neural Networks (ANN). There are different deep learning architectures that have been applied to fields such as computer vision, speech recognition, natural language processing, and so on. Convolutional Neural Networks (CNN) is an architecture that has been used for image feature extraction. One other architecture is Recurrent Neural Networks (RNN) which has connections between its layers as a form of directed graph, allowing the information carried in layers to remember. Long Short Term Memories (LSTM) are special type of an RNN, capable of remembering long-term dependencies [16].

RNNs and LSTMs are more suitable for sequential data such as text, time series, financial data, speech, audio, video, and so on. Therefore, they are commonly used for tasks such as natural language processing and time series processing. CNNs, on the other hand, are best suitable to work with spatial structures like images.

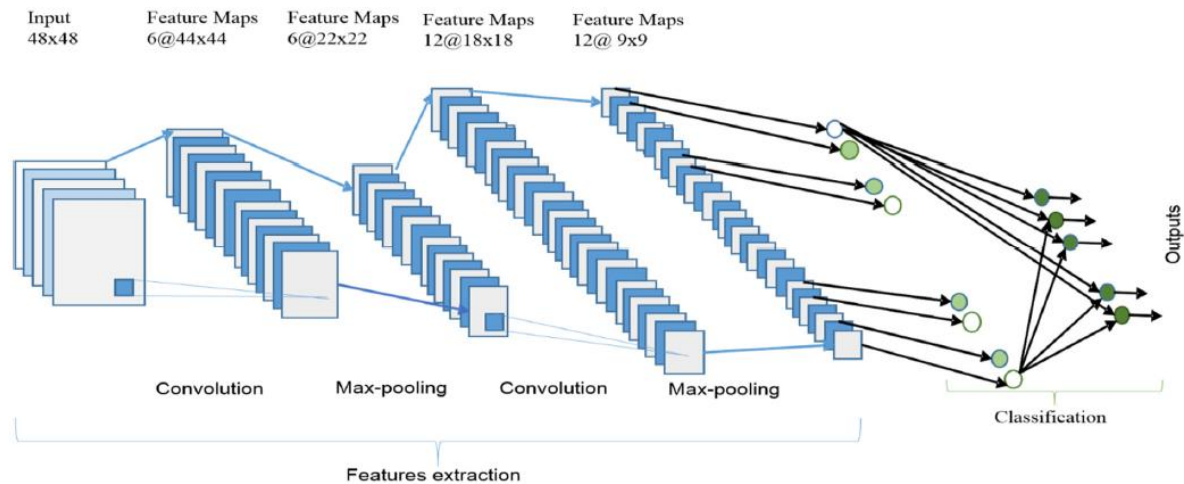


Figure 3. The overall architecture of the generic Convolutional Neural Network (CNN) [17].

The overall architecture of the generic CNN is given in Figure 3. Most crucial components of this architecture are the convolution and pooling operations. Convolution represents the direct application of any mathematical filter to a given input that results in an activation. Repeating the same process with the same filter results in a map of activations that is called feature maps, indicating the locations and strength of a detected characteristic of the given input. Pooling is used for reducing the spatial dimensions of mapped feature maps. Pooling layer operates on each feature map independently [16].

B. 2. ResNet Models

ResNet models are one of the most popular CNN (Convolutional Neural Network) models. In theory as neural networks become deeper, the expected performance should increase. However, in practice, performance degrades. In order to overcome this issue, ResNet architecture was introduced [2]. The key idea in this architecture is skipping connections while providing identity shortcuts for the networks. This makes gradient updates much easier for deeper layers. All ResNet models follow the same logic; the only difference is the number of layers in the network.

B. 3. VGG Blocks

The VGG CNN architecture was a significant milestone in deep learning and computer vision. VGG blocks consist of small filter sized convolutions followed by max pooling layers. The VGG blocks start with two convolutional layers which have 64 and 128 filters respectively. Then, the third layer contains 256 filters. In the ordinary usage of VGG blocks, filters are increased with the depth of the network [9].

B. 4. Xception Model

Xception model consists of three main parts named as entry flow, middle flow, and exit flow respectively. The entry flow has two convolution layers followed by a layer of ReLU activation function [5]. In this model Separable convolutional layers are used as a main difference from the previous similar architectures. There are additional “skip” connections, where two tensors are added to merge. Similarly, the Middle flow and the Exit flow are constructed with the same principles.

B. 5. Transfer Learning

Transfer learning is a machine learning technique to re-use pre-trained models for new objectives. That is, layers and weights of a pretrained model are used as a starting point in model creation [16]. Transfer learning is usually used when there are insufficient number of samples to train a model from scratch. In

this way, we make use of the information readily available in the parameters of a previously trained model. In addition, training of a new model takes considerably less amount of time. For instance, obtaining a model which was already trained on ImageNet dataset [7] which contains millions of images can be a good starting point for any image classification task. This kind of a model can also be used for COVID-19 detection purposes. An illustration of transfer learning can be seen in Figure 4.

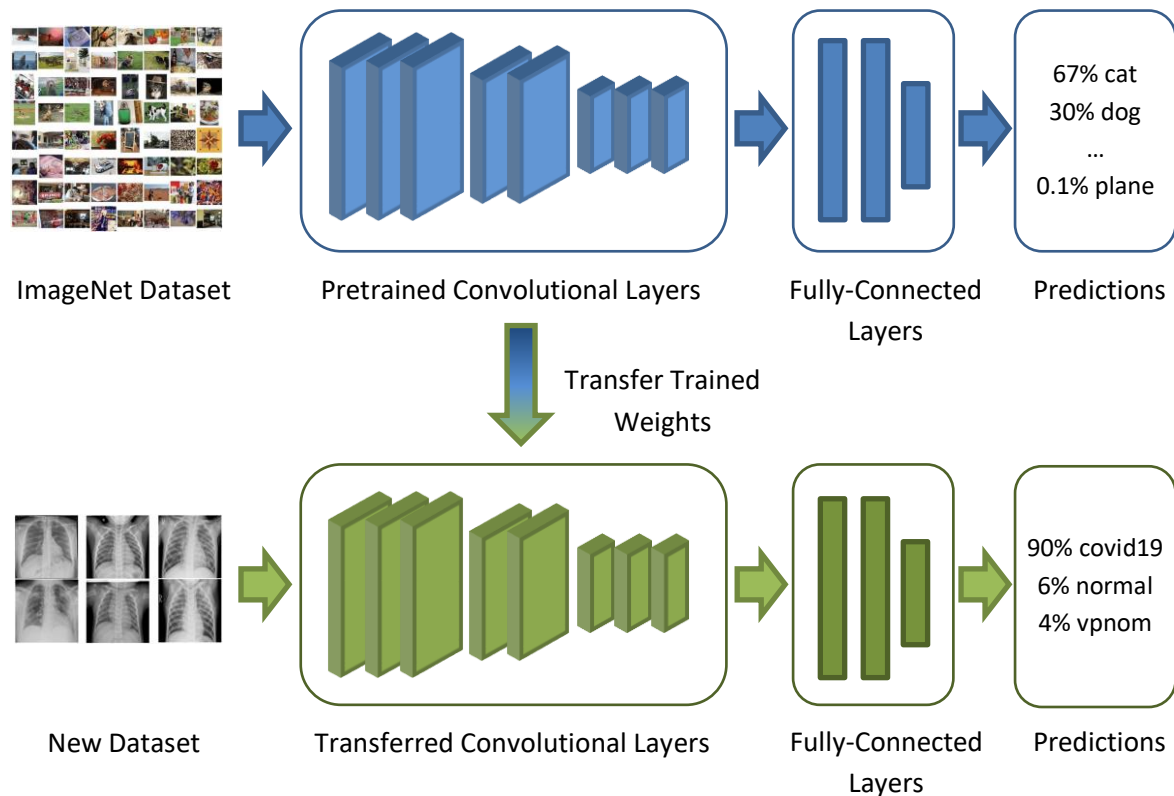


Figure 4. Illustration of transfer learning: a CNN is pretrained on ImageNet and subsequently trained on X-ray images for our research.

As the size of our dataset was small, we used transfer learning to fine tune popular pre-trained deep learning architectures in our study. Specifically, we used pre-trained models of ResNet18, ResNet50, ResNet101, ResNet152, VGG16, VGG19, and Xception architectures.

B. 6. Ensemble Models

A special type of classifier, called Ensemble Classifier, combines multiple base classifiers in order to improve the total accuracy of all base classifiers for different circumstances [18]. A result acquired from combination of several machine learning models can be more accurate than a single classifier. The main issue here is how to generate different base classifiers that complement each other. In addition, how to combine the outputs of base classifier for maximum accuracy is another problem [19]. There are several ensemble classification techniques developed for combining multiple classifiers. Well known and widely used ensemble classification techniques are Bagging [20] and Boosting [21, 22].

In this study, we took a bagging approach to combine different deep learning models to improve the classification accuracy. That is, we particularly created two different ensemble models to combine different deep learning models. Every output of each individual model was combined and averaged to get better classification accuracy. We called the first model we created ENS1, which was a combination of VGG16, ResNet101, and Xception models. The second one, ENS2, was based on VGG19, ResNet50, and Xception models. Our choice of base models was based on the performances of the models on the COVID-19 category. General architecture of our ensemble models can be seen in Figure 5.

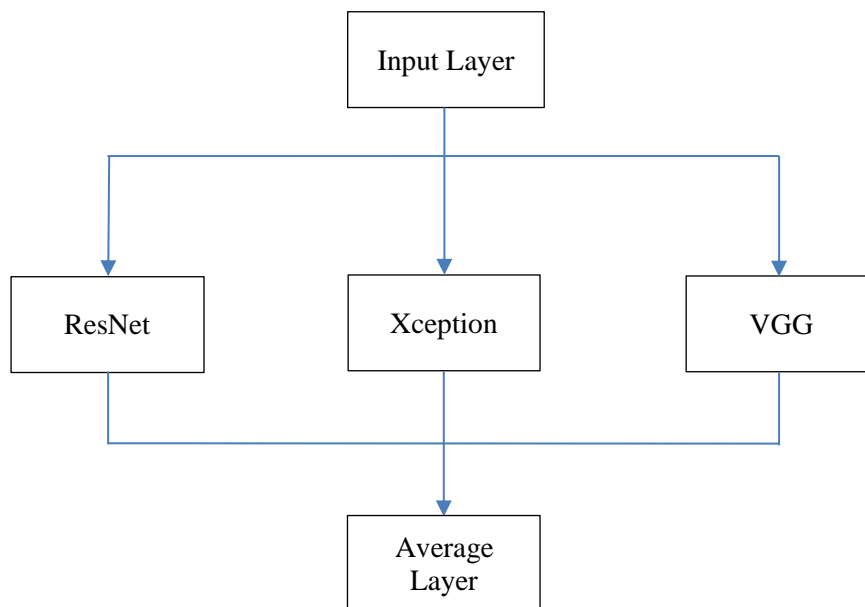


Figure 5. General architecture of our ensemble models.

C. MODEL TRAINING

We used GeForce GTX 1660 Ti and Tesla K80 GPUs for training all the models. Models and architectures were generated using TensorFlow 2.5.0 [23] and Keras 2.5.0 [24] in Python 3.8.3 environment. During the training process we used random image processing feature of Keras such as *zoom_range* and *width_shift_range* to prevent overfitting, which is done internally by Keras.

We trained all the models with slightly low learning rates. Categorical cross entropy loss was used to minimize the score of distance between predictions and ground truth values. As pre-trained models include various regularization techniques, we only added dropout layers with a rate of 0.4 between the layers that we tried to fine tune and train. Models and used optimizers to minimize the loss are given in Table 2.

Table 2. Models and their optimizer parameters for the training process.

Model	Optimizer	Momentum	Nesterov	Learning Rate
VGG16	SGD	0.9	True	0.00009
VGG19	SGD	0.9	True	0.00009
ResNet18	SGD	0.9	True	0.00009
ResNet50	SGD	0.9	True	0.00009
ResNet101	SGD	0.9	True	0.00005
ResNet152	SGD	0.9	True	0.00005
Xception	SGD	0.9	True	0.00005
ENS1	Adam	-	-	0.00003
ENS2	Adam	-	-	0.0001

Unlike for the other models, we used Adam optimizer for our ensemble models rather than SGD optimizer. Adam is an adaptive optimizer and adaptive optimizers are known to be better than SGD for especially large-scale models and they are preferred due to their faster convergence [25]. In addition, during our experimental studies, we obtained slightly better performance with Adam than SGD, and thus, we settled on Adam.

The learning rate controls how fast the gradients are updated, in other words, it controls how the model adapts itself to the problem. Higher learning rates make the model converge faster, however, they can cause the model to diverge. Using a low learning rate means the model is taking small steps towards minimum point of loss function. As it takes small steps, more epochs are required. Very low learning rate also can cause model to stuck, which means no learning takes place [16].

For our dataset, using a higher learning rate was giving rise to oscillation of validation loss as well as the training loss. Thus, we picked reduced learning rates with momentum. Additionally, we used three Keras callbacks to control the training process, namely, ReduceLROnPlateau, ModelCheckpoint, and EarlyStopping. ReduceLROnPlateau reduces the learning rate when the given monitoring metric stopped improving. We used ReduceLROnPlateau with the following parameters: *factor* = 0.01, *patience* = 4, *minimum learning rate* = 5×10^{-8} [26]. ModelCheckpoint saves the model to a specific directory when monitoring metric is improved at the end of every epoch. We monitored the validation loss with the parameter *save_best_only* = True. Thus, we overwritten the previous saved model [24]. Early Stopping is a callback we used as a preventive measure to overfitting. Overfitting is a common problem when the training dataset is small in which the model memorizes the training data, and it performs quite well with seen data but performs very poorly with unseen data. In order to prevent this and make sure that our models were not overfitting, we used early stopping with a parameter *patience* = 16 while monitoring the validation loss [27].

D. MODEL EVALUATION METRICS

In order to measure the classification performance of the selected models, we used Accuracy, Precision, Recall, and F-Score metrics. For each of these metrics, the higher the metric value, the higher the performance of a classifier is. We used scikit-learn [28] to generate desired metrics.

When we test a classifier, we obtain four different counts as True Positive (TP), False Positive (FP), True Negative (TN), and False Negative (FN). Using these counts, it is possible to compute the above metrics as given in Eqn. 1, 2, 3, and 4, respectively.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$F-Score = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

III. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

A. MODEL PERFORMANCE COMPARISON

We first obtained classification performance metrics for each model with respect to each one of the three classes COVID-19, Normal, and Viral Pneumonia. In this study, our focus was particularly on the successful detection of COVID-19 cases. Therefore, we first present our experimental results for the COVID-19 class in Table 3.

Table 3. Model performance comparison for COVID-19 class.

Model	Precision	Recall	F-Score
VGG16	0.99	0.85	0.92
VGG19	0.98	0.87	0.92
ResNet18	0.94	0.84	0.89
ResNet50	1.00	0.93	0.96
ResNet101	0.99	0.91	0.95
ResNet152	0.98	0.88	0.93
Xception	0.99	0.93	0.96
ENS1	1.00	0.92	0.96
ENS2	0.99	0.97	0.98

Most of the models have a high precision but lower recall rates compared to each other. If a model has a high precision rate, then it predicts the given image as positive when it is really positive. It can be trusted. However, with a low recall rate, if it predicts the given image as negative, it cannot be trusted as much as the predictions of positive. There is still some probability that given sample's label is positive. Therefore, for a reliable classification, both high precision and high recall are expected from the models.

When we examine the individual model performances in Table 3, we observe that VGG models almost performed the same, as the number of layers used in the models were close to each other. ResNet50 performed better than ResNet152, which may indicate that there was a high mismatch between the high model complexity of ResNet152 and our dataset. Xception model, on the other hand, performed closely or better than ResNet and VGG models as expected. ENS1 model was better than ENS2 in terms of precision. That was expected, as ENS1 included the models that had the highest precision score. When we constructed the ENS2 model, we chose the models that obtained the highest Recall scores. As a result, our ENS2 model outperformed all other models when it comes to the detection of whether a patient has the COVID-19 infection or not.

As this is a multiclass classification, it is better to compare the performances of models with respect to all classes. In Table 4, we present a comparison of model performances for all classes in terms of F-Score.

Table 4. Model performance comparison for all classes.

Model	COVID-19	Normal	Viral Pneumonia	Weighted Average
VGG16	0.92	0.86	0.91	0.89
VGG19	0.92	0.91	0.90	0.91
ResNet18	0.89	0.92	0.91	0.89
ResNet50	0.96	0.92	0.94	0.94
ResNet101	0.95	0.95	0.95	0.95
ResNet152	0.93	0.91	0.94	0.93
Xception	0.96	0.90	0.91	0.92
ENS1	0.96	0.93	0.94	0.94
ENS2	0.98	0.96	0.97	0.97

Whereas ENS1 was one of the best-performing models in COVID-19 prediction, it showed only an average performance among the other models in terms of F-Score. On the other hand, ENS2 was the best in overall prediction performance as well as in COVID-19 prediction only.

In order to demonstrate the generalization capabilities of our models, we present the accuracies of the models on train, validation, and test splits in Table 5. When we analyze these accuracy scores, we see that ENS2 achieved the highest level of generalization as well as the highest prediction performance.

Table 5. Model accuracies for train, validation, and test splits.

Model	Train	Validation	Test
VGG16	0.91	0.89	0.88
VGG19	0.91	0.91	0.91
ResNet18	0.90	0.88	0.89
ResNet50	0.96	0.95	0.94
ResNet101	0.95	0.94	0.95
ResNet152	0.94	0.92	0.93
Xception	0.94	0.93	0.92
ENS1	0.96	0.95	0.94
ENS2	0.97	0.97	0.97

B. PERFORMANCE DETAILS OF OUR ENSEMBLE MODEL ENS2

Our ENS2 ensemble model is made up of VGG19, ResNet50, and Xception models. The purpose of ensembling these models was to combine the variety of models as every one of them follows a different architecture. We picked ResNet50 instead of ResNet101 because performance scores of ResNet50 on COVID-19 prediction were better. Prediction of each model in the ensemble is combined and averaged to get more reliable results. Keras implementation of ENS2 model is given in Figure 6.

```

models = [model_xception, model_resnet, model_vgg]
model_input = tf.keras.Input(shape=(224, 224, 3))
model_outputs = [model(model_input) for model in models]
ensemble_output = tf.keras.layers.Average()(model_outputs)
ensemble_model = tf.keras.models.Model(inputs=model_input, \
                                     outputs=ensemble_output, name='ensemble')

```

Figure 6. Ensembling models in Keras.

In Table 6, we present performance scores of ENS2 model for each class in more detail. In addition, we present the confusion matrix obtained from our experiments in Table 7.









Table 6. Performance scores of ENS2 model for each class.

	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
COVID-19	0.97	0.99	0.97	0.98
Normal	0.99	0.93	0.99	0.96
Viral Pneumonia	0.95	0.99	0.95	0.97

Table 7. Confusion matrix of ENS2 model.

		Predicted Classes			Total
		COVID-19	Normal	Viral Pneumonia	
Actual Classes	COVID-19	202	4	2	208
	Normal	0	238	2	240
	Viral Pneumonia	3	14	319	336
	Total	205	256	323	784

Table 8. Confusion matrix of test samples as predicted by ENS2 model.

		Predicted Classes		
		COVID-19	Normal	Viral Pneumonia
Actual Classes	COVID-19			
	Normal	None		
	Viral Pneumonia			

ENS2 model obtained a very high precision, recall, and as a result, a very high F-Score when predicting COVID-19 class. On the other hand, precision of Normal category is not as high as other metrics. When we examine the confusion matrix, we see that our ENS2 model misclassified some Viral Pneumonia images as Normal. This might be because, in some cases, the images from Normal class resemble the images from Viral Pneumonia class as seen in Figure 1. Additionally, we provide sample images from the test set as they were predicted by ENS2 model in Table 8 in a confusion matrix form.

IV. CONCLUSION AND FUTURE DIRECTIONS

In this study, we proposed several CNN models to predict whether a patient has the COVID-19 virus or not from chest X-ray images. We used transfer learning to fine tune a number of pre-trained ResNet, VGG, and Xception models, which are very well-known architectures due to their success in image processing tasks. We trained two ensemble learning models to include a variety of the base models in order to improve the classification accuracy. The best performing ensemble model was our ENS2 model that outperformed the other models with 97% accuracy on the three-class classification. We also show in this study that transfer learning is a highly effective way of creating deep learning models on new tasks.

A major limitation of our study is that we had to use a limited number of X-ray images that depict COVID-19 infection. As a future work, we plan to make our model more accurate and reliable by collecting more images from both local and global public data sources.

Entire system proposed in this study was based purely on medical images of patients. Despite the apparent success proved by our experiments, a better and more reliable system for diagnosing COVID-19 and similar infections can possibly be developed by incorporating some other medical data of patients into the model.

V. REFERENCES

- [1] Worldometers.info. (2021, Feb. 10). *Coronavirus Update (Live) from COVID-19 Virus Pandemic* [Online]. Available: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>

- [2] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770-778.
- [3] G. Huang, Z. Liu, L. V. D. Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely Connected Convolutional Networks," in *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 2261-2269.
- [4] S. Minaee, R. Kafieh, M. Sonka, S. Yazdani, and G. Jamalipour Soufi, "Deep-COVID: Predicting COVID-19 from chest X-ray images using deep transfer learning," *Medical Image Analysis*, vol. 65, p. 101794, 2020.
- [5] F. Chollet, "Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions," in *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 1800-1807.
- [6] A. I. Khan, J. L. Shah, and M. M. Bhat, "CoroNet: A deep neural network for detection and diagnosis of COVID-19 from chest x-ray images," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 196, p. 105581, 2020.
- [7] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L. Li, L. Kai, and F.-F. Li, "ImageNet: A large-scale hierarchical image database," in *2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009, pp. 248-255.
- [8] A. Howard, M. Zhu, B. Chen, D. Kalenichenko, W. Wang, T. Weyand, M. Andreetto, and H. Adam, "MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications," *ArXiv*, vol. abs/1704.04861, 2017.
- [9] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition," *CoRR*, vol. abs/1409.1556, 2015.
- [10] I. D. Apostolopoulos and T. A. Mpesiana, "Covid-19: automatic detection from X-ray images utilizing transfer learning with convolutional neural networks," *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, vol. 43, pp. 635-640, 2020.
- [11] T. Ozturk, M. Talu, E. A. Yildirim, U. B. Baloglu, O. Yildirim, and U. Rajendra Acharya, "Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 121, p. 103792, 2020.
- [12] M. E. H. Chowdhury, T. Rahman, A. Khandakar, R. Mazhar, M. A. Kadir, Z. B. Mahbub, K. R. Islam, M. S. Khan, A. Iqbal, N. A. Emadi, M. B. I. Reaz, and M. T. Islam, "Can AI Help in Screening Viral and COVID-19 Pneumonia?," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 132665-132676, 2020.
- [13] G. Bradski, "The OpenCV library," *Dr Dobb's J. Software Tools*, vol. 25, pp. 120-125, 2000.
- [14] S. v. d. Walt, J. L. Schönberger, J. Nunez-Iglesias, F. Boulogne, J. D. Warner, N. Yager, E. Gouillart, T. Yu, and t. s.-i. contributors, "scikit-image: image processing in Python," *PeerJ*, vol. 2, p. e453, 2014.

- [15] S. W. Yusuf, J. B. Durand, D. J. Lenihan, and J. Swafford, "Dextrocardia: an incidental finding," *Texas Heart Institute journal*, vol. 36, pp. 358-359, 2009.
- [16] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. Cambridge: The MIT Press, 2016.
- [17] M. Z. Alom, T. M. Taha, C. Yakopcic, S. Westberg, P. Sidike, M. S. Nasrin, M. Hasan, B. C. Van Essen, A. A. S. Awwal, and V. K. Asari, "A State-of-the-Art Survey on Deep Learning Theory and Architectures," *Electronics*, vol. 8, p. 292, 2019.
- [18] F. Huang, G. Xie, and R. Xiao, "Research on Ensemble Learning," in *2009 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 2009, pp. 249-252.
- [19] E. Alpaydin, *Introduction to Machine Learning*, 2nd ed. London, England: The MIT Press, 2010.
- [20] L. Breiman, "Bagging Predictors," *Machine Learning*, vol. 24, pp. 123-140, 1996.
- [21] R. E. Schapire, "Theoretical Views of Boosting and Applications," in *10th International Conference on Algorithmic Learning Theory AL'99*, 1999, pp. 13-25.
- [22] R. E. Schapire, "A Brief Introduction to Boosting," in *16th International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI'99*, 1999, pp. 1401-1406.
- [23] M. Abadi, P. Barham, J. Chen, Z. Chen, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, G. Irving, M. Isard, M. Kudlur, J. Levenberg, R. Monga, S. Moore, D. G. Murray, B. Steiner, P. Tucker, V. Vasudevan, P. Warden, M. Wicke, Y. Yu, and X. Zheng, "TensorFlow: a system for large-scale machine learning," in *Proceedings of the 12th USENIX conference on Operating Systems Design and Implementation*, Savannah, GA, USA, 2016, pp. 265–283.
- [24] F. Chollet. (2021, Dec. 12). *Keras* [Online]. Available: <https://keras.io>
- [25] N. Keskar and R. Socher, "Improving Generalization Performance by Switching from Adam to SGD," *ArXiv*, vol. abs/1712.07628, 2017.
- [26] L. N. Smith, "Cyclical Learning Rates for Training Neural Networks," in *2017 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, 2017, pp. 464-472.
- [27] R. Caruana, S. Lawrence, and L. Giles, "Overfitting in neural nets: backpropagation, conjugate gradient, and early stopping," in *Proceedings of the 13th International Conference on Neural Information Processing Systems*, Denver, CO, 2000, pp. 381–387.
- [28] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, and É. Duchesnay, "Scikit-learn: Machine Learning in Python," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825-2830, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Dalgacık Dönüşüm Tekniği ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ile Eğirdir Gölü Buharlaşma Tahmini

 Özlem TERZİ^a,  Tahsin BAYKAL^{b,*}

^a İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

^b İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

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

DOI: 10.29130/dubited.893673

ÖZ

Buharlaşma, yeryüzünde bulunan suyun atmosfere transferi olarak tanımlanabilmektedir. Buharlaşma miktarının doğru tahmini özellikle kurak dönemler ve kurak alanlarda büyük öneme sahiptir. Buharlaşma, karmaşık ve doğrusal olmayan bir hidrolojik süreç olduğundan tahmininde tüm veri gruplarını temsil edebilecek güvenilir bir formül elde etmek zordur. Bu sebeple, bu çalışmada Eğirdir Gölü'ndeki buharlaşma miktarının tahmininde dalgacık dönüşümü (D), uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve çoklu lineer regresyon (ÇLR) yöntemleri kullanılmıştır. İlk olarak buharlaşma olayında etkili olan parametreler ile çeşitli ANFIS ve ÇLR modelleri geliştirilmiştir. En uygun ANFIS ve ÇLR modellerinin test kümelerinde R^2 değerleri sırasıyla 0,738 ve 0,666 elde edilmiştir. Daha sonra aynı girdi parametreleri dalgacık dönüşümü tekniği ile alt bileşenlere ayrılmıştır ve bu alt bileşenler D-ANFIS ve D-ÇLR modellerinde girdi olarak kullanılmıştır. D-ANFIS modelinin test kümesine ait R^2 değeri 0,777 ve D-ÇLR modelinin test kümesine ait R^2 değeri 0,749'dur. Geliştirilen tüm modeller sonucunda, dalgacık dönüşümü tekniğinin ANFIS ve ÇLR model sonuçlarını yükselttiği ve en uygun sonucu D-ANFIS modelinin verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Buharlaşma, Dalgacık dönüşümü, ANFIS, Çoklu lineer regresyon, Eğirdir Gölü

Evaporation Estimation of Eğirdir Lake Using Wavelet Transform Technique and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

ABSTRACT

Evaporation can be defined as the transfer of water from the earth to the atmosphere. Accurate estimation of the amount of evaporation is of great importance, especially in arid periods and regions. Since evaporation is a complex and nonlinear hydrological process, it is difficult to obtain a reliable formula that can represent data groups in evaporation estimation. For this reason, wavelet transform (W), adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS), and multilinear regression (MLR) methods were used to estimate the amount of evaporation in Lake Eğirdir in this study. Firstly, various ANFIS and MLR models have been developed with parameters effective on evaporation phenomena. R^2 values of the most appropriate ANFIS and MLR models were obtained as 0,738 and 0,666 for test sets, respectively. Then, the same input parameters were decomposed into sub-series by the wavelet transform technique and these sub-series were used as input parameters in W-ANFIS and W-MLR models. The R^2 value of the test set of the W-ANFIS model is 0,777 and the R^2 value of the test set of the W-MLR model is 0,749. As a result of all the models developed, it was seen that the wavelet transform technique increased results of ANFIS and MLR models and the W-ANFIS model gave the most appropriate result.

Keywords: Evaporation, Wavelet transform, ANFIS, Multi linear regression, Eğirdir Lake

I. GİRİŞ

Buharlaştırma, yeryüzünde bulunan suyun atmosfere transferi olayıdır [1]. Yağışların önemli bir kısmı tutma, buharlaştırma ve terleme yoluyla atmosfere geri döner. Atmosfere geri dönen bu kayıpların belirlenmesi özellikle kurak mevsimlerde hidrolojik bakımdan oldukça önemlidir [2]. Ayrıca baraj haznelerindeki su miktarının belirlenmesi ve işletilmesinde önemli faktörlerden biri olan buharlaştırma, göldeki su seviyesini azaltmaktadır. Buharlaştırma miktarının belirlenmesi, içme, sulama ve kullanma suyunun baraj rezervuarından karşılanması bakımından önemlidir [3]. Buharlaştırmanın, karmaşık ve doğrusal olmayan bir hidrolojik süreç olması tüm veri gruplarını temsil edebilecek güvenilir bir formül elde etmeyi zorlaştırmaktadır [4]. Dolayısıyla, son yıllarda yapay zekâ teknikleri hidrolojik değişkenlerin tahmininde sıkça kullanılmaktadır [5-8].

Doğan vd. [9] Hava sıcaklığı, bağıl nem, güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı günlük meteorolojik değişkenlerinin her birini etki derecesine göre değerlendirerek çeşitli girdi kombinasyonları oluşturmuşlar ve adaptif neuro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelinde girdi olarak kullanmışlardır. ANFIS modeli ile çoklu lineer regresyon (ÇLR) model sonuçlarını karşılaştırdıklarında, ANFIS modelinin buharlaştırma tahmininde kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Kişi ve Afşar [2] Çok katmanlı yapay sinir ağları (ÇKYSA), radyal tabanlı yapay sinir ağları (RTYSA), genelleştirilmiş regresyon yapay sinir ağları (GRYSA), ANFIS ve ÇLR yöntemleri ile tava buharlaştırma tahminleri yapmışlardır. Meteorolojik verilerden oluşan farklı girdi kombinasyonlarını modellemede kullanmışlar ve her bir değişkenin buharlaştırmaya olan etkilerini inceleyerek model sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Karekök ortalama hata (KOH), ortalama mutlak hata (OMH) ve korelasyon katsayılarını (R) karşılaştırma ölçütü olarak kullanmışlardır. KOH ve R ölçütlerine göre üç istasyonda RTYSA modelinin diğer modellere göre daha iyi sonuç verdiğini, bir istasyonda ise ÇDR modelinin RTYSA modeline göre daha üstün olduğunu görmüşlerdir. OMH ölçütüne göre iki istasyonda RTYSA modelinin, bir istasyonda ANFIS modelinin, diğer istasyonda ise ÇDR modelinin daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Gümüş vd. [10] Adana istasyonunda aylık ortalama buharlaştırma tahmini için meteorolojik parametreleri kullanarak yapay sinir ağları (YSA), ANFIS ve Gen Ekspresyon Programlama (GEP) ile modeller geliştirmişlerdir. Buharlaştırma tahmininde bu metodların kullanılabilir olduklarını ve ANFIS modelinin en uygun sonucu verdiğini belirtmişlerdir. Yapılan buharlaştırma tahminlerinin bir kısmında ANFIS modeli ampirik yöntemlerle kıyaslanmış ve ANFIS modelinin üstün olduğu belirlenmiştir [11, 12].

Moghaddamnia vd. [13] YSA ve ANFIS tekniklerine dayalı buharlaştırma tahmin modelleri geliştirmişlerdir. Girdi kombinasyonlarını Gama testi (GT) ile belirlemişlerdir. Bu geliştirdikleri modelleri ampirik bağıntıların sonuçları ile kıyaslamışlar ve YSA ve ANFIS model sonuçlarının ampirik yöntemlere daha başarılı olduğunu belirtmişlerdir. Goyal vd. [14] Alt tropikal iklimlerde tava buharlaştırma tahminlerinin doğruluğunu geliştirmek için YSA, en küçük kareler-destek vektör regresyon (LS-DVR), bulanık mantık (BM) ve ANFIS yöntemlerini incelemişlerdir. En iyi girdi ve çıktı gruplarını belirlemek için GT'ni kullanmışlardır. ANN, LS-DVR, BM ve ANFIS model sonuçlarını, Hargreaves ve Samani (HGS), Stephens–Stewart (SS) yöntemleri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda BM ve LS-DVR modellerinin günlük buharlaştırma tahmininde başarılı olduğunu ve makine öğrenme modellerinin geleneksel HGS ve SS ampirik yöntemlerine göre üstünlük gösterdiğini belirtmişlerdir. Özel ve Büyükyıldız [15] Konya Kapalı Havzası'nda yer alan Karaman istasyonuna ait meteorolojik parametreler kullanılarak YSA, DVR ve ANFIS modelleri ile aylık buharlaştırma miktarı tahmin etmişlerdir. DVR modelinin, aylık buharlaştırma tahmininde diğer modellere göre daha başarılı olduğunu söylemişlerdir. Deswal ve Pal [16] Shegaon'da bulunan Anand Sagar Rezervuarı'nın yakınındaki Manasgoan istasyonuna ait sıcaklık, rüzgâr hızı, güneşlenme saati ve bağıl nem verilerini kullanarak Destek Vektör Makineleri (DVM) ile buharlaştırma miktarını tahmin etmişlerdir. DVM sonuçlarını ÇDR modeli sonuçları ile karşılaştırmışlar ve DVM'nin buharlaştırma tahmininde daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır.

Ayrıca hidroloji alanında yapılan çalışmalarda veri ön işleme tekniklerine dayalı yapay zekâ uygulamaları yapılmakta ve bu modeller başarılı sonuçlar vermektedir [17-19]. Partal ve Kişi [20]

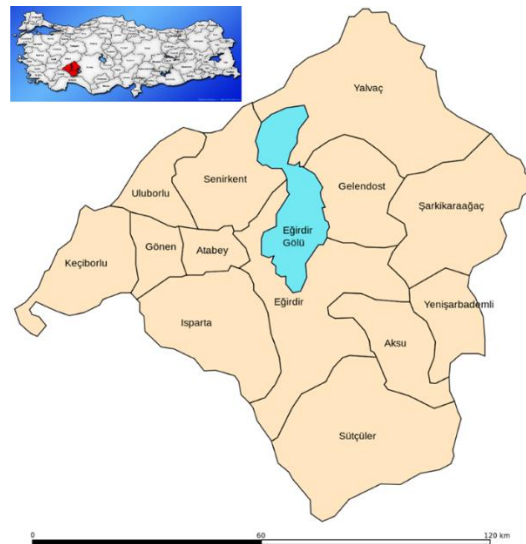
İzmir, Muğla ve Afyon istasyonlarının orijinal yağış verilerini ve dalgacık dönüşümü (D) ile ayrılan alt serileri ANFIS ile modellemiştir. ANFIS ve D-ANFIS modellerini kıyasladıklarında dalgacık dönüşümü uygulandıktan sonra geliştirilen D-ANFIS modelinin çok daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Seo vd. [21] Günlük su seviyesi tahmini için YSA ve ANFIS modelleri ile farklı dalgacık türleri kullanılarak D-YSA ve D-ANFIS modelleri geliştirmişlerdir. D-YSA ve D-ANFIS modellerinin sonuçlarının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Qasem vd. [22] Tebriz (İran) ve Antalya (Türkiye) istasyonlarında buharlaşma miktarını tahmin etmek için DVR, D-DVR, YSA ve D-YSA modelleri geliştirmişlerdir. Modellerin performanslarını değerlendirdiklerinde üç girdili YSA modelinin, D-YSA, DVR ve D-DVR modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Dalgacık dönüşümü tekniğinin Tebriz istasyonunda YSA ve DVR modellerinin hassasiyetini arttırmadığını söylemişlerdir. Benzer eğilimlerin Antalya istasyonunda da olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak, YSA modelinin hem Tebriz hem de Antalya istasyonlarında buharlaşma miktarı tahmini için makul sonuçlar verdiği kanısına varmışlardır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, ülkemizde buharlaşma tahmininde ANFIS ve ÇLR ile veri ön işleme tekniklerinden biri olan dalgacık dönüşümünün birlikte kullanımına rastlanmamıştır. Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'nün günlük tava buharlaşma miktarını tahmin etmek için dalgacık dönüşümü ile ANFIS ve ÇLR birlikte kullanılmıştır. İlk olarak meteorolojik parametreler ile ANFIS ve ÇLR modelleri geliştirilmiştir. Daha sonra, dalgacık dönüşüm tekniği ile meteorolojik parametreler alt bileşenlerine ayrılmış ve etkili alt bileşenler D-ANFIS ve D-ÇLR modellerinde girdi olarak kullanılarak diğer modeller ile karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL ve METOT

A. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

Isparta İl'inde yer alan Eğirdir Gölü, 37° 50' ve 38° 16' kuzey enlemleri ile 30° 57' ve 30° 44' doğu boylamları arasında yer almaktadır [23]. Eğirdir Gölü, Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölüdür [24]. Eğirdir Gölü Havzası, Antalya havzasının bir alt havzasıdır. Eğirdir Gölü havzası göl dahil 3020 km², göl yüzey alanı ise 468 km²'dir. Eğirdir Gölü'nün hacmi 4 milyon m³, derinliği ise ortalama 10-12 m'dir. Eğirdir Gölü'nde, içme suyu ve tarımsal sulama suyu temini, balıkçılık, turizm ve enerji üretimi yapılmaktadır. Pupa Çayı, Değirmen Çayı ve Akçay, gölü besleyen başlıca akarsulardır. Eğirdir Gölü Kovada Kanalı ile Kovada Gölü'ne ve Kurudere ile Aksu Çayı'na bağlıdır [22]. Eğirdir Gölü'nün konumu Şekil 1'de verilmiştir.

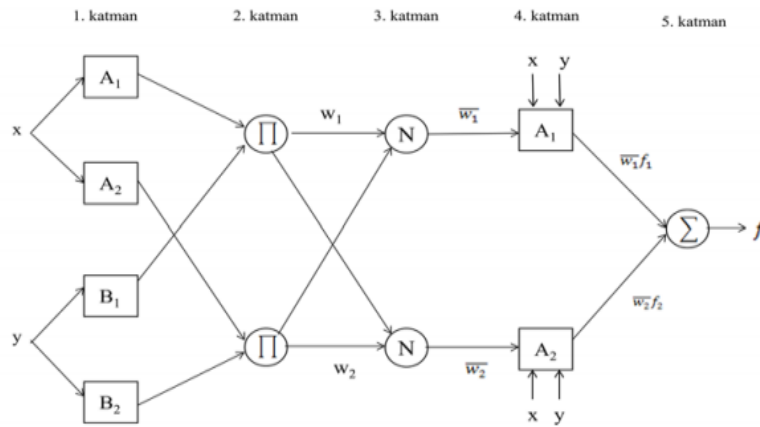


Şekil 1. Çalışma alanı [25].

Bu çalışmada kullanılan günlük tava buharlaşma değerleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden, hava sıcaklığı (Ta), su sıcaklığı (Tw), radyasyon (Rc), basınç (Pa), güneşlenme süresi (n), nisbi nem (Rh) ve rüzgâr hızı (U2) parametreleri ise Eğirdir Gölü kenarına kurulan otomatik GroWeather meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir. Bu veriler 2001-2002 yıllarında 1 Mart- 31 Ekim tarihleri arasında 490 günlük verilerden oluşmaktadır.

B. UYARLAMALI AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)

Uyarlamalı ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık yöntemlerinin birleşiminden oluşan bir modelleme yöntemidir. Bulanık mantık modellerinde en önemli adım girdi ve çıktı değişkenlerinin üyelik derecelerinin belirlenmesidir. ANFIS, eğitim veri kümesinden bulanık set ve kuralları belirlerken YSA'nın öğrenme yeteneğini kullanmaktadır. ANFIS, üç katmanlı ileri beslemeli YSA modeli şeklinde değerlendirilebilmektedir. Bu ağ yapısında, birinci katman girdi değişkenlerinin bulunduğu ve üyelik fonksiyonlarının belirlendiği katmandır. İkinci katman bulanık kuralların oluşturulduğu ve çıkarım işleminin gerçekleştiği katmandır. Üçüncü katman ise çıkarım sonuçlarının elde edildiği katmandır [26]. ANFIS modeline ait ağ yapısı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. ANFIS modeli ağ yapısı [27].

1. Katman: Her bir düğümün çıkışı, girdi değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik derecelerinden oluşmaktadır. Bu katmandaki her i düğümü, bir kare düğümdür. Düğümün çıkışı, Denklem 1'de verilen üyelik fonksiyonudur.

$$Q_{i1} = \mu A_i(x) \quad i = 1, 2, \dots \quad (1)$$

2. Katman: Kural katmanı olan bu katmandaki her bir düğüm, Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir. Her bir kural düğümünün çıkışı μ_i , 1. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı olmaktadır. μ_i değerlerinin elde edilişi ise, (j=1,2) ve (i=1,...,n) olmak üzere aşağıdaki gibi elde edilir.

$$SEE = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (2)$$

3. Katman: Normalizasyon katmanıdır. Bu katmanda bulunan her bir düğüm, kural katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir kuralın normalleştirilmiş değerini hesaplamaktadır.

4. Katman: Bu katmandaki her bir düğümden, verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır. Bu katmandaki parametreler, sonuç parametreleri olarak adlandırılır.

5. Katman: Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve Σ ile etiketlenmiştir. Burada, 4. katmandaki her bir düğümün çıkış değeri toplanarak ANFIS sisteminin gerçek değeri elde edilir [28].

C. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ

Zaman serilerini farklı frekans seviyelerindeki alt serilere ayırıştırıran dalgacık dönüşümü, daha güçlü bir tahmin imkânı sağlar [29]. Dalgacık dönüşümü, Fourier dönüşümü gibi durağan ve durağan olmayan işaret analizlerinde kullanılır. Bir işaret değişik ölçeklerdeki çözünürlük seviyelerinde tek bir fonksiyonu ayırıştırıran matematiksel bir yöntemdir. Fourier dönüşümünde bir işaretin frekans bilgisi elde edilirken, dalgacık dönüşümünden verilen işaretin hem zaman hem de frekans temsili elde edilir [30]. Dalgacık dönüşümünde en sık kullanılan dalgacıklar Morlet, Meksika şapka tipi, Daubechies ve Haar dalgacıklarıdır [31]. Dalgacık dönüşümü sürekli ve ayrık dalgacık dönüşümü olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sürekli dalgacık dönüşümünde ölçeklendirme ve dalgacık fonksiyonuna ait parametreler sürekli olarak değişmektedir. Bu yüzden dalgacık katsayılarının hesaplaması zor ve zaman alır. Ayrık dalgacık dönüşümünde ise işaret belli sayıda ölçeklere ayrılır. Bundan dolayı ayrık dalgacık dönüşümü daha sık kullanılmaktadır [32]. Ayrık dalgacık dönüşümünde ikilik ölçek ve zaman adımı kullanılmaktadır bu nedenle her bir bileşen iki ve ikinin katları şeklinde ölçek değerlerine ait zaman serilerine ayrılır. Denklem 3’de ayrık dalgacık dönüşümüne ait dalgacık fonksiyonu verilmiştir.

$$\Psi_{m,n} \left(\frac{t-\tau}{s} \right) = s_0^{-m/2} \Psi \left(\frac{t-n\tau_0 s_0}{s_0^m} \right) \quad (3)$$

Burada m ve n sırası ile dalgacığın ölçek ve zaman eksenindeki öteleme parametreleridir. s_0 sabit bir öteleme adımını ifade eder, τ_0 zaman eksenindeki öteleme aralığı değerini vermektedir. İkinin katları kullanılarak oluşturulan dalgacık fonksiyonu Denklem 4’deki gibi tanımlanabilir [31].

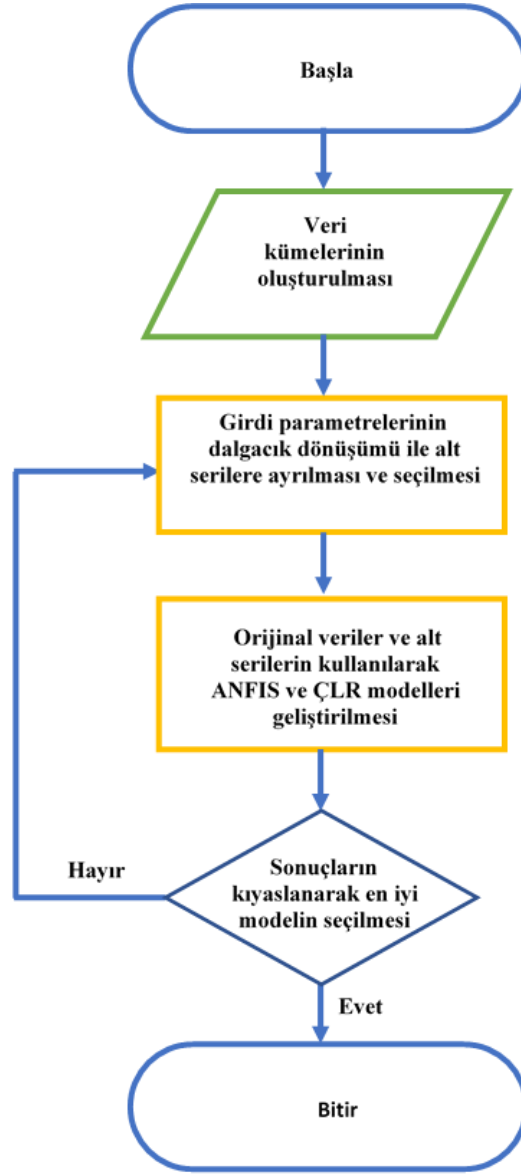
$$\Psi_{m,n}(t) = 2^{-m/2} \Psi(2^{-m}t - n) \quad (4)$$

D. ÇOKLU LİNEER REGRESYON

Çoklu regresyonun genel amacı, bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki ilişki hakkında daha fazla bilgi öğrenmektir. Doğrusal regresyon, bağımlı değişken Y ile onun belirleyicileri X_1, X_2, \dots, X_n arasındaki doğrusal bir ilişkinin varsayımına dayanır. Doğrusal regresyon, basit ve kolayca yorumlanabilen modeller sunar. Bununla birlikte, doğrusal olmayan ya da bağımlı olmayan bir ilişkinin varlığında zayıf tahmin eden yanlış modellerle sonuçlanabilir. Mikro-mimari olay etkileşiminin karmaşıklığı nedeniyle, doğrusal olmayan bir ilişkinin olması yaygındır. Doğrusal durumda, Y ve belirleyicileri arasındaki işlevsel ilişki, artık kareler toplamı en aza indirilerek tahmin edilir [33].

III. BULGULAR

Eğirdir Gölü’nün günlük tava buharlaşma değerlerini tahmin etmek için dalgacık dönüşüm tekniği (D), ANFIS ve çoklu lineer regresyon (ÇLR) yöntemleri kullanılarak modeller geliştirilmiştir. Modeller geliştirilirken izlenen adımları gösteren akış diyagramı Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3’ten görüldüğü gibi ilk olarak verilerin %80’i eğitim kümesine, kalan %20’si test kümesine ayrılarak veri kümeleri oluşturulmuştur.



Şekil 3. Akış diyagramı.

İkinci olarak, günlük tava buharlaşma tahmini için, hava sıcaklığı (T_a), su sıcaklığı (T_w), radyasyon (R_c), basınç (P_a), güneşlenme süresi (n), nisbi nem (R_h) ve rüzgar hızı (U_2) parametrelerinin orijinal serileri kullanılarak ANFIS ve ÇLR modelleri geliştirilmiştir. ANFIS modelleri geliştirilirken farklı girdi kombinasyonları ile geri yayılma ve hibrid ağ yapıları denenmiştir. Geliştirilen ANFIS modelleri içerisinde en uygun sonucu hibrid ağ yapısında R_h ve T_a parametreleri ile oluşturulan iki girdili model vermiştir ve bu modelin test kümesi için belirleyicilik katsayısı (R^2) 0,738 olarak bulunmuştur (Tablo 1). Ayrıca en uygun ANFIS modelinin girdi parametreleri olan R_h ve T_a ile ÇLR modeli geliştirilmiştir. Bu modelin R^2 değeri test kümesi için 0,666 olarak elde edilmiştir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında ise, R_h ve T_a girdi parametrelerine ayırık dalgacık dönüşümü uygulanmış ve bu değerler sekiz adet detay (2-4-8-16-32-64-128-256) ve bir adet yaklaşıklık bileşenine ayrılmıştır. Alt bileşenlerin oluşturulmasında, ayırık dalgacık dönüşüm tekniğinde en çok kullanılan Haar, DMeyer (dmey) ve Daubechies (db) dalgacıkları kullanılmıştır. Bu dalgacıklardan elde edilen alt bileşenlerin tek tek ve toplanmasıyla elde edilen girdi parametreleri ile buharlaşma parametresi arasında korelasyon değerleri incelenmiş ve en yüksek korelasyon değerlerine sahip alt bileşenler ile çeşitli girdi kombinasyonları oluşturularak D-ANFIS ve D-ÇLR modelleri geliştirilmiştir. En iyi modellere ait eğitim ve test kümeleri için karekök ortalama hata (KOH) ve R^2 değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Hem

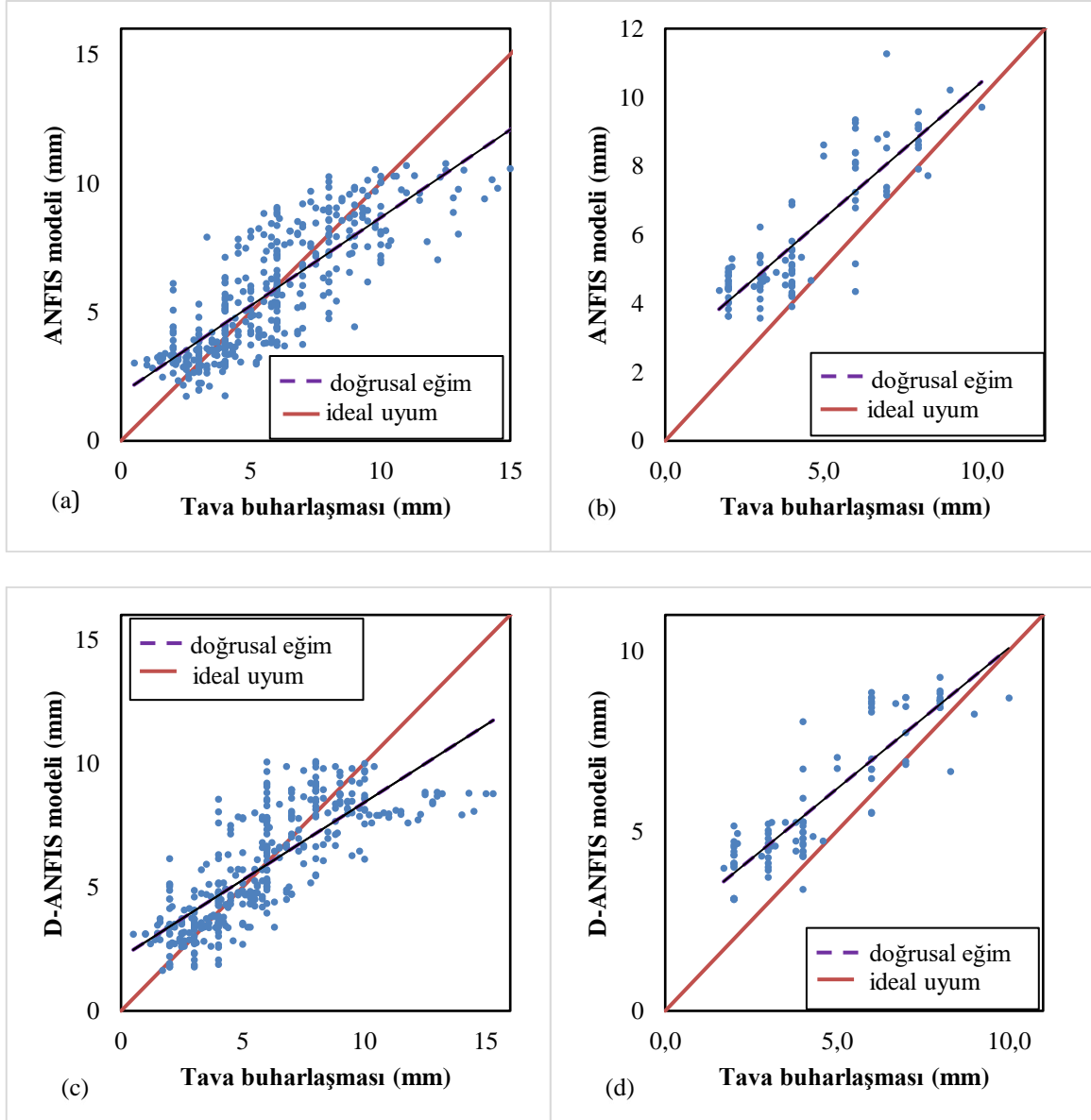
D-ANFIS hem de D-ÇLR modellerinde en uygun sonucu Haar dalgacığı vermiştir. Tablo 1'e göre en uygun sonucu veren $Rh_{(D6)} - Ta_{(D5+D6+D7)}$ alt bileşenleri ile elde edilen D-ANFIS ve D-ÇLR modellerinin test kümesi için R^2 değeri sırasıyla 0,777 ve 0,749 olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Eğitim ve test kümelerine ait model sonuçları.

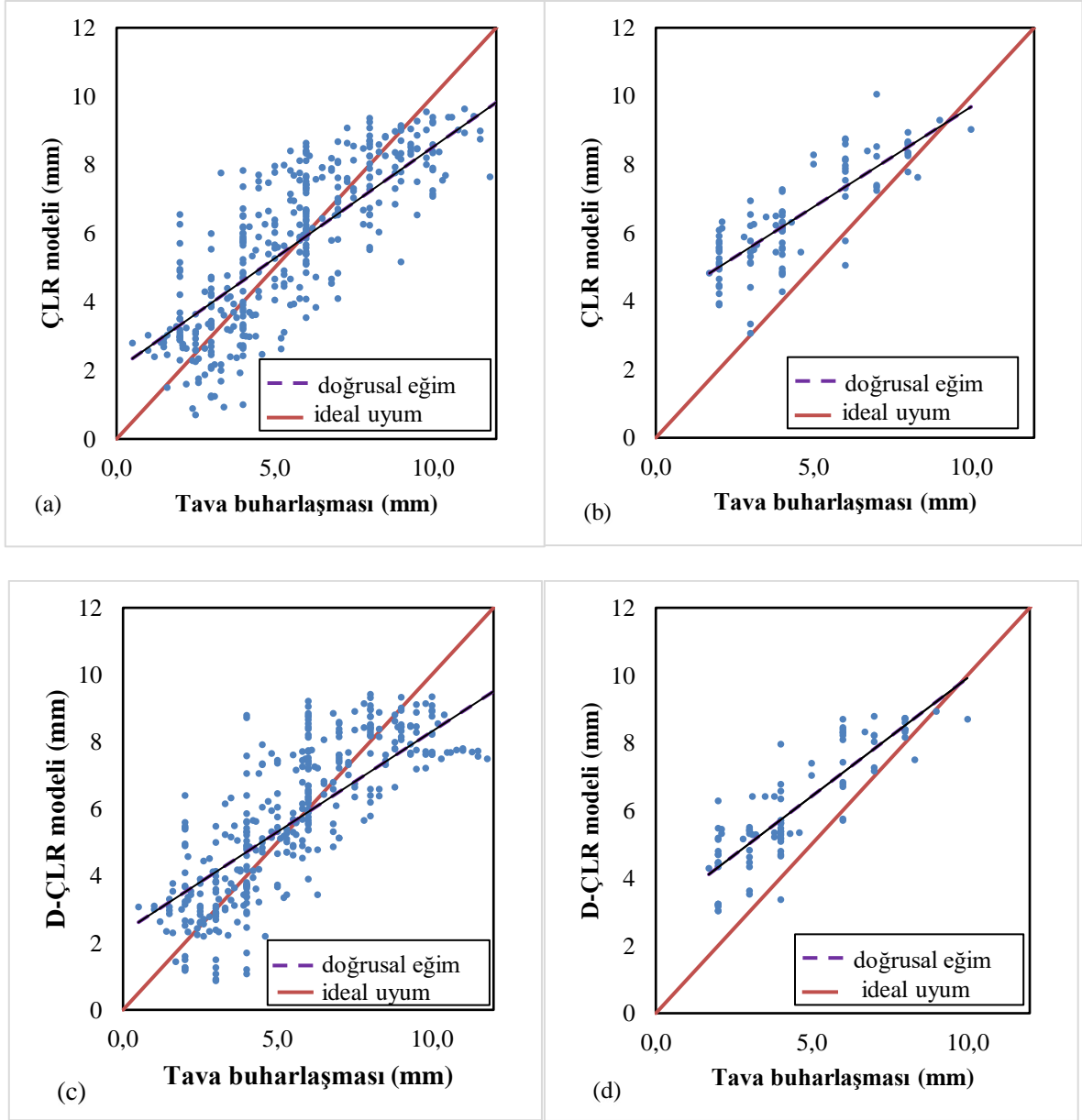
Modeller	Model girdileri	Eğitim kümesi		Test kümesi	
		R^2	KOH	R^2	KOH
ANFIS	Rh-Ta	0,683	1,63	0,738	1,91
D-ANFIS	$Rh_{(D6)} - Ta_{(D5+D6+D7)}$	0,627	1,77	0,777	1,62
ÇLR	Rh-Ta	0,649	1,70	0,666	2,34
D-ÇLR	$Rh_{(D6)} - Ta_{(D5+D6+D7)}$	0,599	1,82	0,749	1,91

Orijinal seri ile elde edilen ANFIS modelinin test kümesi için R^2 değeri 0,738 iken, dalgacık dönüşümü ile elde edilen alt bileşenlerle oluşturulan en uygun D-ANFIS modelinde R^2 değeri 0,777'e yükselmiştir. Aynı şekilde ÇLR modelinde 0,666 olan R^2 değeri, dalgacık dönüşümünden sonra 0,749 olmuştur. Ön işleme tekniklerinden biri olan dalgacık dönüşümünün uygulanması ile bu modellerin başarısının arttığı görülmüştür.

ANFIS ve D-ANFIS $Rh_{(D6)} - Ta_{(D5+D6+D7)}$ modelleri için eğitim ve test kümelerine ait saçılma diyagramları Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 5'te ise ÇLR ve D-ÇLR modellerine ait saçılma diyagramları verilmiştir. Ayrıca D-ANFIS modelinin D-ÇLR modelinden daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür ve D-ANFIS modeline ait zaman serisi Şekil 6'da verilmiştir.

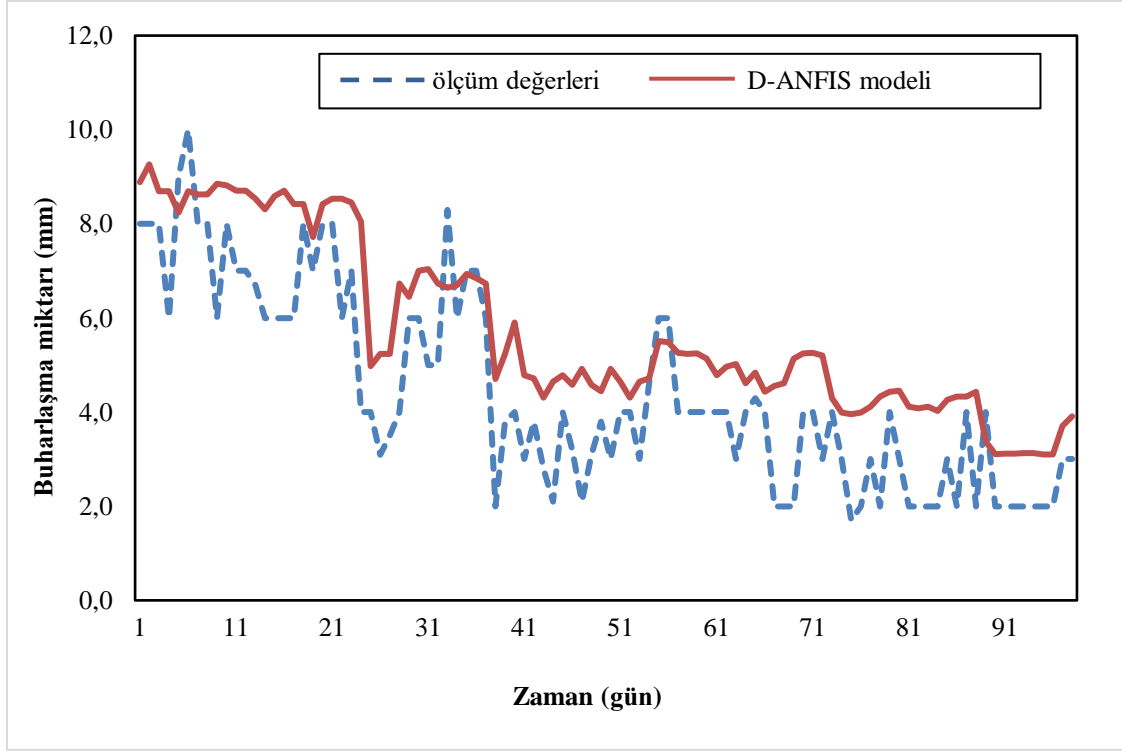


Şekil 4. Saçılma diyagramları a) eğitim kümesi için ANFIS modeli, b) test kümesi için ANFIS modeli, c) eğitim kümesi için D-ANFIS modeli, d) test kümesi için D-ANFIS modeli.



Şekil 5. Saçılma diyagramları a) eğitim kümesi için ÇLR modeli, b) test kümesi için ÇLR modeli, c) eğitim kümesi için D- ÇLR modeli, d) test kümesi için D- ÇLR modeli.

Şekil 4 ve 5 incelendiğinde, ANFIS ve ÇLR modellerine ait test kümelerinde doğrusal eğim, ideal uyumdan daha uzakken, D-ANFIS ve D-ÇLR modellerine ait test kümelerinde ise ideal uyuma daha yakındır. Dalgacık dönüşümü tekniğinin ANFIS ve ÇLR modellerinin performanslarını arttırdığı saçılma diyagramlarından da görülmektedir.



Şekil 6. D-ANFIS modelinin test kümesine ait zaman serisi

IV. SONUC

Hidrolojik çevrimin bir parametresi olan buharlaşmanın doğru bir şekilde tahmin edilmesi su kaynaklarının planlanması ve yönetimi için önemlidir. Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'ne ait buharlaşma tahmin modelleri geliştirmek için dalgacık dönüşümü, ANFIS ve ÇLR yöntemleri kullanılmıştır. İlk olarak, hava sıcaklığı (T_a), su sıcaklığı (T_w), radyasyon (R_c), basınç (P_a), güneşlenme süresi (n), nisbi nem (R_h) ve rüzgar hızı (U_2) parametreleri ile ANFIS ve ÇLR modelleri geliştirilmiştir. Daha sonra ANFIS ve ÇLR modellerinin performansını arttırmak için veri ön işleme tekniklerinden biri olan dalgacık dönüşüm tekniği ile girdi parametreleri alt bileşenlere ayrılmıştır. Bu alt bileşenler ile D-ANFIS ve D-ÇLR modelleri geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin sonuçları kıyaslandığında dalgacık dönüşüm tekniğinin ANFIS ve ÇLR modellerinin performanslarını arttırdığı ve en uygun sonucun D-ANFIS modelinin verdiği görülmüştür. Ülkemizin önemli tatlı su göllerinden biri olan Eğirdir Gölü'nün buharlaşma miktarının doğru tahmin edilebilmesine yönelik olan bu çalışma, içme ve sulama suyu projelerinin planlanması, su kaynakları yönetimi çalışmalarına katkı sağlayacaktır. Ayrıca yapılan bu çalışma, ileride gerçekleştirilecek olan su bütçe tahminleri çalışmalarına da ışık tutabilecektir.

V. KAYNAKLAR

- [1] N. Usul, "Mühendislik Hidrolojisi", *OTDÜ Yayıncılık*, Ankara, 418 s, 2008.
- [2] Ö. Kişi ve S. Afşar, "Yapay sinir ağı ve bulanık-yapay sinir ağı yöntemleri kullanılarak tava buharlaşma tahmini", *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, c. 3, s. 1, ss. 45-51, 2010.

- [3] K.K. Dindar, “Yapay sinir ağırları yaklaşımı ile Tahtaköprü Barajı’ndaki aylık buharlaşma miktarının tahmini”, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, Türkiye, 2010.
- [4] H. Sanikhani, O. Kisi, M. R. Nikpour and Y. Dinpashoh, “Estimation of daily pan evaporation using two different adaptive neuro-fuzzy computing techniques”, *Water Resources Management*, vol. 26, pp. 4347–4365, 2012.
- [5] C. Yerdelen, “Mevsimlik kar erimesinin yapay sinir ağırları yöntemi ile tahmin edilmesi”, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 21, s. 3, ss. 49-56, 2006.
- [6] Ö. Kişi and M. Tombul, “Modeling monthly pan evaporations using fuzzy genetic approach”, *Journal of Hydrology*, vol. 477, pp. 203-212, 2013.
- [7] A. Güven and O. Kişi, “Monthly pan evaporation modeling using linear genetic programming”, *Journal of Hydrology*, vol. 503, pp. 178–185, 2013.
- [8] S. Nacar, M. Kankal ve M.A. Hıms, “Çok değişkenli uyarlanabilir regresyon eğrileri (ÇDURE) ile günlük akarsu akımlarının tahmini-Haldizen Deresi örneği”, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 38-47, 2018.
- [9] E. Doğan, M. Gümrükcüoğlu, M. Sandalcı and M. Opan, “Modelling of evaporation from the reservoir of Yuvacik Dam using adaptive neuro-fuzzy inference systems”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 23, pp. 961–967, 2010.
- [10] V. Gümüş, O. Şimşek, G. Soydan, M.S. Aköz ve K. Yenigün, “Adana istasyonunda buharlaşmanın farklı yapay zeka yöntemleri ile tahmini”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 7, s. 2, ss. 309-318, 2016.
- [11] Ö. Kişi, “Daily pan evaporation modelling using a neuro-fuzzy computing technique”, *Journal of Hydrology*, vol. 329, pp. 636– 646, 2006.
- [12] H. Tabari, O. Kişi, A. Ezani and P.H. Talae, “SVM, ANFIS, regression and climate based models for reference evapotranspiration modeling using limited climatic data in a semi-arid highland environment”, *Journal of Hydrology*, vol. 444–445, pp. 78–89, 2012.
- [13] A. Moghaddamnia, M.G. Gousheh, J. Piri, S. Amin and D. Han, “Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques”, *Advances in Water Resources*, vol. 32, pp. 88–97, 2009.
- [14] M.K. Goyal, B. Bharti, J. Quilty, J. Adamowski and A. Pandey, “Modeling of daily pan evaporation in sub tropical climates using ANN, LS-SVR, Fuzzy Logic, and ANFIS”, *Expert Systems with Applications*, vol. 41, pp. 5267–5276, 2014.
- [15] A. Özel and M. Büyükyıldız, “Aylık Buharlaşma Tahmininde Yapay Zeka Yöntemlerinin Kullanılabilirliği”, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 8, s. 1, ss. 244-254, 2019.
- [16] S. Deswal and M. Pal, “Modeling of Pan Evaporation Using Support Vector Machines Algorithm”, *Journal of Hydrologic Engineering*, vol. 14, no.1, pp. 104-116, 2008.
- [17] V. Nourani, M.T. Alami and F.D.Vousoughi, “Wavelet-entropy data pre-processing approach for ANN-based groundwater level modeling”, *Journal of Hydrology*, vol. 524, pp. 255–269, 2015.

- [18] S.P. Yu, J.S. Yang and G.M. Liu, “A novel discussion on two long-term forecast mechanisms for hydro-meteorological signals using hybrid wavelet-NN model”, *Journal of Hydrology*, vol. 497, pp. 189-197, 2013.
- [19] J. Shiri and O. Kişi, “Short-term and long-term streamflow forecasting using a wavelet and neuro-fuzzy conjunction model”, *Journal of Hydrology*, vol. 394, pp. 486–493, 2010.
- [20] T. Partal and O. Kişi, “Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting”, *Journal of Hydrology*, vol. 342, pp. 199–212, 2007.
- [21] Y. Seo, S. Kim, O. Kişi and V.P. Singh, “Daily water level forecasting using wavelet decomposition and artificial intelligence techniques”, *Journal of Hydrology*, vol. 520, pp. 224–243, 2015.
- [22] S.N. Qasem, S. Samadianfard, S. Kheshtgar, S. Jarhan, O. Kisi, S. Shamsheer and K.W. Chau, “Modeling monthly pan evaporation using wavelet support vector regression and wavelet artificial neural networks in arid and humid climates”, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 13, no. 1, pp. 177-187, 2019.
- [23] A. Aksoy, B.B. Dıvrak, Ç. Göcek, D. Öztok ve E. Sütü, “Eğirdir Gölü’nde kirlilik durumu ve kirlilik kaynakları modelleme çalışması raporu”, *Yedi Renkli Göle Yedi Renkli Hayat Projesi*, 2013.
- [24] M. Ö. Berke. (2019, 04 Ekim). Eğirdir Gölü (Çevrimiçi). Erişim: https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/doga_koruma/doal_alanlar/egirdir_golu/.
- [25] İl Haritası. (2019, 04 Ekim). Isparta İli Haritası (Çevrimiçi). Erişim: <http://ilharitasi.blogspot.com/2013/02/isparta-haritas.html>.
- [26] J.S.R. Jang, C.T. Sun and E. Mizutani, “Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence [Book Review]”, *IEEE Transactions on automatic control*, vol. 42, no. 10, pp. 1482-1484, 1997.
- [27] O. Doğan, “Uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sisteminin (ANFIS) talep tahmini için kullanımı ve bir uygulama”, *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, c. 31, s. 1, ss. 257-288, 2016.
- [28] Ö. Demirel, A. Kakilli ve M. Tektaş, “ANFIS ve ARMA modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 25, s. 3, ss.601-610, 2010.
- [29] A. Tascikaraoglu, B.M. Sanandaji, K. Poolla and P. Varaiya, “Exploiting sparsity of interconnections in spatio-temporal wind speed forecasting using wavelet transform”, *Applied Energy*, vol. 165, no. 1, pp. 735-747, 2016.
- [30] G. Strang and T. Nguyen, “Wavelets and filter banks”, *Wellesley-Cambridge Press*, 1996.
- [31] T. Partal, E. Kâhya and K. Cıgızoğlu, “Yağış verilerinin yapay sinir ağları ve dalgacık dönüşümü yöntemleri ile tahmini”, *itüdergisi/d mühendislik*, c. 7, s. 3, ss. 73-85, 2008.
- [32] M. Uyar, S. Yıldırım ve M.T. Gençoğlu “Güç kalitesi bozulmalarının sınıflandırılmasında dalgacık dönüşümüyle enerji dağılımına dayalı özelliklerin incelenmesi”, *Elektrik Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği 12. Ulusal Kongre ve Sergisi*, 2007, ss. 1-5.
- [33] Ö. Terzi and T. Baykal, “Data mining process for river suspended sediment estimation”, *SDU International Journal of Technological Science*, vol. 8, no. 3, pp. 19-26, 2016



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

$A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ Banach Uzayı Üzerindeki Bazı Yeni Sonuçlar

 Nilay DEĞİRMEN^{a,*}

^a *Matematik Bölümü, Fen Edebiyat Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, TÜRKİYE*

* *Sorumlu yazarın e-posta adresi: nilay.sager@omu.edu.tr*

DOI: 10.29130/dubited.866704

ÖZ

G bir ünimodüler yerel kompakt grup ve $p = \min\{p_1, p_2\}$ olmak üzere $w \in B_p$ olsun. Bu çalışmada, $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayının indislerin değişmesi durumunda kapsama özellikleri incelenmiştir. Ayrıca w ağırlığının bazı özel şartları sağlaması durumunda $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayı için $\Lambda_G^1(w)$ ağırlıklı Lorentz uzayında bir yaklaşık birim elde edilmiş ve $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayının bir Banach sağ $\Lambda_G^1(w)$ – modül olduğu ispatlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Ağırlık, Banach Sağ A – Modül, Girişim Operatörü, Yaklaşık Birim*

Some New Results on the Banach Space $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$

ABSTRACT

Let G be a unimodular locally compact group and $w \in B_p$ where $p = \min\{p_1, p_2\}$. In this work, in the case of changing indices, the inclusion properties of the space $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ have been examined. Also, if the weight w provides some special conditions, an approximate identity for the space $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ has been obtained in the weighted Lorentz space $\Lambda_G^1(w)$ and it has been proved that the space $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ is a Banach right $\Lambda_G^1(w)$ – module.

Keywords: *Weight, Banach Right A – Module, Convolution Operator, Approximate Identity*

I. GİRİŞ

Lebesgue uzaylarının genellemeleri olarak Lorentz [1,2] tarafından tanımlanan Lorentz uzayları matematiksel analiz, harmonik analiz, interpolasyon teorisi gibi pek çok dalında önemli rol oynar. Bu uzaylar çeşitli topolojik, fonksiyonel ve geometrik özellikleri sayesinde birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve farklı alanlardaki çeşitli uygulamaları [3,4,5,6] ile popüler bir araştırma konusu olmuştur.

Avcı ve Gürkanlı [7] 2007 yılında, Lorentz uzaylarını kullanarak G yerel kompakt abel grup, $1 < p_1, p_2 < \infty$ ve $1 \leq q_1, q_2 \leq \infty$ olmak üzere bir $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G)$ uzayı tanımlamış ve bu uzay üzerinde bir norm elde etmiştir. Ayrıca yine Avcı ve Gürkanlı [7], her $h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G)$ için $L^1(G)$ uzayında belirli bazı şartları sağlayan $\{a_\alpha\}$ ve $\{b_\beta\}$ yaklaşım birimlerinin varlığını ispatlamış ve $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G)$ uzayının $L^1(G)$ üzerinde bir Banach modülü olduğunu elde etmiştir.

Li ve Sun [8] ise 2012 yılında, Carro, Raposo ve Soria [9] tarafından 2007 yılında tanımlanan ağırlıklı Lorentz uzaylarını ele alarak G ünimodüler yerel kompakt grup, $C > 0$ iken $W(t) \geq Ct$, $w \in B_{1, \infty}$ ve $1 < p < \infty$, $1 \leq q < \infty$ olmak üzere her $f \in \Lambda_G^{p, q}(w)$ için $f * a_\alpha \rightarrow f$ ve $\|a_\alpha\|_{\Lambda_G^1(w)} = 1$ olacak şekilde $\Lambda_G^1(w)$ da bir $\{a_\alpha\}$ yaklaşık biriminin var olduğunu ispatlamıştır. Ayrıca yine Li ve Sun [8], $1 < p < \infty$, $1 \leq q < \infty$, $w \in B_{1, \infty}$ ya da $p = q = 1$, $w \in B_1$ ve c bir sabit iken $w \geq c > 0$ olmak üzere $\Lambda_G^{p, q}(w)$ ağırlıklı Lorentz uzayının bir sağ $\Lambda_G^1(w)$ -modül olduğunu göstermiştir.

Değirmen ve Değirmen [10] 2021 yılında, Li ve Sun [8] tarafından tanımlanan $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayının Banach uzay olduğunu elde ederek bu makalenin zeminini oluşturmuştur.

Buradan yola çıkarak, bu çalışmada, Avcı ve Gürkanlı [7] nin kullandığı yöntemlerle G ünimodüler yerel kompakt grup, $p = \min\{p_1, p_2\}$ ve $w \in B_p$ olmak üzere Li ve Sun [8] tarafından tanımlanan $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayının q_1 ve q_2 sayılarının değişimine göre kapsama özellikleri, $C > 0$ iken $W(t) \geq Ct$ ve $w \in B_{1, \infty}$ olması durumunda yaklaşık birim özelliği ve Banach sağ $\Lambda_G^1(w)$ -modül yapısı incelenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

Tanım 2.1. A, F cismi üzerinde bir cebir, M, F cismi üzerinde bir lineer uzay olsun. Bir $A \times M \rightarrow M, (a, m) \rightarrow am$ ($M \times A \rightarrow M, (m, a) \rightarrow ma$) dönüşümü aşağıdaki özellikleri sağlarsa M lineer uzayına bir sol (sağ) A -modül, $A \times M \rightarrow M, (a, m) \rightarrow am$ ($M \times A \rightarrow M, (m, a) \rightarrow ma$) dönüşümüne de modül çarpımı denir.

i) Her bir sabitlenmiş $a \in A$ için $m \rightarrow am$ ($m \rightarrow ma$) dönüşümü M üzerinde lineerdir.

ii) Her bir sabitlenmiş $m \in M$ için $a \rightarrow am$ ($a \rightarrow ma$) dönüşümü A üzerinde lineerdir.

iii) Her $a_1, a_2 \in A$ ve her $m \in M$ için $a_1(a_2m) = (a_1a_2)m$ ($(ma_1)a_2 = m(a_1a_2)$) dir.

M lineer uzayı hem sol hem de sağ A -modül ise M ye bir A -bimodül denir. Burada modül çarpımı her $a, b \in A$ ve her $m \in M$ için $a(mb) = (am)b$ şeklindedir [11].

Tanım 2.2. A, F cismi üzerinde bir normlu cebir, M, F cismi üzerinde bir normlu lineer uzay olsun. Eğer M bir sol (sağ) A -modül ve her $a \in A$ ve her $m \in M$ için $\|am\| \leq K \|a\| \|m\|$ ($\|ma\| \leq K \|m\| \|a\|$) olacak şekilde pozitif bir K sabiti varsa M lineer uzayına bir normlu sol (sağ) A -modül denir. M lineer uzayı hem normlu sol A -modül hem de normlu sağ A -modül ise M ye bir normlu A -bimodül denir. Bir normlu sol (sağ) A -modül bir normlu lineer uzay olarak tam ise bu modüle bir Banach sol (sağ) A -modül denir. M lineer uzayı hem Banach sol A -modül hem de Banach sağ A -modül ise M ye bir Banach A -bimodül denir [11].

Tanım 2.3. $(A, \|\cdot\|)$ normlu cebirinde bir $(e_\alpha)_{\alpha \in I}$ ağı verilmiş olsun. Eğer her $x \in A$ için $\lim_{\alpha \in I} e_\alpha x = x$ oluyorsa $(e_\alpha)_{\alpha \in I}$ ağına A normlu cebiri için sol yaklaşık birim, her $x \in A$ için $\lim_{\alpha \in I} x e_\alpha = x$ oluyorsa $(e_\alpha)_{\alpha \in I}$ ağına A normlu cebiri için sağ yaklaşık birim denir. Eğer her $x \in A$ için $\lim_{\alpha \in I} e_\alpha x = \lim_{\alpha \in I} x e_\alpha = x$ oluyorsa $(e_\alpha)_{\alpha \in I}$ ağına A normlu cebiri için yaklaşık birim denir [12].

Tanım 2.4. X, Y ve Z aynı F cismi üzerinde üç normlu lineer uzay olsun. Bir $\phi: X \times Y \rightarrow Z$ dönüşümü verilsin. Eğer aşağıdaki özellikler sağlanırsa ϕ dönüşümüne bilineer dönüşüm denir.

- i) Her $y \in Y$ için $x \rightarrow \phi(x, y)$ dönüşümü lineerdir.
- ii) Her $x \in X$ için $y \rightarrow \phi(x, y)$ dönüşümü lineerdir.

Eğer her $x \in X$ ve her $y \in Y$ için $\|\phi(x, y)\| \leq M \|x\| \|y\|$ olacak şekilde pozitif bir M sayısı varsa ϕ bilineer dönüşümüne sınırlıdır denir. ϕ dönüşümünün normu; $\|\phi\| = \sup \{\|\phi(x, y)\| : \|x\| \leq 1, \|y\| \leq 1\}$ ile tanımlanır [11].

Tanım 2.5. X ve Y , F cismi üzerinde iki normlu uzay, X' ve Y' de sırasıyla X ve Y nin dual uzayları olsun. $X' \times Y'$ uzayından F cisminde tanımlı bütün sınırlı, bilineer dönüşümlerin Banach uzayını $BL(X', Y'; F)$ ile gösterelim. Herhangi bir $x \in X$ ve $y \in Y$ verilsin. $x \otimes y$, $BL(X', Y'; F)$ nin $f \in X'$ ve $g \in Y'$ olmak üzere $x \otimes y(f, g) = f(x) \cdot g(y)$ ile tanımlı elemanı olsun. $\{x \otimes y : x \in X, y \in Y\}$ kümesinin $BL(X', Y'; F)$ uzayında gerdiği uzaya X ve Y nin cebirsel tensör çarpımı denir ve $X \otimes Y$ ile gösterilir [11].

Teorem 2.6. Bir $\phi: X \times Y \rightarrow Z$ bilineer dönüşümü verildiğinde her $x \in X$ ve her $y \in Y$ için $\sigma(x \otimes y) = \phi(x, y)$ olacak şekilde bir tek $\sigma: X \otimes Y \rightarrow Z$ lineer dönüşümü vardır [11].

Tanım 2.7. X ve Y iki normlu uzay olsun. $X \otimes Y$ cebirsel tensör çarpımı üzerinde γ projektif tensör normu; $\gamma(u) = \inf \left\{ \sum_i \|x_i\| \|y_i\| : u = \sum_i x_i \otimes y_i \right\}$ ile tanımlanır. Burada infimum u nun tüm sonlu gösterimleri üzerinden alınır. $X \otimes Y$ uzayının γ normuna göre tamlamasına X ve Y uzaylarının projektif tensör çarpımı denir ve $X \otimes_\gamma Y$ ile gösterilir. Projektif tensör çarpım uzayının her u elemanı

$$\sum_{i=1}^{\infty} \|x_i\| \|y_i\| < \infty \text{ olmak üzere } u = \sum_{i=1}^{\infty} x_i \otimes y_i \text{ şeklindedir [11].}$$

Tanım 2.8. (X, μ) , $(\bar{X}, \bar{\mu})$ ve (Y, \mathcal{G}) üç ölçüm uzayı olsun. Bir T operatörü X ve \bar{X} üzerinde tanımlı basit fonksiyon çiftlerini Y üzerinde tanımlı negatif olmayan ölçülebilir fonksiyonlara dönüştürsün. Eğer f, f_1, f_2 ve g, g_1, g_2 basit fonksiyonları için aşağıdaki koşullar sağlanırsa bu T operatörüne pozitif girişim operatörü denir.

- i) $\|T(f, g)\|_1 \leq \|f\|_1 \|g\|_1$
- ii) $\|T(f, g)\|_\infty \leq \|f\|_1 \|g\|_\infty$
- iii) $\|T(f, g)\|_\infty \leq \|f\|_\infty \|g\|_1$
- iv) $T(f_1 + f_2, g) = T(f_1, g) + T(f_2, g)$
- v) $T(f, g_1 + g_2) = T(f, g_1) + T(f, g_2)$ [13].

Tanım 2.9. (X, μ) bir ölçüm uzayı ve $\mathcal{M}(X, \mu)$, X üzerinde hemen hemen her yerde sonlu olan ölçülebilir fonksiyonların sınıfı olsun. $f \in \mathcal{M}(X, \mu), 0 < \lambda < \infty$ için

$$\mu_f(\lambda) = \mu(x \in X : |f(x)| > \lambda)$$

f fonksiyonunun dağılım (veya distribüsyon) fonksiyonu olmak üzere $0 < t < \infty$ için

$$f^*(t) = \inf \{ \lambda : \mu_f(\lambda) \leq t \} = \sup \{ \lambda : \mu_f(\lambda) > t \}$$

eşitliği ile tanımlı f^* fonksiyonuna f fonksiyonunun rearrangementi, $0 < t < \infty$ için

$$f^{**}(t) = \frac{1}{t} \int_0^t f^*(s) ds$$

ile tanımlı f^{**} fonksiyonuna da f fonksiyonunun ortalama (averaj) fonksiyonu denir. μ_f, f^* ve f^{**} fonksiyonları pozitif tanımlı, artmayan, sağdan sürekli fonksiyonlardır.

$0 < p, q < \infty$ olduğunu kabul edelim. $L^{p,q}(X)$ Lorentz uzayı,

$$\|f\|_{L^{p,q}(X)} = \left(\int_0^\infty \left(t^{1/p} f^*(t) \right)^q \frac{dt}{t} \right)^{1/q} < \infty$$

olacak şekildeki tüm $f \in \mathcal{M}(X, \mu)$ fonksiyonlarının sınıfı olarak tanımlanır. $0 < p \leq \infty$ için $L^{p,\infty}(X)$ uzayı,

$$\|f\|_{L^{p,\infty}(X)} = \sup_{t>0} t^{1/p} f^*(t) < \infty$$

olacak şekildeki tüm $f \in \mathcal{M}(X, \mu)$ fonksiyonlarının sınıfı olarak tanımlanır.

$L^{p,q}(X)$ Lorentz uzayı üzerinde

$$\|f\|_{L^{p,q}(X)}^* = \begin{cases} \left(\frac{q}{p} \int_0^\infty \left(t^{1/p} f^{**}(t) \right)^q \frac{dt}{t} \right)^{1/q}, & 0 < p < \infty, 0 < q < \infty \\ \sup_{t>0} t^{1/p} f^{**}(t), & 0 < p \leq \infty, q = \infty \end{cases}$$

ile tanımlı $\|\cdot\|_{L^{p,q}(X)}^*$ fonksiyonu bir normdur. Ayrıca $L^{1,1}(X)$ ve $1 < p \leq \infty$, $1 \leq q \leq \infty$ için $L^{p,q}(X)$ uzayı $\|\cdot\|_{L^{p,q}(X)}^*$ normuna göre bir Banach uzayıdır [14]. Üstelik $1 < p < \infty$, $0 < q \leq \infty$ için $C(p,q)$, p ve q ya bağlı bir sabit olmak üzere $\|f\|_{L^{p,q}(X)} \leq \|f\|_{L^{p,q}(X)}^* \leq C(p,q) \|f\|_{L^{p,q}(X)}$ eşitsizliği gerçekleşir [13].

Tanım 2.10. \square^+ üzerinde tanımlı negatif olmayan yerel integrallenebilir fonksiyona, yani hemen hemen her yerde $(0, \infty)$ da değerler alan fonksiyona \square^+ da bir ağırlık fonksiyonu denir ve w ile gösterilir [9].

$(X, \mu) = (\square^+, w(t)dt)$ alırsak; $0 \leq \lambda < \infty$ için

$$\mu_f(\lambda) = \mu(x \in \square^+ : |f(x)| > \lambda) = w(x \in \square^+ : |f(x)| > \lambda) = \int_{\{x \in \square^+ : |f(x)| > \lambda\}} w(x) d\mu(x)$$

ve $0 < t < \infty$ için $f^*(t) = \inf \{ \lambda : \mu_f(\lambda) \leq t \}$ olur. Böylece $L^{p,q}(X, \mu) = L^{p,q}(\square^+, w(t)dt)$ uzayı elde edilir ve bu uzay $L^{p,q}(w)$ ile gösterilir. $0 < p, q < \infty$ veya $0 < p \leq \infty, q = \infty$ için $\Lambda_X^{p,q}(w)$ ağırlıklı Lorentz uzayı Carro, Raposo ve Soria [9] tarafından

$$\Lambda_X^{p,q}(w) = \left\{ f \in \mathcal{M}(X, \mu) : \|f\|_{\Lambda_X^{p,q}(w)} = \|f^*\|_{L^{p,q}(w)} < \infty \right\}$$

olarak tanımlanır. $p = q$ olması durumunda

$$\Lambda_X^{p,p}(w) = \left\{ f \in \mathcal{M}(X, \mu) : \|f\|_{\Lambda_X^{p,p}(w)} = \|f^*\|_{L^{p,p}(w)} = \|f^*\|_{L^p(w)} < \infty \right\}$$

uzayı elde edilir. Burada

$$\|f^*\|_{L^p(\square^+, w)} = \left[\int_{\square^+} |f^*(t)|^p (w(t))^p dt \right]^{1/p} \neq \left[\int_X |f(x)|^p (w(x))^p dx \right]^{1/p} = \|f\|_{L^p(X, w)}$$

olduğundan $\Lambda_X^{p,p}(w) \neq L^p(X, w)$ dir. $\Lambda_X^{p,p}(w)$ uzayı $\Lambda_X^p(w)$ ile gösterilir. $w=1$ olması durumunda

$$\Lambda_X^{p,q}(1) = \left\{ f \in \mathcal{M}(X, \mu) : \|f\|_{\Lambda_X^{p,q}(1)} = \|f^*\|_{L^{p,q}(1)} < \infty \right\}$$

ve $\mu_{f^*} = \mu_f$ eşitliği kullanıldığında

$$\|f^*\|_{L^{p,q}(\mathbb{R}^+, \mu)} = \|f^*\|_{L^{p,q}(\mathbb{R}^+, \mu)} = \left(\int_0^\infty \left(t^{1/p} (f^*)^*(t) \right)^q \frac{dt}{t} \right)^{1/q} = \left(\int_0^\infty \left(t^{1/p} f^*(t) \right)^q \frac{dt}{t} \right)^{1/q} = \|f\|_{L^{p,q}(X)}$$

olduğundan $\Lambda_X^{p,q}(1) = L^{p,q}(X)$ dir [9].

$\Lambda_X^{p,q}(w)$ uzayının dualini ifade etmek için Lorentz uzaylarının başka bir çeşidi olan Γ tanımlanmıştır.

Tanım 2.11. A operatörü; $f \in \mathcal{M}^+(0, \infty)$ ve $t > 0$ olmak üzere $Af(t) = \frac{1}{t} \int_0^t f(s) ds$ ile tanımlı

Hardy operatörü olsun. $0 < p < \infty$ için

$$\Gamma_X^p(w) = \left\{ f \in \mathcal{M}(X, \mu) : \|f\|_{\Gamma_X^p(w)} = \left(\int_0^\infty (f^{**}(t))^p w(t) dt \right)^{1/p} < \infty \right\}$$

ve $0 < p, q < \infty$ için $W(t) = \int_0^t w(s) ds$ olmak üzere

$$\Gamma_X^{p,q}(w) = \Gamma_X^q \left(W^{q-1} w \right)$$

tanımlanır. Burada $\|f\|_{\Gamma_X^{p,q}(w)} = \|f\|_{\Gamma_X^q \left(W^{q-1} w \right)} = \left(\int_0^\infty (f^{**}(t))^q W^{q-1}(t) w(t) dt \right)^{1/q}$ dur [9].

Tanım 2.12. $0 < p < \infty$, L_{dec}^p ; L^p de negatif olmayan artmayan fonksiyonların sınıfı, $L_{dec}^{p,\infty}$; $L^{p,\infty}$ da negatif olmayan artmayan fonksiyonların sınıfı olmak üzere $A: L_{dec}^p(w) \rightarrow L^p(w)$ Hardy operatörü sınırlı ise $w \in B_p$, $A: L_{dec}^{p,\infty}(w) \rightarrow L^{p,\infty}(w)$ Hardy operatörü sınırlı ise $w \in B_{p,\infty}$ ile gösterilir [9].

$1 < p < \infty$ için $B_p = B_{p,\infty}$ eşitliği vardır [15,16].

Arino ve Muckenhoupt, 1990 yılında $1 \leq p < \infty$ olmak üzere $w \in B_p$ olması için gerekli ve yeterli

şartın $\int_t^\infty \frac{w(x)}{x^p} dx \leq \frac{C}{t^p} \int_0^t w(x) dx$ eşitsizliğinin sağlanması olduğunu göstermiştir [17].

Carro, Garcia ve Soria, 1996 yılında $w \in B_{1,\infty}$ olması için gerekli ve yeterli şartın $s \leq t$ iken

$\frac{1}{t} \int_0^t w(x) dx \leq C \cdot \frac{1}{s} \int_0^s w(x) dx$ eşitsizliğinin sağlanması olduğunu elde etmiştir [15].

Örnek 2.13. $0 < a < 1, 0 < b < \infty$ olmak üzere $w(x) = x^{-a} + b$ ile tanımlı w ağırlık fonksiyonu $B_{1,\infty}$ sınıfına aittir, ancak B_1 sınıfına ait değildir.

Çözüm:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{t} \int_0^t w(x) dx &= \frac{1}{t} \int_0^t (x^{-a} + b) dx = \frac{1}{t} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \int_{\varepsilon}^t (x^{-a} + b) dx \\
 &= \frac{1}{t} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \left(\frac{x^{1-a}}{1-a} + bx \right) \Big|_{\varepsilon}^t \\
 &= \frac{1}{t} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \left[\left(\frac{t^{1-a}}{1-a} + bt \right) - \left(\frac{\varepsilon^{1-a}}{1-a} + b\varepsilon \right) \right] \\
 &= \frac{t^{-a}}{1-a} + b
 \end{aligned}$$

ve benzer şekilde $\frac{1}{s} \int_0^s w(x) dx = \frac{s^{-a}}{1-a} + b$ dir. $s \leq t$ iken $t^{-a} \leq s^{-a}$ olacağından

$\frac{1}{s} \int_0^s w(x) dx \leq \frac{1}{t} \int_0^t w(x) dx$ elde edilir. Böylece istenen eşitsizlik sağlanmış olur. Yani $w \in B_{1,\infty}$ dur.

Ancak

$$\begin{aligned}
 \int_t^{\infty} \frac{w(x)}{x} dx &= \int_t^{\infty} \frac{x^{-a} + b}{x} dx \\
 &= \lim_{R \rightarrow \infty} \int_t^R x^{-a-1} + b \frac{1}{x} dx \\
 &= \lim_{R \rightarrow \infty} \left(\frac{x^{-a}}{-a} + b \ln x \right) \Big|_t^R \\
 &= \lim_{R \rightarrow \infty} \left[\left(\frac{R^{-a}}{-a} + b \ln R \right) - \left(\frac{t^{-a}}{-a} + b \ln t \right) \right] = \infty
 \end{aligned}$$

ve $\frac{1}{t} \int_0^t w(x) dx = \frac{t^{-a}}{1-a} + b$ olduğundan $\int_t^{\infty} \frac{w(x)}{x} dx \leq \frac{c}{t} \int_0^t w(x) dx$ olacak şekilde $c > 0$ yoktur. Bu yüzden $w \notin B_1$ dir.

Tanım 2.14. G bir yerel kompakt grup olmak üzere G üzerinde tanımlı ve aşağıdaki koşulları sağlayan pozitif, regüler μ Borel ölçümüne sol (sağ) Haar ölçümü denir.

- i) Her $E \subset G$ kompakt kümesi için $\mu(E) < \infty$ dir.
- ii) Her $E \subset G$ Borel kümesi ve her $x \in G$ için $\mu(xE) = \mu(E)$ ($\mu(Ex) = \mu(E)$) dir [18].

Her yerel kompakt grup bir sol Haar ölçümüne sahiptir [18].

Tanım 2.15. G bir yerel kompakt grup ve μ , G üzerinde tanımlı sol Haar ölçümü olsun. Eğer μ sol Haar ölçümü aynı zamanda sağ Haar ölçümü ise G grubuna ünimodüler grup denir [18].

G değişmeli, diskret veya kompakt bir grup ise ünimodülerdir [18].

Tanım 2.16. (X, Σ, μ) bir ölçüm uzayı ve $A \in \Sigma$ olsun. Eğer aşağıdaki koşullar sağlanırsa A kümesine bir atom denir.

i) $\mu(A) > 0$ dır.

ii) $B \subset A$ olan herhangi bir $B \in \Sigma$ için $\mu(B) = 0$ veya $\mu(A) = \mu(B)$ dır.

Eğer pozitif ölçümlü her ölçülebilir küme bir atom içerirse μ ölçümüne atomik ölçüm, μ için Σ de hiçbir atom bulunamıyorsa μ ölçümüne atomik olmayan ölçüm denir. μ atomik bir ölçüm ise (X, Σ, μ) ölçüm uzayına atomik ölçüm uzayı, μ atomik olmayan bir ölçüm ise (X, Σ, μ) ölçüm uzayına atomik olmayan ölçüm uzayı denir [19].

Tanım 2.17. (X, Σ, μ) bir ölçüm uzayı olmak üzere her $n \in \mathbb{N}$ için $\mu(E_n) < \infty$ ve $X = \bigcup_{n=1}^{\infty} E_n$ olacak şekilde bir $(E_n) \subset \Sigma$ küme dizisi varsa (X, Σ, μ) uzayına σ -sonlu ölçüm uzayı denir [19].

Lemma 2.18, Lemma 2.19, Teorem 2.20 ve Teorem 2.21 de G bir yerel kompakt grup, λ, G nin bir sol Haar ölçümü ve (G, λ) , σ -sonlu atomik olmayan ölçüm uzayı olarak alınacaktır.

Lemma 2.18. G bir ünimodüler yerel kompakt grup, T bir girişim operatörü, $0 < p_1, p_2, q_1, q_2 < \infty$, $\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} > 1$, c bir sabit olmak üzere $w \geq c > 0$, $p = \min\{p_1, p_2\}$ olmak üzere $w \in B_p$ ve

$f \in \Lambda^{p_1, q_1}(w), g \in \Lambda^{p_2, q_2}(w)$ için $k = T(f, g) = f * g$ olsun. O halde $\frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} = 1 + \frac{1}{r}$, $s \geq 1$ ve

$\frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} \geq \frac{1}{s}$ olmak üzere $k \in \Lambda^{r, s}(w)$ ve $\|k\|_{\Lambda^{r, s}(w)} \leq C \cdot \|f\|_{\Lambda^{p_1, q_1}(w)} \|g\|_{\Lambda^{p_2, q_2}(w)}$ dır [8].

Lemma 2.19. $C > 0$ olmak üzere $W(t) \geq Ct$, $w \in B_{1, \infty}$ ve $1 < p < \infty, 1 \leq q < \infty$ olsun. O halde her $f \in \Lambda_G^{p, q}(w)$ için $f * a_\alpha \rightarrow f$ ve $\|a_\alpha\|_{\Lambda_G^1(w)} = 1$ olacak şekilde $\Lambda_G^1(w)$ da bir $\{a_\alpha\}$ yaklaşık birimi vardır [8].

Teorem 2.20. G bir ünimodüler yerel kompakt grup, $1 < p < \infty, 1 \leq q < \infty, w \in B_{1, \infty}$ ya da $p = q = 1, w \in B_1$ ve c bir sabit olmak üzere $w \geq c > 0$ olsun. O halde $\Lambda_G^{p, q}(w)$ ağırlıklı Lorentz uzayı $f \in \Lambda_G^{p, q}(w), \varphi \in \Lambda_G^1(w)$ için $(f, \varphi) \rightarrow \tilde{\varphi} * f$ dönüşümü ile birlikte bir sağ $\Lambda_G^1(w)$ -modüldür [8].

Teorem 2.21. $0 < p < \infty$ ve $0 < q_1 \leq q_2 < \infty$ ise $\Lambda_G^{p, q_1}(w) \subset \Lambda_G^{p, q_2}(w)$ dir [9].

Bu kesimin devamında ve bulgular bölümünde G bir ünimodüler yerel kompakt grup, λ, G nin bir sol Haar ölçümü ve (G, λ) , σ -sonlu atomik olmayan ölçüm uzayı,

$$\begin{aligned} & 1 < p_1, p_2 < \infty, 1 \leq q_1, q_2 < \infty, \\ & \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} > 1, \frac{1}{p_1} + \frac{1}{p_2} = 1 + \frac{1}{r}, r > 0, \frac{1}{q_1} + \frac{1}{q_2} \geq \frac{1}{s}, s \geq 1, \\ & c > 0 \text{ olmak üzere } w \geq c > 0, \end{aligned}$$

$p = \min \{p_1, p_2\}$ olmak üzere $w \in B_p$

olsun. $\tilde{f}(x) = f(-x)$ olmak üzere her $\lambda \geq 0$ için $\mu_f(\lambda) = \mu_{\tilde{f}}(\lambda)$ olduğundan

$\|f^*\|_{L^{p,q}(w)} = \|(\tilde{f})^*\|_{L^{p,q}(w)}$ ve dolayısıyla $\|f\|_{\Lambda_G^{p,q}(w)} = \|\tilde{f}\|_{\Lambda_G^{p,q}(w)}$ dır. Yani $f \in \Lambda_G^{p_1,q_1}(w)$ iken

$\tilde{f} \in \Lambda_G^{p_1,q_1}(w)$ olur. Böylece Lemma 2.18 gereği her $f \in \Lambda_G^{p_1,q_1}(w), g \in \Lambda_G^{p_2,q_2}(w)$ için

$$\|T(\tilde{f}, g)\|_{\Lambda_G^{r,s}(w)} \leq C \cdot \|\tilde{f}\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)} = C \cdot \|f\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)}$$

eşitsizliği yazılır. O halde $\Lambda_G^{p_1,q_1}(w) \times \Lambda_G^{p_2,q_2}(w)$ uzayından $\Lambda_G^{r,s}(w)$ uzayına bir k bilineer dönüşümünü $f \in \Lambda_G^{p_1,q_1}(w), g \in \Lambda_G^{p_2,q_2}(w)$ olmak üzere $k(f, g) = \tilde{f} * g$ şeklinde tanımlayabiliriz. Bu k dönüşümü iyi tanımlıdır. Ayrıca

$$\begin{aligned} \|k\| &= \sup \left\{ \frac{\|k(f, g)\|_{\Lambda_G^{r,s}(w)}}{\|f\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)}} : \|f\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \leq 1, \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)} \leq 1 \right\} \\ &= \sup \left\{ \frac{\|\tilde{f} * g\|_{\Lambda_G^{r,s}(w)}}{\|f\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)}} : \|f\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \leq 1, \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)} \leq 1 \right\} \\ &\leq \sup \left\{ \frac{C \cdot \|f\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)}}{\|f\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)}} : \|f\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \leq 1, \|g\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)} \leq 1 \right\} = C \end{aligned}$$

olduğundan k dönüşümü sınırlıdır. O halde Teorem 2.6 gereği bu sınırlı k bilineer dönüşümüne her $f \in \Lambda_G^{p_1,q_1}(w), g \in \Lambda_G^{p_2,q_2}(w)$ için $K(f \otimes g) = \tilde{f} * g$ olacak şekilde $\Lambda_G^{p_1,q_1}(w) \otimes_\gamma \Lambda_G^{p_2,q_2}(w)$ uzayından $\Lambda_G^{r,s}(w)$ uzayına tanımlı bir tek K lineer dönüşümü karşılık gelir. Yine $\|K\| \leq C$ olup K dönüşümü de sınırlıdır [8].

Tanım 2.22. K lineer dönüşümü altında $\Lambda_G^{p_1,q_1}(w) \otimes_\gamma \Lambda_G^{p_2,q_2}(w)$ uzayının görüntüsünü $A_{p_1,q_1}^{p_2,q_2}(G, w)$ ile göstereyim. Böylece

$$A_{p_1,q_1}^{p_2,q_2}(G, w) = \left\{ \begin{aligned} &h = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i : f_i \in \Lambda_G^{p_1,q_1}(w), g_i \in \Lambda_G^{p_2,q_2}(w), K \left(\sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i \otimes g_i \right) = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i, \\ &\sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)} < \infty \end{aligned} \right\}$$

olur. Her $h \in A_{p_1,q_1}^{p_2,q_2}(G, w)$ için $f_i \in \Lambda_G^{p_1,q_1}(w), g_i \in \Lambda_G^{p_2,q_2}(w)$ olmak üzere

$$\|h\| = \inf \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1,q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2,q_2}(w)} : h = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i, f_i \in \Lambda_G^{p_1,q_1}(w), g_i \in \Lambda_G^{p_2,q_2}(w) \right\}$$

ile tanımlanan $\|\cdot\|$ fonksiyonu bir normdur. Böylece $A_{p_1,q_1}^{p_2,q_2}(G, w)$ uzayı bir normlu uzay olur [8].

Teorem 2.23. $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayı $\|\cdot\|$ normuna göre bir Banach uzayıdır [10].

III. BULGULAR

Önerme 3.1. $1 < q_1 \leq n_1 < \infty$, $1 < q_2 \leq n_2 < \infty$ ise $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) \subset A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w)$ kapsamaları vardır.

İspat. Herhangi bir $h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ alalım. Bu durumda $f_i \in \Lambda_G^{p_1, q_1}(w)$, $g_i \in \Lambda_G^{p_2, q_2}(w)$ olmak üzere

$h = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i$, $\sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty$ yazılır. $q_1 \leq n_1, q_2 \leq n_2$ olduğundan Teorem 2.21 gereği $\Lambda_G^{p_1, q_1}(w) \subset \Lambda_G^{p_1, n_1}(w)$ ve $\Lambda_G^{p_2, q_2}(w) \subset \Lambda_G^{p_2, n_2}(w)$ dir. Buradan $f_i \in \Lambda_G^{p_1, n_1}(w)$ ve $g_i \in \Lambda_G^{p_2, n_2}(w)$ elde edilir. Yine Teorem 2.21 den dolayı $\|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, n_1}(w)} \leq \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)}$ ve $\|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, n_2}(w)} \leq \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)}$ dir. Buradan

$$\sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, n_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, n_2}(w)} \leq \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty$$

olup $h \in A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w)$ bulunur. Bu durumda $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) \subset A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w)$ kapsamaları gerçekleşir. Böylece ispat tamamlanır.

Önerme 3.2. $1 < q_1 \leq n_1 < \infty$, $1 < q_2 \leq n_2 < \infty$ olmak üzere $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) = A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w)$ olması için gerek ve yeter şart $q_1 = n_1$ ve $q_2 = n_2$ olmasıdır.

İspat. $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) = A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w)$ olsun. Bu durumda Önerme 3.1 gereği $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) \subset A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w)$ kapsamalarından $q_1 \leq n_1, q_2 \leq n_2$ ve $A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w) \subset A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ kapsamalarından $n_1 \leq q_1, n_2 \leq q_2$ yazılır. Böylece $q_1 = n_1, q_2 = n_2$ dir.

Tersine, $q_1 = n_1, q_2 = n_2$ olsun. Bu durumda $n_1 \leq q_1, n_2 \leq q_2$ ve $q_1 \leq n_1, q_2 \leq n_2$ yazılabilir. O halde Önerme 3.1 gereği $A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w) \subset A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ ve $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) \subset A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w)$ dir. Buradan $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) = A_{p_1, n_1}^{p_2, n_2}(G, w)$ elde edilir. Böylece ispat tamamlanır.

Önerme 3.3. $C > 0$ olmak üzere $W(t) \geq Ct$ ve $w \in B_{1, \infty}$ olsun. Her $h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ için $\|h - (\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * h\| \rightarrow 0$ ve $(\tilde{a}_\alpha * b_\beta), \Lambda_G^1(w)$ uzayında sınırlı olacak şekilde $\Lambda_G^1(w)$ uzayının $(a_\alpha)_{\alpha \in I}$ ve $(b_\beta)_{\beta \in J}$ yaklaşık birimleri vardır.

İspat. Lemma 2.19 gereği her $f \in \Lambda_G^{p_1, q_1}(w)$ için $\|f - a_\alpha * f\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \rightarrow 0$ ve her $\alpha \in I$ için $\|a_\alpha\|_{\Lambda_G^1(w)} = 1$ olacak şekilde $\Lambda_G^1(w)$ uzayında bir $\{a_\alpha\}_{\alpha \in I}$ yaklaşık birimi vardır. Yine her $g \in \Lambda_G^{p_2, q_2}(w)$ için $\|g - b_\beta * g\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \rightarrow 0$ ve her $\beta \in J$ için $\|b_\beta\|_{\Lambda_G^1(w)} = 1$ olacak şekilde $\Lambda_G^1(w)$ uzayında bir $\{b_\beta\}_{\beta \in J}$ yaklaşık birimi vardır. Her $\alpha \in I$ için $a_\alpha \in \Lambda_G^1(w)$ olduğundan $\tilde{a}_\alpha \in \Lambda_G^1(w)$

dır. Buradan her $\alpha \in I, \beta \in J$ için $\tilde{a}_\alpha * b_\beta \in \Lambda_G^1(w)$ olur. $\|a_\alpha\|_{\Lambda_G^1(w)} = \|\tilde{a}_\alpha\|_{\Lambda_G^1(w)} = 1$ olduğu kullanılırsa

$$\|\tilde{a}_\alpha * b_\beta\|_{\Lambda_G^1(w)} \leq C \cdot \|a_\alpha\|_{\Lambda_G^1(w)} \|b_\beta\|_{\Lambda_G^1(w)} = C$$

bulunur. Yani $(\tilde{a}_\alpha * b_\beta), \Lambda_G^1(w)$ uzayında sınırlıdır.

Herhangi bir $h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ alalım. O halde $f_i \in \Lambda_G^{p_1, q_1}(w), g_i \in \Lambda_G^{p_2, q_2}(w)$ olmak üzere

$$h = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i, \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty \text{ yazılır.}$$

$\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)$ ve $\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)$ Banach uzaylarının $\Lambda_G^1(w)$ Banach cebiri üzerinde

$$\Lambda_G^{p_1, q_1}(w) \times \Lambda_G^1(w) \rightarrow \Lambda_G^{p_1, q_1}(w), (f, \varphi) \rightarrow \tilde{\varphi} * f$$

ve

$$\Lambda_G^{p_2, q_2}(w) \times \Lambda_G^1(w) \rightarrow \Lambda_G^{p_2, q_2}(w), (f, \varphi) \rightarrow \tilde{\varphi} * f$$

dönüşümleri ile bir Banach sağ $\Lambda_G^1(w)$ -modülü olduğu biliniyor [8]. Bu durumda her $\alpha \in I, \beta \in J$ için

$$\|a_\alpha * f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \leq c_1 \|a_\alpha\|_{\Lambda_G^1(w)} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} = c_1 \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)}$$

$$\|b_\beta * g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \leq c_2 \|b_\beta\|_{\Lambda_G^1(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} = c_2 \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)}$$

eşitsizlikleri gereği $a_\alpha * f_i \in \Lambda_G^{p_1, q_1}(w), b_\beta * g_i \in \Lambda_G^{p_2, q_2}(w)$ olur. Yine

$$(\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * h = (\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i = \sum_{i=1}^{\infty} (\tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i) * (b_\beta * g_i)$$

dır. Ayrıca her $x \in G$ için

$$\begin{aligned} (f_i * a_\alpha)^\square(x) &= (f_i * a_\alpha)(-x) = \int_G f_i(y) a_\alpha(-x-y) d\mu(y) \\ &= \int_G^{x+y=u} f_i(u-x) a_\alpha(-u) d\mu(u) \\ &= \int_G \tilde{a}_\alpha(u) \tilde{f}_i(x-u) d\mu(u) \\ &= \tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i(x) \end{aligned}$$

olduğundan $(f_i * a_\alpha)^\square = \tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i$ yazılır. Bu durumda

$$\begin{aligned}
\|(\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * h\| &= \left\| \sum_{i=1}^{\infty} (f_i * a_\alpha) \square * (b_\beta * g_i) \right\| \\
&\leq c \sum_{i=1}^{\infty} \|a_\alpha * f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|b_\beta * g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \\
&\leq c \sum_{i=1}^{\infty} c_1 \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} c_2 \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \\
&= c c_1 c_2 \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty
\end{aligned}$$

ve dolayısıyla $(\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ olur. Diğer yandan

$$\begin{aligned}
h - (\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * h &= \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i - (\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i \\
&= \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i - \sum_{i=1}^{\infty} (\tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i) * (b_\beta * g_i) \\
&= \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i - \sum_{i=1}^{\infty} (\tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i) * g_i + \sum_{i=1}^{\infty} (\tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i) * g_i - \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i + \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i \\
&\quad - \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * (b_\beta * g_i) + \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * (b_\beta * g_i) - \sum_{i=1}^{\infty} (\tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i) * (b_\beta * g_i) \\
&= \sum_{i=1}^{\infty} (\tilde{f}_i - (\tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i)) * g_i + \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * (g_i - (b_\beta * g_i)) \\
&\quad - \sum_{i=1}^{\infty} (\tilde{f}_i - (\tilde{a}_\alpha * \tilde{f}_i)) * (g_i - (b_\beta * g_i)) \\
&= \sum_{i=1}^{\infty} (f_i - (f_i * a_\alpha)) \square * g_i + \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * (g_i - (b_\beta * g_i)) \\
&\quad - \sum_{i=1}^{\infty} (f_i - (f_i * a_\alpha)) \square * (g_i - (b_\beta * g_i))
\end{aligned}$$

dır. Bu eşitlikte norma geçilirse

$$\begin{aligned}
\|h - (\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * h\| &\leq c_3 \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i - (f_i * a_\alpha)\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} + c_4 \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i - (b_\beta * g_i)\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \\
&\quad + c_5 \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i - (f_i * a_\alpha)\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i - (b_\beta * g_i)\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)}
\end{aligned}$$

elde edilir. Burada

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{\infty} \|f_i - (f_i * a_\alpha)\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} &\leq \sum_{i=1}^{\infty} \left(\|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} + \|f_i * a_\alpha\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \right) \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \\
&\leq \sum_{i=1}^{\infty} \left(\|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} + c_1 \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \right) \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \\
&= (1 + c_1) \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i - (b_\beta * g_i)\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} &\leq \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \left(\|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} + \|b_\beta * g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \right) \\
&\leq \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \left(\|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} + c_2 \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \right) \\
&= (1 + c_2) \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty,
\end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{\infty} \|f_i - (f_i * a_\alpha)\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i - (b_\beta * g_i)\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \\
\leq \sum_{i=1}^{\infty} \left(\|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} + \|f_i * a_\alpha\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \right) \left(\|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} + \|b_\beta * g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \right) \\
\leq \sum_{i=1}^{\infty} \left(\|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} + c_1 \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \right) \left(\|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} + c_2 \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \right) \\
= (1 + c_1)(1 + c_2) \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty
\end{aligned}$$

dır. Böylece

$$\begin{aligned}
c_3 \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i - (f_i * a_\alpha)\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} + c_4 \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i - (b_\beta * g_i)\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \\
+ c_5 \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i - (f_i * a_\alpha)\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i - (b_\beta * g_i)\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)}
\end{aligned}$$

toplamı sınırlı olur.

Diğer yandan $f_i \in \Lambda_G^{p_1, q_1}(w)$, $g_i \in \Lambda_G^{p_2, q_2}(w)$ olduğundan $\|f_i - a_\alpha * f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \rightarrow 0$ ve $\|g_i - b_\beta * g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \rightarrow 0$ dır. Bu durumda $\lim_{\alpha, \beta \in I \times J} \|h - (\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * h\| = 0$ olur. Böylece ispat tamamlanır.

Önerme 3.4. $w \in B_{1, \infty}$ ve c bir sabit olmak üzere $w \geq c > 0$ olsun. O halde $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayı bir Banach sağ $\Lambda_G^1(w)$ -modüldür.

İspat. Herhangi bir $f \in \Lambda_G^1(w)$ ve $h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ alalım. $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) \times \Lambda_G^1(w) \rightarrow A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$, $(h, f) \rightarrow f * h$ dönüşümü ile $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayının bir sağ

$\Lambda_G^1(w)$ – modül olduğunu gösterelim. $h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ için $f_i \in \Lambda_G^{p_1, q_1}(w), g_i \in \Lambda_G^{p_2, q_2}(w)$ olmak üzere $h = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i, \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty$ yazılır. Ayrıca

$$\begin{aligned} \|f * h\| &= \left\| f * \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{f}_i * g_i \right\| = \left\| \sum_{i=1}^{\infty} (f * \tilde{f}_i) * g_i \right\| \\ &= \left\| \sum_{i=1}^{\infty} (f_i * \tilde{f}) * g_i \right\| \leq c_1 \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i * \tilde{f}\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} \end{aligned}$$

dir.

$\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)$ uzayının bir sağ $\Lambda_G^1(w)$ – modül olduğunu Teorem 2.20 den biliyoruz. O halde

$$\|f_i * \tilde{f}\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \leq c_2 \|\tilde{f}\|_{\Lambda_G^1(w)} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} = c_2 \|f\|_{\Lambda_G^1(w)} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)}$$

olur. Böylece

$$\|f * h\| \leq c_1 \sum_{i=1}^{\infty} c_2 \|f\|_{\Lambda_G^1(w)} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} = c_1 c_2 \|f\|_{\Lambda_G^1(w)} \sum_{i=1}^{\infty} \|f_i\|_{\Lambda_G^{p_1, q_1}(w)} \|g_i\|_{\Lambda_G^{p_2, q_2}(w)} < \infty$$

elde edilir. Bu ise $f * h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ demektir. Bu durumda $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w) \times \Lambda_G^1(w) \rightarrow A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w), (h, f) \rightarrow f * h$ fonksiyonu iyi tanımlıdır. Son eşitsizlikte toplam üzerinden infimum alınırsa $\|f * h\| \leq c \|f\|_{\Lambda_G^1(w)} \|h\|$ yazılır. $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayının $\|\cdot\|$ normuna göre bir Banach uzayı olduğunu Teorem 2.23 den biliyoruz. O halde $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayı bir Banach sağ $\Lambda_G^1(w)$ – modüldür. Böylece ispat tamamlanır.

IV. SONUÇ

Bu çalışmada, Avcı ve Gürkanlı [7] nın ele aldığı yöntemlerle Li ve Sun [8] tarafından tanımlanan $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayının bazı özellikleri araştırılmıştır. Öncelikle bu uzaydaki q ve n sayılarının durumuna göre kapsama özellikleri incelenmiştir. Ayrıca bazı özel w ağırlıkları için herhangi bir $h \in A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ verildiğinde $\|h - (\tilde{a}_\alpha * b_\beta) * h\| \rightarrow 0$ ve $(\tilde{a}_\alpha * b_\beta), \Lambda_G^1(w)$ uzayında sınırlı olacak şekilde $\Lambda_G^1(w)$ uzayının $(a_\alpha)_{\alpha \in I}$ ve $(b_\beta)_{\beta \in I}$ yaklaşık birimlerinin var olduğu ve $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayının bir Banach sağ $\Lambda_G^1(w)$ – modül olduğu elde edilmiştir. Bu çalışmadan sonra, $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ uzayındaki fonksiyonlara trigonometrik polinomlarla düz ve ters yaklaşım problemlerinin irdelenmesi planlanmaktadır.

V. KAYNAKLAR

- [1] G. G. Lorentz, "Some new functional spaces," *Annals of Mathematics*, vol. 51, no. 1, pp. 37-55, 1950.
- [2] G. G. Lorentz, "On the theory of spaces Λ ," *Pacific Journal of Mathematics*, vol. 1, no. 3, pp. 411-429, 1951.
- [3] P. L. Butzer, H. Berens, *Semi-groups of Operators and Approximation*, Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag, 1967.
- [4] J. Bergh, J. Liifstrim, *Interpolation Spaces, An Introduction*, Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag, 1976.
- [5] J. Creekmore, *Geometry of Lorentz spaces*, Ph.D. Dissertation, Kent State University, 1979.
- [6] S. Reisner, "A factorization theorem in Banach lattices and its application to Lorentz spaces," *Annales de l'institut Fourier*, vol. 31, no. 1, pp. 239-255, 1981.
- [7] H. Avcı, A. T. Gürkanlı, "Multipliers and tensor products of $L(p, q)$ Lorentz spaces," *Acta Mathematica Scientia*, vol. 27(B), no. 1, pp. 107-116, 2007.
- [8] H. Li, Q. Sun, "Multipliers and Tensor Products of the Weighted Lorentz Spaces $\Lambda_G^{p,q}(w)$," *Georgian Mathematical Journal*, vol. 19, pp. 721-740, 2012.
- [9] M. J. Carro, J. A. Raposo, J. Soria, *Recent Developments in the Theory of Lorentz Spaces and Weighted Inequalities*, American Mathematical Society, 2007.
- [10] N. Değirmen, İ. Değirmen, " $A_{p_1, q_1}^{p_2, q_2}(G, w)$ Uzayı ve Bazı Topolojik Özellikleri Üzerine," *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 11, s. 2, ss. 1468-1480, 2021.
- [11] F. F. Bonsall, J. Duncan, *Complete Normed Algebras*, Springer Verlag, Berlin, 1973.
- [12] R. S. Doran, J. Wichmann, *Approximate Identities and Factorization in Banach Modules*, Lecture Notes in Mathematics, 768, Springer Verlag, 1979.
- [13] L. Y. H. Yap, "Some Remarks on Convolution Operators and $L(p, q)$ Spaces," *Duke Mathematical Journal*, vol. 36, pp. 647-658, 1969.
- [14] R. Hunt, "On $L(p, q)$ Spaces," *L'Enseignement Mathématique*, vol. 12, pp. 249-276, 1966.
- [15] M. J. Carro, A. Garcia del Amo, J. Soria, "Weak-Type Weights and Normable Lorentz Spaces," *Proceedings of the American Mathematical Society*, vol. 124, no. 3, pp. 849-857, 1996.
- [16] C. J. Neugebauer, "Weighted Norm Inequalities for Averaging Operators of Monotone Functions," *Publicacions Matemàtiques*, vol. 35, pp. 429-447, 1991.
- [17] M. A. Arino, B. Muckenhoupt, "Maximal Functions Classical Lorentz Spaces and Hardy's Inequality with Weights for Nonincreasing Functions," *Transactions of the American Mathematical Society*, vol. 320, no. 2, pp. 727-735, 1990.
- [18] G. B. Folland, *A Course in Abstract Harmonic Analysis*, CRS Press, Boca Raton, Florida, 1995.

[19] P. R. Halmos, *Measure Theory*, 2. baskı, Springer Verlag, New York, 1974.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Farklı Zemin Koşullarında Tasarlanan Kazıklı Radye Temel Sistemlerinin Oturma Tabanlı Optimizasyonu

 Ömür ÇİMEN^{a,*},  Uğur OSMANOĞLU^a

^a İnşaat Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: omurcimen@sdu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.884812

Öz

Kıbrıs Adası'nda son yıllarda sanayileşme ile nüfusun kentlerde yoğunlaşması, turizm amaçlı sahil bölgelerine yüksek katlı otel projelerinin yapılması ülkede yüksek katlı yapıların artmasına yol açmıştır. Yapıların kat yüksekliği arttıkça temellere aktarılan yükler de artmaktadır. Temeller, üstyapıdan kendilerine aktarılan yükleri emniyetli bir şekilde taşımaları ve izin verilen oturma değerlerini aşmamalıdır. Bu çalışmada, Kıbrıs Adası'nın farklı zemin gruplarında, taşıma gücü ve oturma problemlerinden dolayı tasarlanmış olan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma tabanlı optimizasyonu yapılmıştır. Kazıklı radye temel sistemlerinde değişken parametreler olarak; kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda her iki zemin grubunda da oturma tabanlı optimum kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri saptanmıştır. Optimum değerler saptanırken ekonomi de göz önünde tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kazıklı radye temel, Oturma, Optimizasyon

Settlement Based Optimization of Piled Raft Foundation Systems Designed in Different Soil Conditions

ABSTRACT

Industrialization in the Cyprus Island in recent years, concentration of the population in cities, construction of high rise hotel projects in coastal areas for tourism purposes have led to increase of high rise buildings on the country. As the floor height of the buildings increases, the loads transferred to the foundations also increase. Foundations must safely bear the loads transmitted to them from the upper structure and must not exceed the allowable settlement values. In this study, settlement based optimization of piled raft foundation systems which were designed due to bearing capacity and settlement problems in different soil groups of Cyprus Island has been made. Pile number, pile diameter and pile length values were used as variable parameters in piled raft foundation systems. As a result of the study, settlement based optimum pile number, pile diameter and pile length values were determined in both soil groups. While determining the optimum values, economy was also taken into consideration.

Keywords: Piled raft foundation, Settlement, Optimization

I. GİRİŞ

Dünya genelinde hızla artan nüfus oranı ve inşaat teknolojilerindeki gelişmeler, günümüzde mühendislik tasarımlarının sınırlarının zorlanmasına neden olmaktadır. Özellikle büyük şehirlerde arazi teminindeki sıkıntılardan dolayı, yüksek katlı yapılar tercih edilmeye başlanmıştır. Ulaşım problemlerini beraberinde getiren bu durum, geniş açıklıklı sanat yapılarına (karayolu ve demiryolu köprüleri, viyadükler, üst geçitler v.b.) olan ihtiyacı da arttırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, üstyapı yüklerinde meydana gelen artışların çeşitli temel uygulamaları vasıtasıyla güvenli şekilde zeminlere taşıtılması, geoteknik mühendisliği açısından son derece önemlidir [1].

Temeller, üstyapı yükünü zemine emniyetli bir şekilde aktaran yapı elemanlarıdır. Üstyapı yükünün yüzeysel temel vasıtasıyla emniyetli bir şekilde taşınmadığı veya yüzeysel temel teşkil edilmesi halinde aşırı oturmaların beklendiği durumlarda kazıklı temeller kullanılır. Kazıklı temeller üstyapıdan gelen yükleri zeminin gevşek veya yumuşak tabakalarını geçerek daha derin tabakalarına aktarır. Genel kural olarak kazıklar, zeminin taşıma kapasitesinin artırılması ve zeminde oluşacak oturmaları azaltma amacı ile kullanılırlar [2]. Yüksek maliyetlerine rağmen, kazıkların kullanımı genellikle yapısal güvenliği sağlamak için gereklidir [3].

Bir kazık grubunun tasarımı genellikle, kazıklar arasında sabit aralıklarla düzenli bir ızgara deseni üzerine yerleştirilmiş, aynı çap ve kazık uzunluğuna sahip özdeş kazıkları içerir. Bu kısmen, inşaatı kolaylaştırmak ve imalat süreçleri sırasında hata riskini azaltmak içindir. Ayrıca, bazı yaygın kazık grubu tasarım yaklaşımları yalnızca aynı uzunluktaki kazıkların analizine izin verir [4]. Kazıklı temellerin tasarımında, göçmeye karşı güvenliğin bulunduğu, ayrıca, servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların kabul edilebilir bir sınırı aşmadığı gösterilmelidir [5]. Aşırı oturmalar genellikle yapısal bütünlük veya hizmete elverişlilik sorunlarına yol açar [6].

Son yıllarda özellikle yüksek yapı projelerinde kazıklı radye temel sistemlerinin kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Kazıklı radye temel sistemlerinin kullanımına olan yüksek talep nedeniyle araştırmacılar bu sistemin statik ve dinamik koşullar altındaki davranışını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Nikoloaou vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada; bir kazığa ait deformasyon değerleri kinematik burulma momentleri oluşturularak elde edilmiştir. Bu momentlerin, gevşek ve sıkı zemin tabakalarının yüzeyinde yoğunlaştığı gösterilmiştir. Çalışmalarını, kinematik biçimde kazığın yüklenmesi, homojen ve tabakalı zeminlerdeki kazıkların analitik çözümü ve saha deneyleri olarak üç şekilde ele almışlardır. Çalışmada Winkler temel modeli uygulanmış ve kazıklara gelen dinamik tepkiler belirlenmiştir. Kinematik momentlerin büyüklüğünün zemin tabakaları arasındaki rijitliğe bağlı olduğu gösterilmiştir. İki kazık arasındaki altı noktada burulma ve eksenel yükler elde edilerek saha deney sonuçları ve sayısal çözümler mukayese edilmiştir [7].

Basu vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada; çok katmanlı bir zemin ortamına gömülü dikdörtgen kesitli eksenel olarak yüklenmiş kazıklar için bir oturma analizi yöntemi sunulmuştur. Çalışmada zemin elastik olarak kabul edilmiştir. Analizler için girdi parametreleri olarak kazık geometrisi, kazık elastik sabitleri ve zemin elastik sabitleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kazık sistemindeki deformasyon değerleri elde edilmiştir [8].

Alver ve Özden (2015) tarafından yapılan çalışmada; bir kazıklı radye temelin eksenel yük altındaki oturması eşdeğer radye yöntemi, Randolph yöntemi ve üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Oturma değerlerinin kazık sayısına ve kazık uzunluğuna bağlı değişimi gösterilmiştir. Çalışmanın esas amacı bir kazıklı radye temelin oturma esaslı tasarım ilkeleri ile optimizasyonudur. Çalışmada kazık sayısı ve kazık uzunluğu değişken olarak kullanılarak oturmaların değişimi gösterilmiştir. Buna göre kazık sayısı artarken, oturma değeri belirli bir kazık sayısından sonra azalmamaktadır. Oturmanın daha fazla azalmadığı kazık sayısı ilk aşama için optimum çözüm kabul edilmiştir. İkinci aşamada kazık sayısı sabit tutularak kazık uzunluğu değiştirilmiştir. Bu durumda, kazık uzunluğu arttıkça temel davranışı iyileşmiştir [9].

Yeğit ve Zorluer (2019) tarafından yapılan çalışmada; farklı çap, derinlik ve sayıdaki kazık gruplarının, aynı yapı yükleri ve aynı zemin içindeki performansı el ile hesaplanarak, SAP2000 ve Plaxis 3D Foundation programları kullanılarak incelenmiş, kazık sayısı optimize edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, kazık sayısındaki artışın kazık grubundaki verimliliği düşürdüğü, kazık çapının büyük seçilmesinin yine kazıklar arası mesafenin azalmasından dolayı verimi düşürdüğü, kazık oturmalarında kazık ucunun oturduğu zeminin oturmayı etkilediği sonuçlarına ulaşılmıştır [10].

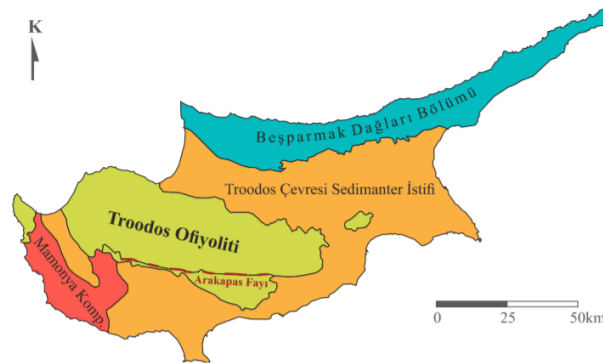
Bozkurt ve Demiröz (2020) tarafından yapılan çalışmada; kazık uzunluğu, kazık çapı ve kazık sayısının kazıklı radye temellerdeki oturma davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Geliştirilen örnek bir matematik model dikkate alınarak, Randolph metodu esaslı bir hesap kodu yazılmış, boyutlandırma değişimine bağlı olarak maksimum oturma ve farklı oturma değerleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçları grafiksel olarak sunulmuştur. Çalışma sonucunda, optimum çözümün kazık boyunun ve çapının artırılmasına bağlı olduğu gösterilmiştir. Ayrıca kazık sayısı ve lokasyonunun oturma davranışına etkisi araştırılmıştır [11].

Bu çalışmada Kıbrıs Adası'nın farklı zemin koşullarında taşıma gücü ve oturma problemlerinden dolayı tasarlanmış olan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma tabanlı optimizasyonu yapılmıştır. Bu amaçla, kazıklı radye temel sisteminde oturmayı minimum tutarak maksimum ekonomiyi sağlayacak kazıklı temel sistemleri Plaxis 2D programı kullanılarak modellenmiştir. Kazıklı radye temel sistemlerinin modellerinde değişken parametreler olarak kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kullanılmıştır. Yapılan tasarım ve modellemeler neticesinde farklı zemin gruplarında tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde oturma tabanlı optimum kazık sayısı, kazık çapı ve kazık uzunluğu değerleri kazık hacmi göz önünde tutularak saptanmıştır.

II. ZEMİNLERİN TANITILMASI

A. KIBRIS ADASI'NIN GENEL JEOLJİSİ

Kıbrıs Adası'nın karmaşık jeolojisi ile ilgili çalışmalar 1900'lü yılların başlarında başlamış olup çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Kıbrıs Adası'nın jeolojisi, dört ana zon veya istifte ele alınır. Bunlar, Trodos Ofiyoliti, Mamonia Bölgesi, Beşparmak Dağları Bölümü, Trodos Çevresi Sedimanter İstifi veya Pliyo-Kuvaterner istifidir [12]. Kıbrıs Adası'nın başlıca tektonik bölümleri Şekil 1'de verilmiştir. Hem killi zemin alanı hem de kumlu zemin alanı Trodos Çevresi Sedimanter İstifi üzerinde yer almaktadır.



Şekil 1. Kıbrıs Adası'nın başlıca tektonik bölümleri [13]

A. 1. Killi Zemin Alanının Tanıtılması

Killi zemin alanının lokasyonu, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin İskele ilçesi sınırları içerisinde bulunan Long Beach bölgesidir. Gazimağusa - Karpaz karayolunun batısında yer alan killi zemin alanının denize olan mesafesi yaklaşık 600 m'dir. Trodos ve Girne Dağları'ndan aşınarak taşınan malzemenin çökmesiyle oluşan Mesarya Ovası'nda yer alan killi zemin alanı düz bir topografyaya sahip olup saha kotları +2.0 m ile +4.0 m arasında değişmektedir. Kuzey ve Doğu cepheleri boş parseller ile çevrelenmiş olan killi zemin alanının Batı ve Güney cepheleri Akdeniz'e dökülen aktif dere yatağı tarafından sınırlanmaktadır [12].

Killi zemin alanında 9 adet sondaj kuyusu açılarak her 1.5m derinlik arasıyla yapılan Standart penetrasyon testi (SPT) ve zemin profilinin çeşitli derinliklerinden alınan numunelerde yapılan laboratuvar deneyleri neticesinde tespit edilen mühendislik parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Killi zemin profilindeki tabakaların mühendislik parametreleri [12]

Tabaka	Kot (m)	Doğal birim hacim ağırlığı (KN/m ³)	Ortalama SPT darbe sayısı	Elastisite modülü (MPa)	Drenajsız kohezyon (kPa)
Katı kil	±0-(-20)	18	5-12	6	50
Çok katı kil	-20-(-40)	19	15-30	15	100-140
Sert kil	-40-(-70)	20	35-50	24	180-200

Killi zemin alanında yapılan zemin araştırma sondajlarında yer altı suyu ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde sondaj kuyularında 2.0 m – 4.0 m derinlikte su ile karşılaşmıştır. Sondajlarda karşılaşılan yer altı suyu seviyesi deniz tarafından kontrol edilmektedir. Diğer bir deyişle, killi zemin alanında yer altı suyu seviyesi deniz suyu seviyesi (±0.00 m) olarak kabul edilebilecektir [12]. Zeminin suya doygun olmasından dolayı tüm tabakaların içsel sürtünme açısı 0 olarak alınmıştır.

A. 2. Kumlu Zemin Alanının Tanıtılması

Kumlu zemin alanının lokasyonu, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin Lefke ilçesinde yer almaktadır. Kumlu zemin alanında 3 adet sondaj kuyusu açılarak her 1.5 m derinlik arasıyla Standart penetrasyon testi (SPT) yapılmıştır.

Kumlu zeminin mühendislik parametreleri, literatürde yer alan SPT darbe sayısı ile zeminin mühendislik parametreleri arasındaki korelasyonlardan faydalanılarak hesaplanmıştır [14],[15]. Bu hesaplamalarda, efektif düşey gerilmeyi de dikkate alan korelasyonların seçilmesine özen gösterilmiştir. Kumlu zemin profilinin mühendislik parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

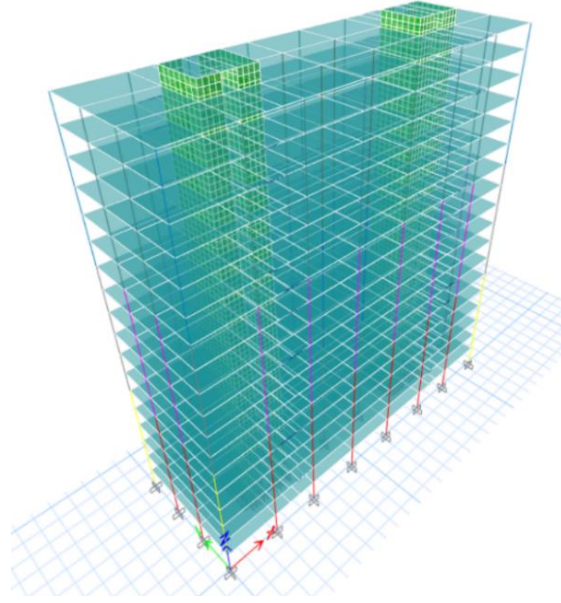
Tablo 2. Kumlu zemin profilindeki tabakanın mühendislik parametreleri

Tabaka	Kot (m)	Doğal birim hacim ağırlığı (KN/m ³)	Ortalama SPT darbe sayısı	Elastisite modülü (MPa)	İçsel sürtünme açısı (°)	İzafi sıklık (%)
Orta sıkı/sıkı kum/çakıl	±0-(-30)	20	40	25	37	82

Kumlu zemin alanında yapılan zemin araştırma sondajlarında yer altı suyuna rastlanmamıştır [16].

III. BULGULAR

Killi ve kumlu zemin gruplarında tasarımı yapılacak olan temel tipinin doğru bir şekilde belirlenmesi için üstyapıdan temele aktarılan eksenel yük değerine ihtiyaç vardır. Bu sebepten dolayı Etabs V18 programında taşıyıcı sistemi perde+çerçeve olan 19 katlı 60,5 m yüksekliğinde betonarme bina modeli yapılmıştır. Arazi şartlarından dolayı betonarme binanın oturma alanı dikdörtgen şeklinde ve 18x54 m boyutlarında seçilmiştir. Modelin 3 boyutlu görseli Şekil 2’de verilmiştir. Betonarme bina modeli ilgili yönetmelik ve standartlara uygun olarak yapılmıştır [17]-[20].



Şekil 2. Etabs 3D üstyapı modeli

Üstyapının modellenmesi sonucunda farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan eksenel yük değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Kombinasyonlarda G zati yükü, Q ise hareketli yükü simgelemektedir. Tablo 3’ten görüleceği üzere farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan en büyük eksenel yük değeri 430924 KN mertebesindedir.

Tablo 3. Farklı yük kombinasyonları için temele aktarılan eksenel yük değerleri

	1,4G+1,6Q	G+Q	Depremlilikombinasyon (maksimum değer)	Rüzgarlıkombinasyon (maksimum değer)
Temele aktarılan eksenel yük değeri (KN)	374709	262628	430924	308423

Temel tasarımında dikkate alınan üstyapı yük değeri 430924 KN mertebesindedir. Temel tipi olarak ilk önce radye temel sistemi seçilmiştir. Üstyapının plan boyutları dikkate alınarak radye temelin plan boyutları 21x57 m ebatlarında derinliği ise 2 m olarak belirlenmiştir. Her iki zemin grubunda da radye temelin, üstyapıdan kendisine aktarılan yükü güvenli bir şekilde taşıyıp taşımadığı ve izin verilen oturma değerini aşıp aşmadığı kontrolleri yapılmıştır. Killi ve kumlu zeminlerdeki radye temellerin taşıma gücü, oturma ve temel taban gerilmesi değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

Killi zeminde radye temelin oturma hesapları Eş. 1 kullanılarak yapılmıştır. Eş. 1’de s_c konsolidasyon oturmasını, m_v hacimsel sıkışma katsayısını, $\Delta\sigma'$ hesaplama yapılacak kil tabakasının orta noktasındaki toplam düşey gerilme artışını, H ise konsolide olabilir kil tabakasının kalınlığını simgelemektedir. Kum zeminde radye temelin oturma hesapları Eş. 2’ye göre yapılmıştır. Eş. 2’de s_e elastik oturmayı, q_t radye temel emniyetli taşıma gücünü, N_{60} ise ortalama SPT darbe sayısını simgelemektedir [21].

$$s_c = m_v \cdot \Delta\sigma' \cdot H \quad (1)$$

$$s_e = \frac{2q_t}{N_{60}} \quad (2)$$

Tablo 4. Killi ve kumlu zemin gruplarında radye temel taşıma gücü, oturma ve temel taban gerilmesi değerleri

Zemin türü	Radye temel taban gerilmesi (kPa)	Radye temel emniyetli taşıma gücü değeri (kPa)	Radye temel oturma değeri (cm)	İzin verilen oturma değeri (cm)
Killi zemin	390	204	33	5
Kumlu zemin	410	12496	62	

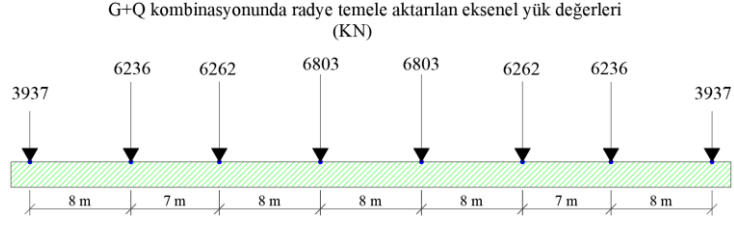
Tablo 4’den görüleceği üzere killi zeminde taşıma gücü ve oturma, kumlu zeminde ise oturma problemlerinden dolayı radye temel tasarımları yetersiz kalmıştır. Zemin gruplarında taşıma gücü ve oturma problemlerinden dolayı radye temel tasarımı uygun görülmemiş ve kazıklı radye temel tasarımına gidilmiştir. Kazıklı radye temel tasarımlarında radye temel derinliği 2 m alınmıştır.

Killi ve kumlu zeminlerdeki kazık gruplarının kapasitesi statik taşıma gücü formüllerinden hesaplanmıştır [22]. Kazık grubundaki kazık sayısı, statik taşıma gücü formüllerinden hesaplanan tek bir kazığa ait çap, boy değerleri ve kazık grubunun kapasite değerleri Tablo 5’de verilmiştir. Tablo 5’de verilen kazık tasarım parametreleri (kazık sayısı, kazık çapı, kazık uzunluğu) referans parametreler, bu parametrelerle yapılan tasarım ise referans tasarım olarak isimlendirilmiştir.

Tablo 5. Killi ve kumlu zeminlerde tasarlanan kazıkların sayı, çap, boy ve kapasite değerleri

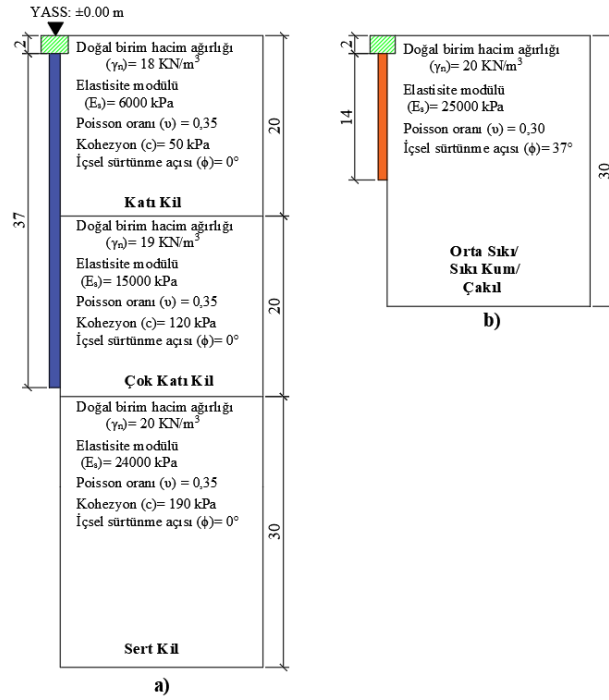
Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Kazık grubunun kapasitesi (ton)
Killi zemin	105 (15x7)	120	37	49350
Kumlu zemin		100	14	

Her iki zeminde de tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma değerleri çalışma yükünde hesaplanmıştır. Bir başka deyişle kazıklı radye temel sistemlerinin oturma değerleri üstyapıdan G+Q kombinasyonunda radye temele aktarılan eksenel yüklerin etkisinde hesaplanmıştır. Üstyapıdan G+Q kombinasyonunda radye temele aktarılan eksenel yük değerleri Şekil 3’de verilmiştir.

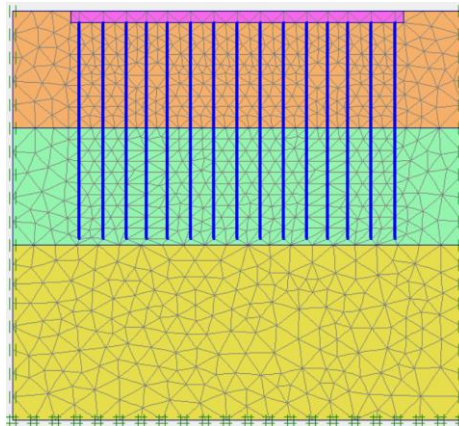


Şekil 3. Üstyapıdan G+Q kombinasyonunda radye temele aktarılan eksenel yük değerleri

Killi ve kumlu zeminlerdeki kazıklı radye temel model profilleri Şekil 4’de verilmiştir. Şekilde verilen ölçüler m cinsindedir. Killi ve kumlu zeminlerdeki kazıklı radye temel sistemlerinin oturma analizleri Plaxis 2D programında gerçekleştirilmiştir. Modelleme ve analizlerde hem killi hem de kumlu zemin için malzeme modeli olarak Mohr-Coulomb modeli seçilmiştir. Killi zeminin malzeme tipi drenajsız, kumlu zeminin malzeme tipi ise drenajlı olarak ayarlanmıştır. Kazıklı radye temel örnek Plaxis modeli Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 4. (a) Killi zeminde kazıklı radye temel model profili (b) Kumlu zeminde kazıklı radye temel model profili



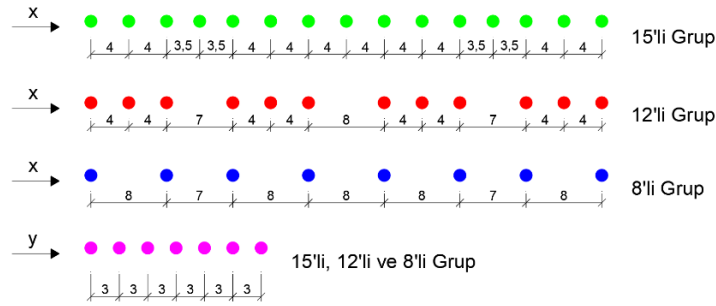
Şekil 5. Kazıklı radye temel örnek Plaxis modeli

Referans parametreler ile tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma değerleri Plaxis 2D programında hesaplanmış ve hesap sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Killi zeminde konsolidasyon oturması, kumlu zeminde ise elastik oturma hesaplanmıştır.

Tablo 6. Referans parametrelerle tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin oturma değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Kazık grubunun kapasitesi (ton)	Oturma (cm)
Killi zemin	105 (15x7)	120	37	49350	12
Kumlu zemin		100	14		18

Killi ve kumlu zeminlerde kazık sayısı, çapı ve uzunluğunun oturma değerine etkilerinin araştırılması için kazık grupları farklı sayılarda, çaplarda, uzunluklarda ve aynı grup kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Referans kazık tasarımında grup kesitindeki kazık sayısı 15 iken, grup kesitindeki kazık sayısı 12 ve 8 olarak ayrıca çözüm yapılmıştır. 15'li grup kesitinde 105, 12'li grup kesitinde 84, 8'li grup kesitinde ise 56 adet kazık mevcuttur. 15'li, 12'li ve 8'li gruplar halinde tasarlanan kazıkların x ve y yönlerindeki eksen mesafeleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde verilen ölçüler m cinsindedir.



Şekil 6. Kazık gruplarının eksen mesafeleri

Kazıkların çap ve uzunluklarının oturma değerine etkilerinin araştırılması için referans parametrelere göre ilk önce kazıkların çapları sabit tutulup uzunlukları artırılmış, daha sonra uzunlukları sabit tutulup çapları artırılmıştır. Çapları sabit tutulup uzunlukları artırılan kazık parametreleri ve bu parametrelerle tasarlanan kazıklı radye temel sisteminin oturma değerleri Tablo 7'de, uzunlukları sabit tutulup çapları artırılan kazık parametreleri ve bu parametrelerle tasarlanan kazıklı radye temel sisteminin oturma değerleri Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 7. Çapları sabit tutulup uzunlukları artırılan kazık parametreleri ve oturma değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Kazık grubunun kapasitesi (ton)	Oturma (cm)
Killi zemin	84 (12x7)	120	43	49350	8,5
	56 (8x7)	120	61		4
Kumlu zemin	84 (12x7)	100	19	49350	13,5
	56 (8x7)	100	26		7,5

Tablo 8. Uzunlukları sabit tutulup çapları artırılan kazık parametreleri ve oturma değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Kazık grubunun kapasitesi (ton)	Oturma (cm)
Killi zemin	84 (12x7)	150	37	49350	16
	56 (8x7)	200	37		25
Kumlu zemin	84 (12x7)	120	14	49350	19
	56 (8x7)	150	14		20

Killi ve kumlu zeminlerde farklı sayı, çap ve uzunluklarda tasarlanan kazıkların maliyet mukayeseleri amacıyla toplam hacim değerleri hesaplanmıştır. Killi zeminde tasarlanan kazıkların toplam hacim değerleri Tablo 9’da, kumlu zeminde tasarlanan kazıkların toplam hacim değerleri Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 9. Killi zeminde farklı sayı, çap ve uzunluklarda tasarlanan kazıkların toplam hacim değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Toplam kazık hacmi (m ³)
Killi zemin	105 (15x7)	120	37	4392
	84(12x7)	120	43	4083
	56 (8x7)	120	61	3861
	84 (12x7)	150	37	5490
	56 (8x7)	200	37	6506

Tablo 10. Kumlu zeminde farklı sayı, çap ve uzunluklarda tasarlanan kazıkların toplam hacim değerleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)	Toplam kazık hacmi (m ³)
Kumlu zemin	105 (15x7)	100	14	1154
	84(12x7)	100	19	1253
	56 (8x7)	100	26	1143
	84 (12x7)	120	14	1329
	56 (8x7)	150	14	1385

Killi ve kumlu zeminlerde yapılan kazıklı radye temel tasarım ve analizleri neticesinde oturma tabanlı optimizasyona göre seçilen kazık parametreleri Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Oturma tabanlı optimizasyona göre seçilen kazık parametreleri

Zemin türü	Gruptaki kazık sayısı	Kazık çapı (cm)	Kazık boyu (m)
Killi zemin	56 (8x7)	120	61
Kumlu zemin	56 (8x7)	100	26

IV. SONUC

Çalışma kapsamında farklı zemin gruplarında tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinin optimizasyonu amacıyla Etabs V18 programında 19 katlı 18x54 m² oturma alanına sahip betonarme bina modeli yapılmıştır. Betonarme bina modeli neticesinde temele aktarılan maksimum eksenel yük 430924 KN mertebesinde hesaplanmıştır. Her iki zemin grubunda da temel sisteminin radye temel olarak teşkil edilmesi halinde üstyapıdan temele aktarılan maksimum eksenel yükün emniyetli bir şekilde taşınamayacağı hesapla gösterilmiş ve kazıklı radye temel tasarımlarına gidilmiştir. Kazıklı radye temel sistemlerinin modellenmesi Plaxis 2D programında yapılmıştır.

Killi ve kumlu zeminlerde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde referans tasarıma göre gruptaki kazık sayısının düşürülmesiyle aynı grup kapasitesine erişebilmek için kazık çapları sabit tutulup kazık uzunlukları artırılmıştır. Böylelikle her iki zemin grubunda da gruptaki kazık sayısının düşürülmesi ve buna bağlı kazık uzunluğunun artırılmasıyla oturmaların azaldığı tespit edilmiştir.

Killi ve kumlu zeminlerde tasarlanan kazıklı radye temel sistemlerinde referans tasarıma göre gruptaki kazık sayısının düşürülmesiyle aynı grup kapasitesine erişebilmek için kazık uzunlukları sabit tutulup kazık çapları artırılmıştır. Böylelikle her iki zemin grubunda da gruptaki kazık çapının artırılması ve buna bağlı kazık sayısının azaltılmasıyla oturmaların arttığı tespit edilmiştir.

Her iki zemin grubunda da gruptaki kazık sayısının düşürülüp kazık uzunluklarının artırılmasıyla (çap sabit) oturma değerleri birbirine yakın oranlarda azalmıştır.

Gruptaki kazık sayısının düşürülüp kazık çaplarının artırılmasıyla (uzunluk sabit) oturma değerleri, killi zeminde kumlu zemine nazaran daha belirgin bir şekilde artmıştır.

Her iki zemin grubunda da oturma tabanlı optimizasyon, minimum oturma ve maksimum ekonomiyi veren kazıklı radye temel tasarımları seçilerek yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlara bakıldığında her iki zemin grubunda da minimum oturma ve maksimum ekonomiyi veren tasarımların, kazık grubunun 8'li olarak (56 adet kazık) ve referans tasarıma göre kazıkların uzunluklarının artırılmasıyla yapılan tasarımlar olduğu saptanmıştır. Killi zeminde optimum kazık sayısı 56, optimum kazık çapı 120 cm, optimum kazık uzunluğu 61 m, kumlu zeminde ise optimum kazık sayısı 56, optimum kazık çapı 100 cm, optimum kazık uzunluğu 26 m olarak tespit edilmiştir.

V. KAYNAKLAR

- [1] G. Salihi, Y. Yılmaz ve İ. Tonyalı, “Teorik ve ampirik yaklaşımlarla elde edilen kazık oturma değerlerinin arazi yükleme deneyi sonuçları ile kıyaslanması,” *VI. Geoteknik Sempozyumu*, Adana, Türkiye, 2015.
- [2] A. Önalp ve S.Sert, *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri*, 3. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2016.
- [3] M. Orhan, *Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı*, Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2019.
- [4] Y.F. Leung, A.Klar ve K.Soga, “Theoretical study on pile length optimization of pile groups and piled rafts,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol.136, pp. 319-320, 2010.
- [5] E. Toğrol ve O.Tan, *Kazıklı Temeller*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2009.

- [6] G. Stefanou, G. Pittos ve M. Papadarakakis, "Pile settlement analysis on spatially random soil," *11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, 2011.
- [7] S. Nikolaou, G.Mylonakis, G.Gazetas ve T.Tazoh, "Kinematic pile bending during earthquakes: analysis and field measurements," *Geotechnique*, vol.51, no.5, pp. 425-440, 2001.
- [8] D. Basu, M.Prezzi, R.Salgado ve T.Chakraborty, "Settlement analysis of piles with rectangular cross sections in multi-layered soils," *Computers and Geotechnics*, vol.35, no.4, pp. 563-575, 2008.
- [9] O. Alver ve G. Özden, "Tabakalı zeminlerde kazıklı radye temellerin optimum tasarımı," *9 Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 17, s. 49, ss. 13-26, 2015.
- [10] M. Yeğit ve İ. Zorluer, "Aynı zemin koşullarında farklı kazık gruplarının performansı," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 410-418, 2019.
- [11] R. Bozkurt ve A. Demiröz, "Kazıklı radye temel boyutlarının oturma davranışı dikkate alınarak optimum tasarımı," *İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi*, c. 1, s. 2, ss. 123-129, 2020.
- [12] Enar Mühendislik Mimarlık ve Danışmanlık Ltd. Şti., "Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti İskele ilçesi konut projesine ait sondaja dayalı temel ve zemin etüd raporu," İskele, KKTC, Kasım 2018.
- [13] H.E. Yurtseven, "Lefke-Doğu (Lefke, KKTC) Kıbrıs tipi masif sülfid cevherleşmesinin jeolojisi, mineralojisi ve kökeni," Yüksek lisans tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2018.
- [14] J.K. Mitchell, F. Guzikowski ve C.B. Villet, "The measurement of soil properties in-situ," Dept. Civil. Eng., Lawrence Berkeley Laboratory University of California Berkeley, California, USA, March 1978.
- [15] H.J. Gibbs ve W.G. Holtz, "Research on determining the density of sands by spoon penetration testing," *4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1957, pp. 35-39.
- [16] Geoteam Mühendislik Ltd. Şti., "Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Lefke ilçesi konut projesine ait sondaja dayalı temel ve zemin etüd raporu," Lefke, KKTC, Aralık 2018.
- [17] *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS 498, 1987.
- [18] *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü TS 500, 2000.
- [19] *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar*, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), 2018.
- [20] *Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Etkileri (Eurocode 1)*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1991-1-4, 2007.
- [21] G.G. Meyerhof, "Shallow foundations," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Divisions*, vol.91, pp. 21-31, 1965.
- [22] B. Das, *Principles of Foundation Engineering*, 7th edition, Stamford, United States of America: Cengage Learning, 2010.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kentteki Konum ve Ulaşımına Bağlı Olarak Stadyumların İklim Değişikliğine Etkisi: Türkiye Örneği

 Ece BÜLBÜL^{a,*},  Ruşen YAMAÇLI^b

^a Mimarlık Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

^b Mimarlık Bölümü, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: ecebulbul90@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.886227

ÖZ

Küresel ısınmanın sonucu olarak iklim de değişime uğramaktadır. Küresel iklim değişikliğine negatif etkide bulunan ve her geçen gün olumsuz etkisini hızlandıran sektörlerden biri ulaşımdır. Ulaşım sektörü, atmosferdeki sera gazı emisyonunun %23'lük bölümünü oluşturmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de futbol en fazla ilgi gösterilen spor dalıdır. Bu nedenle futbolun oynandığı stadyum yapıları da aynı derecede öneme sahiptir. Bu noktada ulaşım yılın belirli zamanlarında yüksek oranda katılım gösteren şehrin stadyumlarının konumuna dikkat çekmek gerekir. Bu çalışmada İzmir Atatürk Stadyumu, Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu ve İstanbul Atatürk Olimpiyat Stadyumu'nun kentteki konumları ulaşım açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda; stadyumların kent merkezinin dışında, otoyol ve ulaşım hatlarına yakın olacak şekilde tasarlanması ile atmosfere etki eden CO₂ emisyonunun ulaşım kaynaklı etkisinin azalacağı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, Küresel ısınma, Sera gazı emisyonu, Stadyum, Ulaşım

The Effect of the Stadiums on Climate Change Depending on Location and Transportation: The Case of Turkey

ABSTRACT

As a consequence of global warming, climate also has been changing. Transportation is one of the sector that have an adverse impact on global climate change and speed up such an impact day by day. This sector forms the 23 percent of greenhouse gas emission in the atmosphere. Football is the most popular sport branch not only in Turkey but in the world, also. Therefore, football stadium structures are equally important as well. It is necessary to underline the location of the stadiums in a city that provide a high level of participation to the transportation at certain times of the year. In this study, the locations of Izmir Ataturk Stadium, Konya Metropolitan Municipality Stadium and Istanbul Ataturk Olympic Stadium in the cities have been evaluated in terms of transportation. As a result of this evaluation, it has been put forward that the transportation related effect of CO₂ emissions effecting the atmosphere will be reduced by designing the stadiums outside the city center and close to the highways and transportation lines.

Keywords: Climate change, Global warming, Greenhouse gas emission, Stadium, Transportation

I. GİRİŞ

İnsanların zaman içinde yapmış olduğu eylemlerden kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonlarının çevreye büyük zararları olmaktadır. Bu zararlardan en önemlisi iklim değişikliğidir. Dünya atmosferine etki eden önde gelen sera gazı emisyonları %82 karbondioksit (CO₂), %10 metan (CH₄), %5 nitröz oksit (N₂O) ve %3 florlu gazlardır. Sera gazı emisyonlarının büyük çoğunluğuna sebep olan ulaşımın, bir yerden bir yere gidebilmek amacıyla tercih etmiş olduğu ulaşım biçimi, çevreye vermiş olduğu etkinin derecesini belirlemektedir [1]. Fosil yakıtlı ulaşım araçlarının trafikte geçirdiği süreler arttıkça çevreye verilen zararlar gün geçtikçe artmaktadır.

Spor, toplumlar için önem arz etmektedir. İnsanlar, spor etkinliklerine katılım sağlarken çevreye olumsuz etkiler sağlayabilmektedir. Birleşmiş Milletler bu durum için şu yorumda bulunmuştur: “Spor etkinlikleri, spor tesisleri, spor faaliyetleri ve spor malzemeleri üretimi doğal çevre üzerinde bir etkiye sahiptir”. Spor etkinliklerine katılım sağlayan insanların tercih etmiş olduğu ulaşım yönteminin çevresel sürdürülebilirlik üzerinde olumsuz etkisi olabilmektedir. Bu katılımcıların spor organizasyonunun düzenlendiği yere ulaşım sağlamak için uçak, araba, otobüs veya tren gibi ulaşım yöntemlerinden birini seçmesi gerekmektedir. Yakıtı fosil yakıtlardan sağlanan ulaşım biçiminin seçilmesiyle CO₂ emisyonuna neden olunabilir veya bisiklet, yürüyüş gibi ulaşım sayesinde emisyonlardan kaçınılabılır [1]. Küresel çaptaki emisyonların %70’ini karayolu, %12’sini havayolu, %11’ini denizyolu, %2’sini demiryolu oluşturmaktadır [2]. 2024 Avrupa Futbol Şampiyonası için aday olan Almanya ve Türkiye’nin ulaşım altyapısı kıyaslandığında; UEFA, Almanya’yı merkezi konumu, iyi seviyede ve gelişmiş olan havayolu, demiryolu ve karayolu ağı ile uluslararası seyircilerin erişimini kolaylaştıran ulaşım alternatifleri açısından olumlu bulurken, Türkiye’nin ulaşım altyapısı ve çeşitliliğini yetersiz bulmuştur [3]. Avrupa’da 25,6 milyon izleyici büyük ölçekli spor etkinliklerine katılmak için seyahat etmektedir. 25,6 milyon seyirci 210.000 ton CO₂ emisyonu üretir ve her birey tarafından 8 kg CO₂ salınır [4]. Vancouver’daki 2010 Olimpiyat Kış Oyunlarında üretilen 268.000 ton CO₂ emisyonunun %70’ine karşılık gelen 187.000 tonunu ulaşım oluşturmaktadır. Güney Afrika’daki 2010 Dünya Kupası’nda ulaşım, toplam emisyonun %86’sına denk gelen 2.8 milyon ton CO₂ emisyonundan sorumludur. 2005 yılında Almanya’daki tüm spor etkinliklerinin neden olduğu CO₂ emisyonunun %90’ından fazlasını ulaşım oluşturmaktadır [1]. Şehir dışında düzenlenen spor organizasyonlarına giden kitlenin yanı sıra bir de kendi şehrindeki etkinliğe katılım sağlamak için ulaşım araçlarından birini tercih etmek durumunda olan seyirciler bulunmaktadır. Bu noktada stadyumların kentteki konumları önemli olmaktadır. Stadyumların kentteki konumuna göre çevreye vermiş olduğu etki daha az ya da daha çok olacaktır.

Yapılan literatür araştırmalarında, stadyumun kentteki konumunun atmosferdeki CO₂ emisyonu miktarıyla bağlantısının olduğu çok sayıda makale ve yayın olduğu tespit edilmiştir [1],[4]-[9]. Stadyumların kentteki yerleşimleri üç şekilde olmaktadır: Şehir merkezinde veya yakın çevresinde konum, şehir içindeki konum, banliyölerde konum [5]. Bu çalışmada Türkiye’den seçilmiş olan kent merkezindeki İzmir Atatürk Stadyumu, kent içindeki Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu ve banliyödeki İstanbul Atatürk Olimpiyat Stadyumu’nun ulaşım nedeniyle atmosferde oluşturacağı CO₂ etki düzeyleri değerlendirilerek stadyum inşaatı için kentteki en uygun bölgenin tespiti amaçlanmıştır. Böylelikle özellikle maç günlerinde yoğun kalabalığın ulaşımından kaynaklanacak CO₂ emisyonunun azaltılmasına katkıda bulunulması hedeflenmiştir.

II. KURAMSAL ARKA PLAN

A. AÇIK YEŞİL ALANLARIN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Yeşil alanların ve bitki örtüsünün sıcaklıkları düşürücü etkisi bulunmaktadır. Yeşil alanların azalması; özellikle kent merkezindeki yeşil alanların ve bitki örtüsünün azalması ve tahrip edilmesi ısı emilimini artırıcı etki gösterecektir. Bina ve yüzeylerdeki ısı emilimi çevreye yayılıp önemli derecede sıcaklık

artışına neden olacaktır. Kentteki ağaç miktarı artırılarak kentsel ısı adaları azaltılabilmektedir. Ağaçların gölgelendirme, rüzgârı önleme, terleme-buharlaştırma özellikleri sayesinde binalarda yazın soğutma için harcanan enerji azaltılabilmektedir. Kent ağaçları, enerji tasarrufunun yanı sıra atmosferdeki CO₂ oranının azaltılmasında da büyük rol oynamaktadır [10]. Kent nüfusunun özellikle son yıllarda artış göstermesiyle birlikte yapılaşma da beraberinde artmıştır. Bina inşaatı için gerekli alanın yaratılabilmesi için var olan yeşil alanların tahrip edilmesine bir de kentin yoğun hava kirliliği eklenince küresel ısınmaya negatif yönde etki gözlenmektedir. Özellikle stadyum gibi inşaatı için geniş alanlara ihtiyaç duyulan yapılar, çok fazla yeşil alan kaybına neden olabilmektedir.

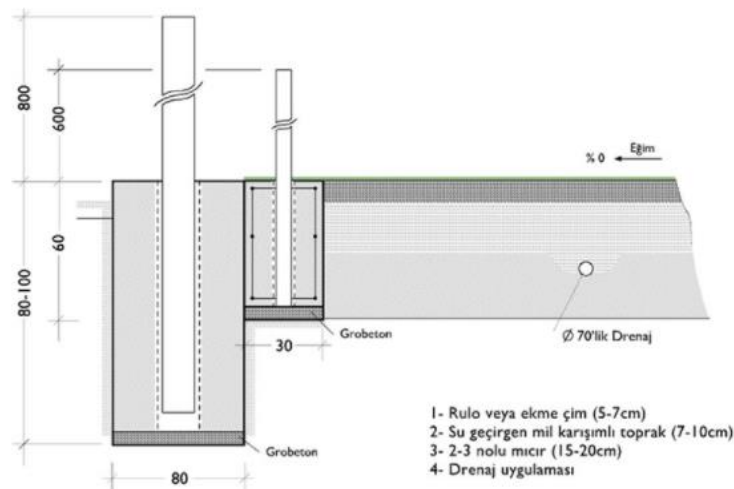
Rusya'da gerçekleştirilen 2018 FIFA Dünya Kupası için inşa edilen Spartak Stadyumu'nun inşaat nedeniyle çevreye verdiği zararı azaltabilmek amacıyla çevre düzenlemesine gidilmiştir. 280.000 m² olan toplam stadyum arazisinin 80.000 m² alanı yeşil alan olarak ayrılmıştır. Çevre düzenlemesi için yalnızca Rusya'nın orta kesiminde doğal olarak yetişen bitki türleriyle bir habitat oluşturulmuştur [8]. Yeşil alanlar enerji tasarrufu, atmosferde daha az karbondioksitin tutulmasını, sera etkisinin azaltılmasını, erozyonun önlenmesini, su dengesini, biyolojik çeşitliliğin korunmasını, oksijen üretilmesini sağlayarak ve sıcaklığın düşürülmesine katkı sağlayıp serinlik etkisi yaratarak iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltabilmektedir. Bu nedenle bir alanı yapılaşmaya açarken mevcut yeşil alanlara müdahalede bulunmadan stadyum yapımı düşünülmelidir. Ayrıca olabildiğince stadyum alanlarının çevreye verdiği zararı azaltabilmek amacıyla stadyum çevresinde ve hatta stadyumun çeperinde ve zemininde yeşili barındıran tasarımların yapılması sağlanmalıdır.



(a)

(b)

Şekil 1. (a) Spartak Stadyumu'nun çevre düzenlemesi ve (b) Dalian Shide Stadyumu'nun yeşil duvarları [8]-[11]



Şekil 2. Doğal çim futbol sahasının altyapı detay kesiti [12]

B. STADYUMLARIN KENTTEKİ KONUMLARI

Araştırmacılara göre spor tesisleri kentte üç konumda bulunmaktadır: şehir merkezinde veya merkezin yakınındaki konum, şehir içindeki konum ve banliyölerdeki konum. Spor tesislerinin şehir merkezinde konumlanmasının ortaya çıkışı, tarihi nedenlere dayanmaktadır. Eski zamanlarda spor tesisi, kent yerleşkesinin merkezinde değil de yakın çevresinde inşa edilmesine rağmen yerleşimin zamanla şehir dışına doğru genişlemesiyle spor tesisleri merkezi konumda kalmıştır. 1990'ların başından itibaren spor tesislerinin şehir merkezinde olmasının bir başka nedeni de Amerika Birleşik Devletleri gibi birçok şehrin ekonomilerini canlandırmak istemeleridir. Bu nedenle 1997 yılına kadar spor tesislerinin %50'sinden fazlası şehir merkezinde inşa edilmiş olup hentbol ve buz hokeyinde bu oran daha da yüksek olmuştur [5]. Stadyumun kent merkezinde bulunmasının bu iki nedenine bakıldığında biri kentleşmenin getirmiş olduğu büyümenin sonucundan kaynaklanırken bir diğer nedenin ekonomiyi hareketlendirmek amacıyla bilinçli olarak yapıldığı görülmektedir. Kent merkezlerine bakıldığında yeme-içme, sosyal donatılar gibi bireyin ihtiyaç duyabileceği her türlü imkân ulaşmanın kolaylığı görülmektedir. Bu nedenlerden stadyumu kent merkezinde inşa etmenin cazip bir tarafı olduğu görülmekle birlikte kentin sıkışıklığı nedeniyle maç günlerinde trafik sıkıntısı olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Spor tesislerinin ne şehrin tam merkezinde ne de çok uzağında olduğu bir diğer lokasyon tercihi de şehrin içinde olması durumudur. Bu tercihin altında yatan neden, tesis için daha büyük alana ihtiyaç duyulması nedeniyle yeni yer arayışı; fakat bunun mevcut alanda gerçekleştirilemeyişi ve izleyici sayısının düşmesini önlemek adına şehrin çok uzağına gidilmek istenmemesidir [5].

Amerika Birleşik Devletleri'nde mevcut spor tesislerinin genişlemeye ve modernizasyona ihtiyaç duyması; fakat bunun merkezden ziyade ucuz banliyö arazilerinde yapılmasının daha kolay olması, aynı zamanda merkezdeki mevcut tesisin bulunduğu arazinin iyi bir fiyata satılmasıyla ekonominin canlandırılması düşüncesiyle 1960'lar ve 1970'lerde spor tesisleri banliyölerde inşa edilmiştir. Tesislerin banliyölerde inşa edilmesinin başka nedenleri de otoyola yakın olması sayesinde ulaşımının kolay olması, seyircilerin yakınlarda yaşayanlara rahatsızlık vermeyecek olması ve o dönemlerde banliyölerin spor tesisine olan ilgiyi artıracak alışveriş merkezi, otel gibi yapılarının yapımına müsait olmasıydı [5]. Banliyölerde inşa edilecek stadyumların ulaşım alt yapısı doğru kurgulandığı takdirde diğer konum tercihlerine göre avantajlı olabileceği anlaşılmaktadır. Her ne kadar banliyöler kent merkezleri kadar canlı sosyal donatılara sahip olamasa da stadyumda çalışan personelin ve maç günlerinde stadyuma gelecek seyircilerin yeme-içme vb. ihtiyaçları stadyum içerisindeki mekânsal çözümlerle giderilebilir.

C. YEŞİL BİNA SERTİFİKA SİSTEMLERİ VE FIFA KRİTERLERİNDE ULAŞIMIN ÖNEMİ

Çevreye verilen zararı azaltmak adına çeşitli önlemler alınmaktadır. Bu önlemleri sağlayan yapılara LEED, BREEAM, Green Star, CASBEE, SBAT, DGNB gibi yeşil bina sertifikaları verilmekte aynı zamanda bu sertifikaların kriterlerini sağlayan stadyumlar spor organizasyonunun yapılacağı stadyum olarak seçilme konusunda bir adım öne geçebilmektedir. Bu sertifikalara ek olarak ve stadyum tasarımında standartları belirleyen FIFA kriterlerinde de çevreye verilen zararı azaltmak için önlemler alınmış olup bunlardan biri de ulaşımıdır.

C.1. LEED Sertifikasında Ulaşım Kriteri

Amerikan Yeşil Bina Konseyi tarafından oluşturulan LEED Sertifikasında konum ve ulaşım kategorisi Leed Versiyon 4 ile LEED Sertifikası kriterlerinden biri olmuştur. Konum ve ulaşım kategorisiyle birlikte küresel ısınmaya sebep olan ve binaya ulaşım sağlayanların kullandığı araçlardan atmosfere salınan sera gazının (karbon ayak izi) azaltılması amaçlanmıştır. Binanın doğal kaynakların ve hasat veren topraklarda konumlanmaması, bunun yerine sosyal yaşama yakın olması gerektiği

belirtilmektedir. Konum ve ulaşım kategorisinin oluşturduğu krediler bina çevresindeki konut yoğunluğu, binanın su kaynaklarına uzaklığı, toplu taşıma araçlarına konum, binadaki bisiklet park alanları ve yeşil araç park ve şarj istasyonlarıdır [13].

C.2. BREEAM Sertifikasında Ulaşım Kriteri

İngiliz Building Research Establishment (BRE) tarafından ilk kez 1990 yılında piyasaya sürülen BREEAM Sertifikası, kategorilerinden olan ulaşım derecelendirme için yapılan puanlamada %8'lik bir payla bisiklet ve toplu taşıma araçlarının kullanımını teşvik etmektedir [14]. BREEAM Sertifikasının atmosferdeki CO₂ emisyonu oranını azaltmak adına taşıt kullanımını sınırlandıracak yönde çalışmalar yapması çevresel kirliliği önleyecek önemli bir adımdır.

C.3. Green Star Sertifikasında Ulaşım Kriteri

Green Star, 2003 yılında Avustralya Yeşil Bina Konseyi tarafından tanıtılmış olup, Avustralya'nın çevresel sürdürülebilirliği derecelendirmek için ulusal olarak tanınan ve gönüllü tek sistemidir. Green Star Sertifikasında topluluklar, tasarım ve bina, iç mekânlar, performans olarak 4 adet derecelendirme sistemi mevcuttur. Bunlardan topluluklar derecelendirme sistemi hariç diğer üçünde ulaşım ile ilgili kriter bulunmaktadır. Tasarım ve bina, iç mekânlar derecelendirme sisteminde ulaşım ile ilgili olarak araba taşımacılığının bağımlılığını azaltan ve alternatif ulaşım yöntemlerini teşvik eden projeler ödüllendirilir. Performans derecelendirme sisteminde ise yolcuların tek yolcu kapasiteli araçlara bağımlılığını azaltan projeler ödüllendirilir ve alternatif ulaşım yöntemlerinin kullanılmasını teşvik eder [15]. Tek kişilik araçların gidip gelmek için kullanılması, emisyonlar ve devam eden kullanım ve fosil yakıtlara bağlılık açısından önemli bir çevresel etkiye sahiptir. Binalar trafikten doğrudan sorumlu olmasalar da, buldukları yere ve ulaşım ile ilgili hizmetlere veya sundukları seçeneklere göre işe gidip gelme alışkanlıklarını etkileyebilirler. "Ulaşım" kategorisi, tek kişilik araç kullanımını engelleyen ve toplu taşıma, yürüme veya bisiklet gibi alternatif ulaşım yöntemlerinin kullanımını teşvik eden stratejileri ve eylemleri ödüllendirir [16]. Green Star Sertifikasında tek kişilik araç kullanımı sınırlandırılıp toplu taşımaya yönlendirilerek trafiğe çıkan araç sayısı azaltılmış olmaktadır.

C.4. CASBEE Sertifikasında Ulaşım Kriteri

2004'te Japonya Sürdürülebilir Bina Konsorsiyumu tarafından geliştirilen yeşil bina sertifika sistemi olan CASBEE'de yapının çevresel kalitesi ve performansı kategorisinin servis kriteri altında binaya ulaşım maddesi ele alınmaktadır [17].

C.5. SBAT Sertifikasında Ulaşım Kriteri

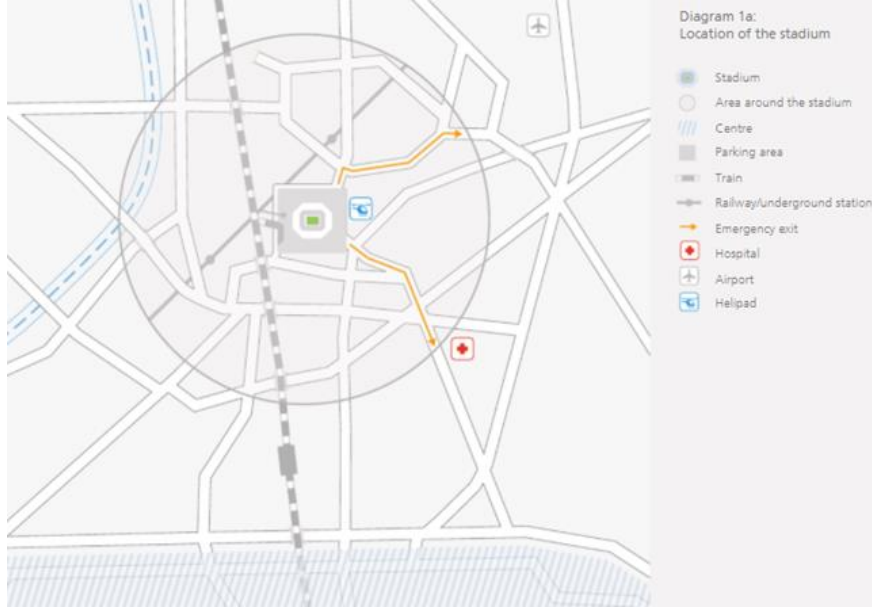
2010 Dünya Kupası maçlarının oynanacağı Güney Afrika Cumhuriyeti tarafından iyileştirilecek veya yeniden inşa edilecek stadyumların çevreci olması adına Güney Afrika Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Konseyi (CSIR) SBAT'ı geliştirmiştir. SBAT, FIFA kriterleri dışında stadyumların sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiği ilk çalışmadır. SBAT kapsamında stadyumlar çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik anlamında kapsamlı değerlendirilmektedir. Stadyuma ulaşım, yaya ve bisiklet yolları sosyal sürdürülebilirlik başlığı altında değerlendirilmektedir [17].

C.6. DGNB Sertifikasında Ulaşım Kriteri

DGNB, 2008 yılında Almanya'da oluşturulmuştur. DGNB sertifikasında arsa ana başlığı altında ulaşım erişimi, belirli kullanım tesislerine erişim alt başlığı ile ulaşım konusu sertifika alımlarında aranan kriterlerden biridir [18].

C.7. FIFA Kriterlerinde Ulaşım Kriteri

Dünyanın dört bir yanındaki birçok ünlü stadyum, her yönden komşu yollar, binalar ve kanallar ile son derece gelişmiş konumlardadır. Bir yerleşim yeri banliyö haline geldikçe ve toplu taşıma araçlarından izole edildikçe, gerekli ek otoparkı barındırmak için stadyum alanlarının daha büyük hâle gelmesi gerekecektir. Bu durumda, ana yollara ve otoyollara rahat ve çoklu erişim önemlidir. İdeal bir dünyada, en uzak konum muhtemelen toplu taşımaya, ana yollara, otoyollara ve oyunlar oynanmadığında başkaları tarafından kullanılabilir parklara iyi erişime sahip büyük bir şehir merkezi alanı olacaktır. Uluslararası etkinliklere ev sahipliği yapma hırsına sahip bir stadyum, otellere, aktif ticari ortamlara ve en az bir uluslararası havalimanına rahatça ulaşılabilirse, etkinlik sahipleri için daha caziptir. Ulaşım altyapısının geliştirilmesi maliyetlidir. Bir stadyumun konumuna ilişkin nihai kararın, mevcut toplu taşıma altyapısına (demiryolu, otobüs, taksi ve havaalanı) ne kadar yakın olduğuna bağlı olması önerilmektedir [19]. FIFA Kriterleri stadyum tasarımı için gerekli standartları belirlerken aynı zamanda günümüzün sorunlarından olan iklim değişikliğini azaltmaya yönelik maddeleri de bünyesinde bulundurmaktadır. Böylelikle özellikle büyük organizasyonlarda yer almak isteyen stadyumlar FIFA Kriterlerini sağlama konusunda bir nevi zorunlu tutularak stadyum inşaatı ve kullanımı sırasında çevre kirliliğinin daha az olması sağlanmaktadır.



Şekil 3. FIFA kriterlerine göre stadyumun yakın çevresi ve ulaşım araçlarına göre konumu [19]

III. MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında literatürde de bahsedilmiş olan kent içinde 3 tür konuma sahip olan stadyumların her bir türü için 1'er adet stadyum seçilmiştir. Bu stadyumlarda gerçekleştirilecek etkinliğe stadyumun bulunduğu şehirden ve şehir dışından katılım gösterecek izleyicilerin ulaşım alternatifleri tespit edilmiş olup, bu ulaşım biçimlerinin atmosfere vereceği CO₂ emisyonunun stadyumun konumu ile ilişkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Stadyumlar, izleyici kapasitesi fazla olan stadyumlar arasından seçilmiştir. İncelenecek stadyumların kapasite gözetilerek seçilmesinin nedeni spor organizasyonuna gelecek çok sayıda izleyicinin araç trafiğine aynı anda katılım sağladığında atmosfere verdiği CO₂ emisyonunu daha iyi ortaya koyabilmektir. Şehir merkezindeki stadyum için İzmir ilindeki İzmir Atatürk Stadyumu, şehir içindeki

stadyum örneği için Konya ilindeki Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu, banliyödeki stadyum örneği için de İstanbul ilindeki Atatürk Olimpiyat Stadyumu seçilmiştir. Bu 3 adet stadyumun Google Maps ve Moovit uygulamaları aracılığıyla metro, otobüs ve tramvay durağına; havalimanı, otopark ve tren garına olan mesafesi ve süresi incelenmiştir.

Stadyuma şehir içinden ulaşım sağlayacakların toplu ulaşım alternatiflerini ve stadyuma yakın durak isimlerini öğrenebilmek amacıyla Moovit uygulaması kullanılmıştır. Durak isimleri öğrenildikten sonra bu toplu taşıma araçlarına stadyum çıkışı erişim sağlamak isteyen izleyicilerin stadyum-durak arası yürüme mesafesi ve süresini tespit edebilmek amacıyla Google Maps ve Moovit uygulamalarından faydalanılmıştır. Google Maps uygulamasında öncelikle arama bölümüne stadyum ismi girilip, sonrasında “yol tarifi al” seçilerek buradan durak ismi yazılmıştır. Durak-stadyum arasındaki yürüme mesafesi ve süresi öğrenilmek istendiği için uygulamadaki ulaşım alternatiflerinden yürüme seçeneği seçilmiştir. Bu durum her 3 stadyumun metro, tramvay veya otobüs duraklarına olan mesafesini ve süresini öğrenmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Google Maps aracılığıyla bilgisine erişim sağlanamayan mesafe ve süreler için de Moovit uygulaması kullanılmıştır.

Stadyumdaki etkinliğe şehir dışından katılacakların uçak, tren veya otobüs ulaşım araçlarından birini tercih etmeleri durumunda havalimanı, tren garı veya otopark stadyuma araba ile yapılacak yolculuk mesafesini ve süresini bulabilmek için Google Maps uygulamasından yararlanılmıştır. Uygulamaya stadyum ismi yazıldıktan sonra “yol tarifi al” seçilip o ildeki havalimanı, tren garı veya otopark ismi yazılmıştır. Bu konulardan stadyuma araba ile gerçekleştirilecek ulaşımın mesafesi ve süresi öğrenilmek istendiği için uygulamada ulaşım seçeneklerinden araba seçilmiştir.

Şehir içi ve şehir dışından stadyuma ulaşım imkânı sunan toplu taşıma araçlarının yanı sıra bir de özel araçlarıyla stada gelebilecek olanlar için stadyumların otopark kapasitelerini öğrenmek amacıyla literatür araştırılması yapılmıştır.

IV. BULGULAR

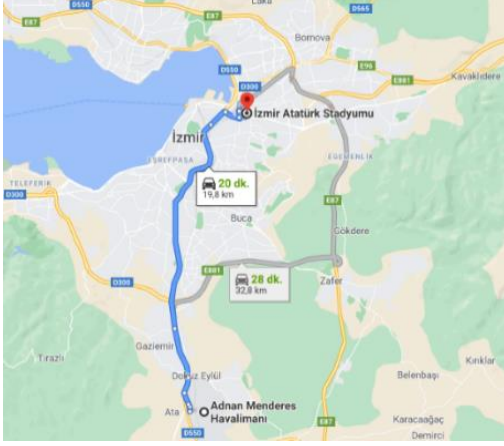
A. ŞEHİR MERKEZİNDEKİ ÖRNEK İÇİN SEÇİLEN STADYUM

A.1. İzmir Atatürk Stadyumu-Konak/İzmir

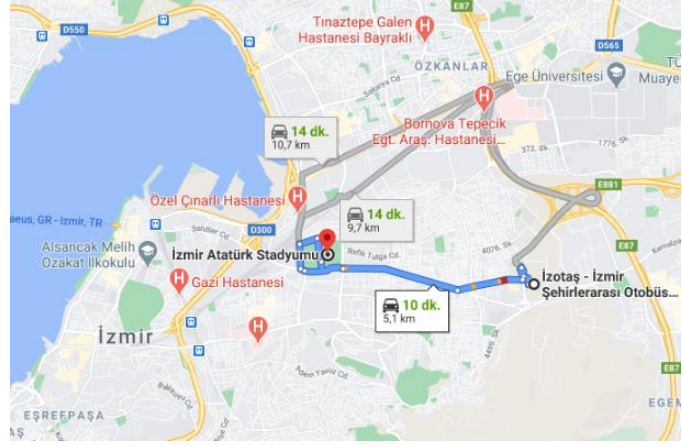
İzmir Atatürk Stadyumu, 1971 yılında Akdeniz Oyunları için inşa edilmiş olup Türkiye'nin en büyük atletizm sahasına sahiptir [20]. Koltuklanma çalışmasından sonra kapasitesi 51.337 olan stadyum [21], 16 Mayıs 1981'de Göztepe-Karşıyaka maçında 80.000 izleyiciyle “İkinci Ligde seyirci rekoru kırılan müsabaka” olarak anılmaktadır [22].



Şekil 4. İzmir Atatürk Stadyumu ve çevresi [20]

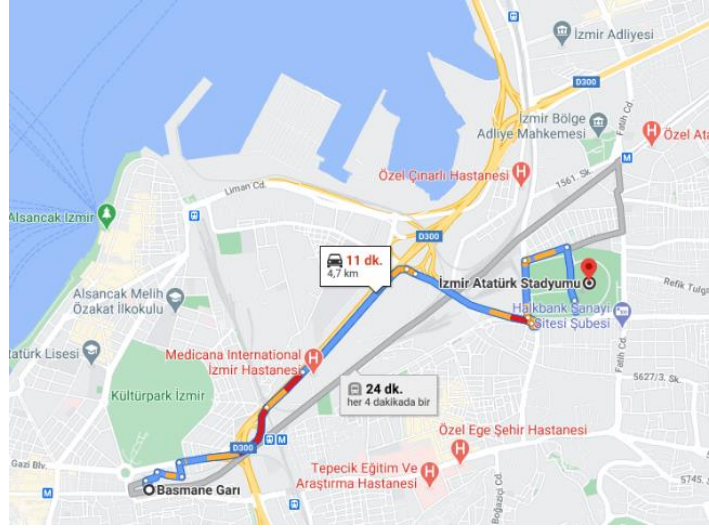


(a)



(b)

Şekil 5. İzmir Atatürk Stadyumu'nun (a) havalimanı ve (b) otobüs terminaline olan uzaklığı [23],[24]



Şekil 6. İzmir Atatürk Stadyumu'nun tren garına olan uzaklığı [25]

Şekil 5 ve 6'dan anlaşıldığı üzere; İzmir Atatürk Stadyumu'nda oynanacak maçlara şehir dışından gelecek izleyicilerin tercih edebileceği ulaşım araç tercihleri uçak, otobüs veya tren olabilir. Stadyumun Adnan Menderes Havalimanına uzaklığı 19,8 km olmak üzere araba ile varış süresi tahmini 20 dakikadır. Stadın İzmir Şehirlerarası Otobüs Terminaline olan uzaklığı ise 5,1 km olup araba ile tahmini varış süresi 10 dakikadır. Stadyumun Basmane Garına olan uzaklığı 4,7 km olmak üzere araba ile varış süresi tahmini olarak 11 dakikadır.

İzmir Atatürk Stadyumu'nun yakınlarında Birinci Sanayi Sitesi, Kamil Tunca Bulvarı, Taç Sanayi, Çamdibi Sağlık Ocağı, Halkapınar Spor Salonu ve Mersinli otobüs durakları bulunmaktadır [26].

Tablo 1. Otobüs duraklarının İzmir Atatürk Stadyumu'na olan yürüyüş mesafesi ve yaklaşık süresi [26]

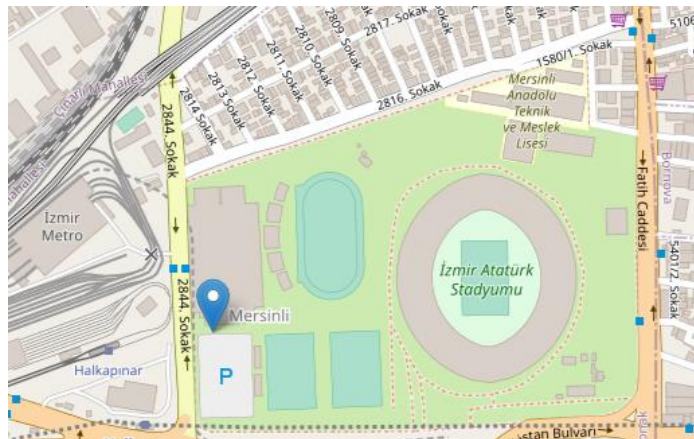
Otobüs Durak İsmi	Mesafe	Süre (tahmini)
Birinci Sanayi Sitesi Durağı	282 metre	6 dakika
Kamil Tunca Bulvarı Durağı	461 metre	8 dakika
Taç Sanayi Durağı	467 metre	8 dakika
Çamdibi Sağlık Ocağı Durağı	509 metre	9 dakika
Halkapınar Spor Salonu Durağı	579 metre	10 dakika
Mersinli Durağı	844 metre	13 dakika

İzmir Atatürk Stadyumu'nun yakınlarında Halkapınar hafif raylı durağı bulunmaktadır [26]. Stadyumun Halkapınar durağına olan yaklaşık yürüyüş mesafesi 1,1 km, tahmini varış süresi 14 dakikadır [27].

İzmir Atatürk Stadyumu'nun yakınlarında Halkapınar metro durağı bulunmaktadır [26]. Stadyumun Halkapınar metro durağına olan yaklaşık yürüyüş mesafesi 1,5 km, tahmini varış süresi 18 dakikadır [28].



Şekil 7. İzmir Atatürk Stadyumunun metro, tramvay ve en yakın otobüs durağına yürüyüş mesafesi ve süresi [29]



Şekil 8. İzmir Atatürk Stadyumu Otoparkı [30]

Şekil 8’de de görüldüğü üzere; İzmir Atatürk Stadyumu’na ait açık otopark bulunmaktadır [30]. Otoparkı bulunmasına rağmen, otopark sorunu yaşanmakta yeterli gelmemektedir. Otopark yetersizliğinin olması stadyuma kendi araçlarıyla gelen seyircilerin park sıkıntısı yaşamasına neden olmaktadır.

B. ŞEHİR İÇİNDEKİ ÖRNEK İÇİN SEÇİLEN STADYUM

B.1. Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu-Selçuklu/Konya

1950 yılında yapılmış olan stadyumun (Atatürk Stadyumu) güncel gereksinimleri karşılayamadığı farkına varılınca Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından ihtiyaçlara yönelik yeni bir stadyum projesi hazırlanmasına karar verilmiştir. Konya Atatürk Stadyumu yerleşim olarak kent merkezine yalnızca 1 km uzaklıkta olmasına ve kent içi ulaşım ağlarına ve Konya Tren Garı’na yakın olmasına rağmen yeni yapılması planlanan stadyumun yeri konusunda başka bir konum tercih edilmiştir. Yeni bir konumun tercih edilme nedeni ise eski stadyum yerleşiminin çevresinin zaman içerisinde gelişip büyümesiyle, stadyumun kent içinde sıkışmasıdır [6].



(a)



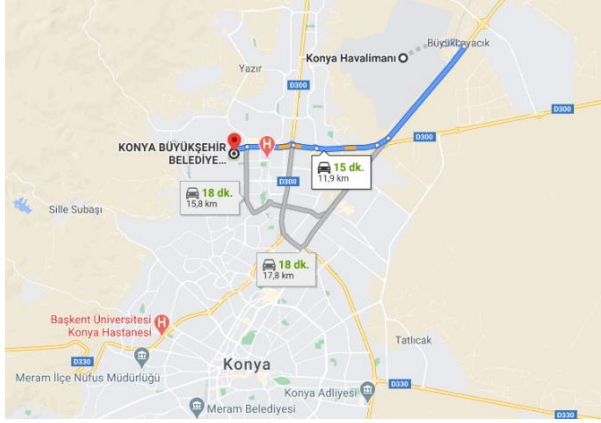
(b)

Şekil 9. Konya Atatürk Stadyumu’nun (a) 1970’li yıllardaki ve (b) son görünümü [6]

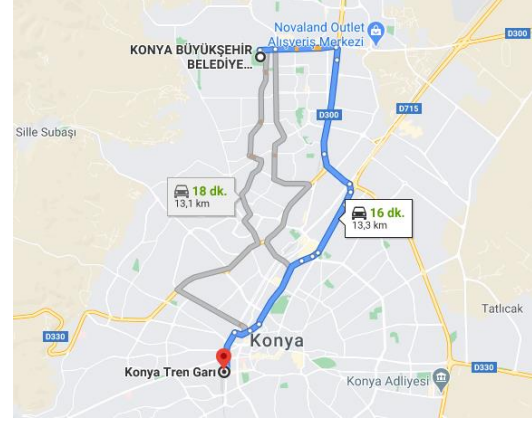
Yeni inşa edilecek stadyum için kent merkezine 9 km uzaklıktaki Selçuklu ilçesinin Parsana Mahallesi’nde 400.000 m²’lik alan tercih edilmiştir. Tercih edilen konum, şehrin yeni genişleme bölgesi üzerinde olması ve havalimanı ve toplu ulaşımlara yakınlığı göz önünde bulundurularak seçilmiştir. 2014 yılında açılan Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu’nun 41.981 seyirci kapasitesi bulunmaktadır [6].



Şekil 10. Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu ve yakın çevresinden görünüm [6]

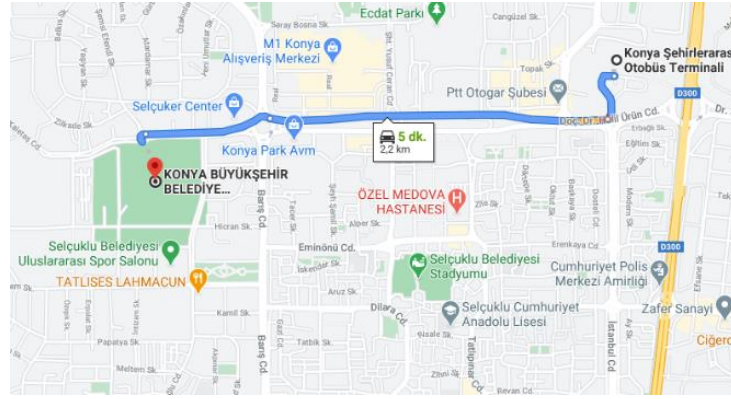


(a)



(b)

Şekil 11. Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'nun (a) havalimanına ve (b) tren garına uzaklığı [31], [32]



Şekil 12. Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'nun otobüs terminaline olan uzaklığı [33]

Şekil 11 ve 12'den de görüldüğü üzere; Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'nda oynanacak maçı izlemek amacıyla şehir dışından gelecek olan izleyiciler havalimanından stadyuma olan 11,9 km mesafeyi araba ile tahmini 15 dakikada, tren garından stadyuma olan 13,3 km mesafeyi araba ile tahmini 16 dakikada, otogardan stadyuma olan 2,2 km olan mesafeyi ise araba ile tahmini 5 dakikada almaktadır.

Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'nun yakınlarında İntizam Sokak, Yaşayan Sokak, Ünal Sokak, Taraftar ve Konya Dış Hastanesi otobüs durakları bulunmaktadır [34].

Tablo 2. Otobüs duraklarının Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'na yürüyüş mesafesi ve yaklaşık süresi [34]

Otobüs Durak İsmi	Mesafe	Süre (tahmini)
İntizam Sokak Durağı	711 metre	11 dakika
Yaşayan Sokak Durağı	780 metre	12 dakika
Ünal Sokak Durağı	825 metre	13 dakika
Taraftar Durağı	893 metre	14 dakika
Konya Dış Hastanesi Durağı	1230 metre	18 dakika

Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'nun yakınlarında Erenkaya hafif raylı durağı bulunmaktadır. Stadyumdan durağa yürüme mesafesi 3142 metre, tahmini yürüme süresi 42 dakikadır [34].



Şekil 13. Konya Büyükşehir Belediye Stadi'nin tramvay/en yakın otobüs durağına yürüyüş mesafesi-süresi [35]

Stadyumun 120 engelli araç, 112 otobüs olmak üzere toplam 1762 araçlık açık otoparkının yanı sıra bodrum katında 500 araçlık kapalı otoparkı bulunmaktadır [36].

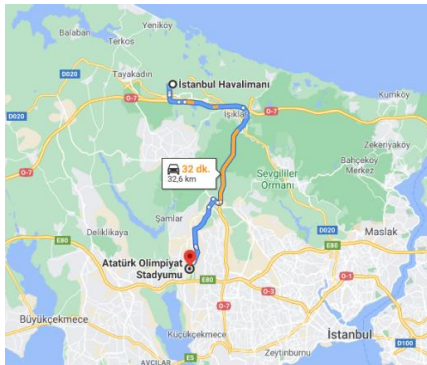
C.BANLİYÖDEKİ ÖRNEK İÇİN SEÇİLEN STADYUM

C.1. Atatürk Olimpiyat Stadyumu-İkitelli/İstanbul

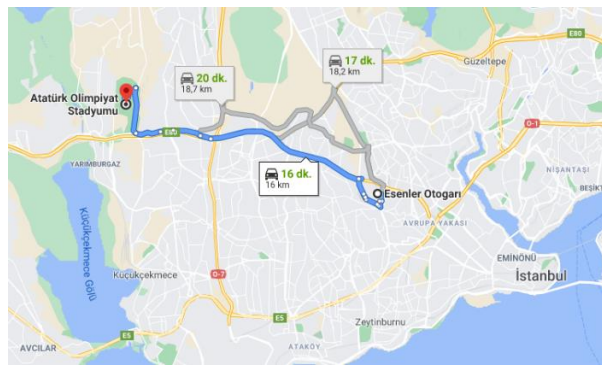
Olimpiyat oyunlarının İstanbul'da düzenlenmesi fikriyle birlikte Atatürk Olimpiyat Stadyumu'nun inşa edilme süreci başlamıştır. Stadyumun 2002'deki açılışından sonraki 13 yıllık sürede yakın civarda Başakşehir, Bahçeşehir vb. nüfusu milyonu aşan yerleşim bölgeleri oluşmuş, metro yapımı tamamlanmış ve araba ile ulaşım yolları düzenlenmiştir [37]. Stadyum günümüzde 76.761 seyirci kapasitelidir [38].



Şekil 14. Atatürk Olimpiyat Stadyumu ve yakın çevresinden görünüm [39]

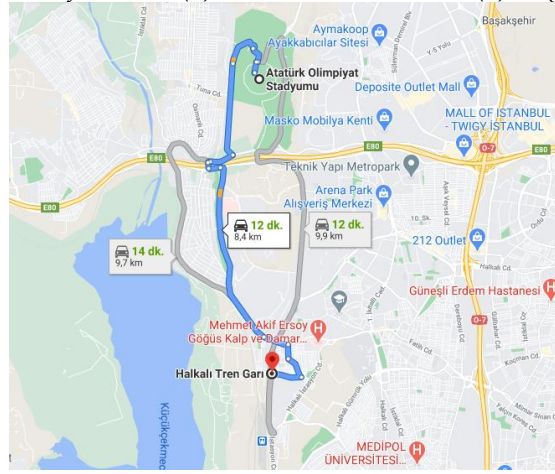


(a)



(b)

Şekil 15. Atatürk Olimpiyat Stadyumu'nun (a) İstanbul Havalimanı ve (b) otogara olan uzaklığı [40],[41]



Şekil 16. Atatürk Olimpiyat Stadyumu'nun tren garına olan uzaklığı [42]

Şekil 15 ve 16'dan da anlaşıldığı üzere; Atatürk Olimpiyat Stadyumu'nda düzenlenecek maçları izlemek için şehir dışından gelenler, stadyuma uzaklığı 32,6 km olan İstanbul Havalimanı'nı tercih etmeleri durumunda stadyuma araba ile tahmini 32 dakikada varabilmektedir. Otobüsle gelmeyi tercih edenler, stadyumdan Esenler Otogarı'na olan 16 km mesafeyi araba ile tahmini 16 dakikada almaktadır. Trenle gelen izleyiciler ise stadyumdan Halkalı Tren Garı'na olan 8,4 km mesafeyi araba ile tahmini 12 dakikada alabilmektedir.

Atatürk Olimpiyat Stadyumu yakınlarında Olimpiyat Stadı, Kuzey Girişi ve Olimpiyatköy Metro otobüs durakları bulunmaktadır [43].

Tablo 3. Otobüs duraklarının Atatürk Olimpiyat Stadyumu'na yürüyüş mesafesi ve yaklaşık süresi [43]

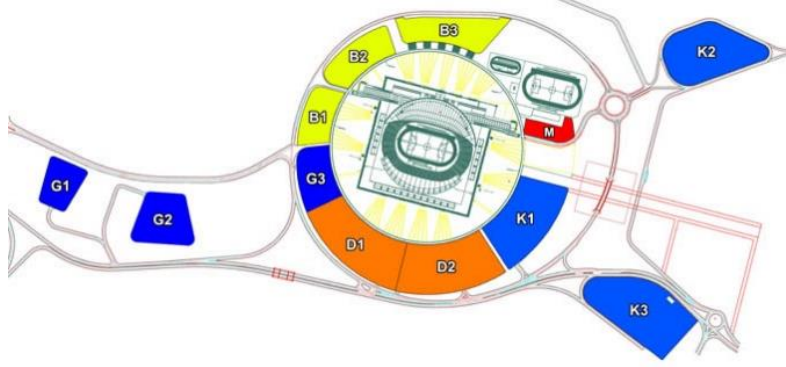
Otobüs Durak İsmi	Mesafe	Süre (tahmini)
Olimpiyat Stadı Durağı	718 metre	13 dakika
Kuzey Girişi Durağı	762 metre	14 dakika
Olimpiyatköy Metro Durağı	1201 metre	19 dakika

Atatürk Olimpiyat Stadyumu yakınlarında Olimpiyat metro durağı bulunmakta olup stadyuma yürüyüş mesafesi 750 metre, yürüyüş süresi ise tahmini 11 dakikadır [44].



Şekil 17. Atatürk Olimpiyat Stadyumu'nun metro ve en yakın otobüs durağına yürüyüş mesafesi ve süresi [45]

Stadyumun toplam 6.122 araç ve 404 otobüs kapasiteli otoparkı stadyumu çevrelemiştir [46].



Şekil 18. Atatürk Olimpiyat Stadyumu'nun Otoparkı [46]

D. İNCELENEN STADYUMLARIN ULAŞIM YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 4. İncelenen stadyumların ulaşım yönünden karşılaştırılması

Stadyumlar	İzmir Atatürk Stadyumu	Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu	Atatürk Olimpiyat Stadyumu
Kentteki Konumu	Şehir merkezi	Şehir içi	Banliyö
Seyirci Kapasitesi	51.337	41.981	76.761
Otopark Kapasitesi	-	2.262	6.526
Havalimanına Uzaklık	19,8 km	11,9	32,6
Otogara Uzaklık	5,1 km	2,2 km	16 km
Tren Garına Uzaklık	4,7 km	13,3 km	8,4 km
Toplu Ulaşım Aracı	Otobüs, Metro, Tramvay	Otobüs, Tramvay	Otobüs, Metro

İzmir Atatürk Stadyumu şehir merkezinde, Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu da şehir içinde olduğu için maç günlerinde stadyumu aynı anda boşaltan çok sayıda izleyici nedeniyle yoğun trafik sıkıntısıyla karşılaşmaktadır. Kent merkezinin yoğunluğundan uzakta, banliyöde yer alan İstanbul Atatürk Olimpiyat Stadyumu düzenlenmiş ulaşım ağları sayesinde maç günü sıkıntıyı en aza indirmektedir. Stadyuma kendi araçlarıyla gelenler için İzmir Atatürk Stadyumu'nun açık otoparkı yeterli gelmemekte ve var olan trafiğe ekstra yük bindirmektedir. İzmir Atatürk Stadyumu araç çeşitliliği ve merkezden yürüyerek de erişim sağlanması açısından incelenen diğer iki stadyuma göre avantajlı olmasına rağmen maç günü kentteki trafik yoğunluğunu daha fazla artırmaktadır. Bu durum da atmosferdeki CO₂ gazı miktarını artırıp küresel ısınmaya etki ederek sonuçta küresel iklim değişikliğine olumsuz etkide bulunmaktadır.

V. TARTIŞMA

Küresel iklim değişikliğinin ciddi boyutlara ulaşması nedeniyle çevreye verilen zararı azaltmak adına önemli adımlar atılmıştır. Bu adımlardan biri spor organizasyonlarının ve bu organizasyonların gerçekleştirildiği stadyumların vermiş olduğu zararları azaltmak olmuştur. Uluslararası spor organizasyonlarının düzenleneceği ülke seçiminde yeşil bina sertifika kriterlerini ve stadyum için gereken standartları sağlayan stadyumların bulunduğu şehir tercih edilmektedir.

Yeşil bina sertifikası için enerji ve su tasarrufu, kullanıcı konforu ve güvenliği, atık yönetimi, biyoçeşitlilik, çevre koruma vb. kriterler yanında bu çalışmanın da konusunu oluşturan binanın konumu ve ulaşımı kriterini sağlamak gerekmektedir. 2018 FIFA Dünya Kupası'nın gerçekleştirildiği

Rusya'daki stadyumlardan Kazan Arena, Saint Petersburg Stadyumu, Fisht Stadyumu ve Spartak Stadyumu'nda bu kriterler mevcuttur. Spartak Stadyumu BREEAM, Saint Petersburg Stadyumu ve Kazan Arena RUSO (futbol stadyumlarının sertifikasyonu için Rus derecelendirme sistemi), Fisht Stadyumu ise hem BREEAM hem de RUSO sertifikasına sahiptir [8]. 2014 FIFA Dünya Kupası'nın gerçekleştirildiği stadyumlardan olan Castalao Stadyumu ve Fonte Nova Stadyumu LEED sertifikasına sahiptir. 2010 FIFA Dünya Kupası'na ev sahipliği yapan stadyumlardan olan Cape Town Stadyumu, Moses Mabhida Stadyumu ve Peter Mokaba Stadyumu SBAT kriterleri çerçevesinde değerlendirilmiştir [17]. Türkiye'nin stadyumdaki yeşil bina sertifikasına yaklaşımı ve uluslararası spor organizasyonları için gelişmiş ülkelerle olan rekabeti incelendiğinde çok gerilerde kaldığı tespit edilmiştir.

2024 Avrupa Futbol Şampiyonası'na ev sahipliği yapacak şehir Almanya ve Türkiye arasındaki oylamaya göre seçilmiştir. Bu iki şehrin adaylıkları UEFA kriterleri kapsamında ülkelerin vizyonu, stadyumlar, konaklama ve antrenman alanlarının durumu, ulaşım olanakları, taraftar bölgeleri ve diğer başlıklarda incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda otel kapasitesi ve sosyal altyapının yanı sıra Türkiye'nin uluslararası ulaşımının havayoluyla sınırlı olması ve organizasyonlar için seçilen şehirlerin ulaşım altyapısı yetersiz bulunmuştur [3].

Bu çalışma kapsamında incelenmiş olan İzmir Atatürk Stadyumu'na 550 m yürüme mesafesinde Emrah Ortakaya Parkı [47], Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'na 700 m yürüme mesafesinde Hicran Parkı [48], İstanbul Atatürk Olimpiyat Stadyumu'na yürüyüş mesafesi olarak 4,3 km uzaklıkta Ayazma Millet Bahçesi [49] bulunmaktadır. Bunlardan İzmir ve Konya'daki park alanları m² olarak küçük bir alan üzerine kurulmuş olup yeşil alan ve ağaçlandırma olarak yetersiz kalmıştır. İstanbul'daki Millet Bahçesi ise stadyum alanına mesafe olarak çok yakın sayılmamaktadır. Bu nedenle bu 3 stadyumun yeşil alanla olan bağının zayıf olduğu anlaşılmaktadır.

İstanbul'da bulunan Vodafone Park'ın yakınında yürüme mesafesi 1 km olan Maçka Demokrasi Parkı bulunmaktadır [50]. Konum olarak kent merkezinde yer alan bu stadyum; trafik ve gürültü kirliliğinin kesişim noktasında yer almaktadır. Özellikle maç günlerinde trafik yoğunluğu daha çok artmakta ve atmosfere verilen CO₂ miktarında artış gözlenmektedir. Maçka Demokrasi Parkı'nın sahip olduğu bol yeşil alan, emisyonu emip bu olumsuzlukların azaltılmasına yardımcı olabilme kapasitesine sahiptir. Maçka Demokrasi Parkı'nın yılın herhangi bir günü gelenlerin yanı sıra, Vodafone Park'ta gerçekleştirilecek etkinlik için gelenlere de bekleme, dinlenme, zaman geçirme imkânı sunacak rahat bir erişimi bulunmaktadır. Stadyum gibi büyük inşaat alanına sahip yapıların çevreye verdiği zararı azaltabilecek çözümler üretmek gerekir. Bu çözümlerden biri yeşil alanların sayısını ve ağaçlandırma kapasitesini artırmaktır.

VI. SONUC

Stadyumlar kentteki konumlarına göre 3 grupta incelenmiş olup, her bir durumun ulaşım sonucu atmosferdeki CO₂ emisyonuna ne oranda müdahalede bulunduğu seçilen 3 örnek üzerinden analiz edilmiştir. Kent merkezindeki stadyum örneği için İzmir Atatürk Stadyumu, kent içindeki stadyum örneği için Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu, banliyödeki stadyum örneği içinse İstanbul Atatürk Olimpiyat Stadyumu seçilmiştir.

İzmir Atatürk Stadyumu'na şehir dışından gelmek isteyenler için uçak, otobüs ve tren olmak üzere 3 çeşit ulaşım alternatifi bulunmaktadır. Trafiğin olmadığı bir günde havalimanı, otogar ve tren garından stadyuma araba ile gerçekleştirilecek yolculuk mesafesi ve süresi sırasıyla 19,8 km-20 dakika, 5,1 km-10 dakika, 4,7 km-11 dakikadır. Şehir içinden stadyuma erişim otobüs, tramvay ve metro ile sağlanabilmektedir. Stadyum ve stadyumun yakınındaki otobüs durakları arasındaki yürüme mesafesi ve tahmini süre en az 282 m-6 dakika, en çok 844 m-13 dakikadır. Stadyum-tramvay durağı arasındaki yürüyüş mesafesi 1,1 km olmak üzere tahmini varış süresi 14 dakika olmaktadır. Stadyum ve metro durağı arasındaki yürüyüş mesafesi 1,5 km olup tahmini 18 dakikada ulaşılabilir. Toplu taşıma

haricinde bir de stadyuma özel araçlarıyla gelebilecek olan izleyiciler için açık otopark bulunmasına rağmen yeterli gelmemektedir.

Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'na şehir dışından uçak, otobüs ve trenle ulaşım sağlanabilmektedir. Havalimanı, tren garı ve otogardan stadyuma araba ile gerçekleştirilecek yolculuk mesafesi ve tahmini süre sırayla 11,9 km-15 dakika, 13,3 km-16 dakika, 2,2 km-5 dakikadır. Şehir içinden stadyuma erişim otobüs ve tramvay ile sağlanabilmektedir. Stadyumdan yakınındaki otobüs duraklarına yürüme mesafesi ve tahmini süre en az 711 m-11 dakika, en çok 1230 m-18 dakikadır. Stadyum-tramvay durağı arasındaki yürüyüş mesafesi 3142 m olup tahmini varış 42 dakikada gerçekleşmektedir. Toplu taşıma dışında stadyuma özel araçlarıyla gelmek isteyenler için toplamda 2150 araçlık otoparkı bulunmaktadır.

Atatürk Olimpiyat Stadyumu'na şehir dışından gelmek isteyen izleyiciler için uçak, otobüs ve tren olmak üzere 3 çeşit ulaşım alternatifi bulunmaktadır. Havalimanı, otogar ve tren garından stadyuma araba ile gerçekleştirilecek yolculuk mesafesi ve tahmini süre sırayla 32,6 km-32 dakika, 16 km-16 dakika, 8,4 km-12 dakikadır. Şehir içinden stadyuma erişim otobüs ve metro ile gerçekleştirilmektedir. Stadyumdan yakınındaki otobüs duraklarına yürüme mesafesi ve tahmini süre en az 718 m-13 dakika, en çok 1201 m-19 dakikadır. Stadyum-metro durağı arasındaki yürüyüş mesafesi 750 m olup tahmini varış süresi 11 dakikadır. Toplu taşıma dışında stadyuma özel araçlarıyla gelenler için 6.122 araçlık otopark mevcuttur.

Kent merkezi, kent içi ve banliyöden seçilen stadyum incelemeleri sonucunda kent merkezinden uzak olmasına rağmen ulaşım alt yapısı iyi kurgulanmış, otoyola yakın, banliyödeki stadyumların CO₂ emisyonuna daha az neden olabileceği analiz edilmiştir. Her şeyden önce stadyumun yerine karar verirken aynı anda çok sayıda seyircinin stadyumu boşaltacağı ve ciddi derecede trafik yükü oluşturacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle trafik akışını sağlayacak konumlara stadyumların yapılması tercih edilmelidir. Şu hususa dikkat etmek gerekir: Kent merkezi veya kent içindeki stadyumda oynanacak maç bitiminde çok sayıda seyirci merkezdeki sıkışık trafiğe ekstra trafik yükü bindirecektir. Bu trafik yükü araçların trafikte kalma süresini artıracak, süre arttıkça da atmosfere salınan CO₂ artacaktır. CO₂ emisyonunun artması küresel ısınmaya neden olacaktır. Küresel ısınmanın sonucunda da küresel iklim değişiklikleri meydana gelecektir.

Bu çalışma kapsamında küresel iklim değişikliğine neden olan faktörlerden ulaşım konusu üzerinde durulsa da stadyumun çevreye verdiği zararı en aza indirmek amacıyla yeşil bina sertifikası ve FIFA'nın diğer kriterlerini de elbet sağlaması gerekmektedir. Bu kriterleri sağlayan stadyumlar çevreye verdiği zararları azaltmasının yanı sıra uluslararası spor organizasyonlarında da rakiplerini çok kolay eleyen ülke konumuna gelebilmektedir. İncelenen İzmir Atatürk Stadyumu'nun inşa edilme amacı 1971 Akdeniz Oyunları'dır. O zamanın koşullarına göre ihtiyaçlara cevap veren stadyum küresel ısınma sorunuyla mücadele ettiğimiz şu günlerde yeşil bina sertifikası alacak kriterleri bünyesinde barındıramamakta, bu da uluslararası spor organizasyonlarının ülkemizde yapılmasının önünde engel teşkil etmektedir. Konum açısından dezavantajlı durumda olan İzmir Atatürk Stadyumu diğer kriterlerden enerji ve su tasarrufu, atık yönetimi, geri dönüşümlü malzeme, seyirci konforu vb. yeşil bina kriterlerini de sağlayamamaktadır. Bu durumda hem kent içinde sıkışıp kaldığından yoğun trafiğe neden olması hem de diğer ihtiyaçlara cevap verememesi nedeniyle kent merkezinin dışında, standartları ve kriterleri sağlayan İzmir' e yeni bir stadyum önerisi getirilmelidir. Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu da İzmir Atatürk Stadyumu'nda olduğu gibi konum ve diğer yeşil bina kriterlerini sağlayamadığından uluslararası spor organizasyonlarında kullanılmaya uygun bir stadyum değildir. Gerekli standartları ve kriterleri sağlayabilmesi adına ulaşım altyapısı geliştirilmeli ve enerji, su tasarrufu vb. çevreye daha az müdahalede bulunacak revizelere gidilmesi gerekmektedir. Ulaşım ve konum açısından en uygun stadyum yerleşimine sahip Atatürk Olimpiyat Stadyumu uluslararası spor organizasyonlarının ülkemizde düzenlenmesini sağlayacak kriterde bir stadyum olma düşüncesiyle inşa edilmiştir. Her ne kadar uluslararası spor organizasyonlarının Atatürk Olimpiyat Stadyumu'nda gerçekleştirilmesi için girişimlerde bulunulsa da bu adaylıkları kazanabilmek için mevcuttaki tasarım kriterleri yeterli gelmemektedir. Bu nedenle 2021 UEFA Şampiyonlar Ligi Finali için ev sahipliği yapacak Atatürk Olimpiyat Stadyumunda yenilemeye gidilmiştir.

Yeşil bina sertifikası kriterlerini karşılama konusunda gelişmiş ülkeler ülkemizden ileri seviyededir. 2017 yılında açılan Mercedes-Benz Stadyumu Leed Platinum sertifikasına sahiptir. Mercedes-Benz Stadyumu'nda yağmur suyu toplama, fotovoltaiik panellerden enerji üretme, bisiklet, yürüyüş ve toplu taşıma ile çevreci ulaşım alternatifleri, geri dönüştürülen malzeme vb. sertifika kriterlerine sahiptir [51]. Türkiye'deki birkaç stadyumun yeşil bina sertifikası alma konusunda girişimi olmasına rağmen mevcuttaki stadyumların yeşil bina sertifikaları alacak düzeyde olmadığı anlaşılmaktadır. Uluslararası organizasyonların oynanacağı şehir seçiminde artık yeşil bina sertifikasına sahip stadyumların tercih edilmesiyle Türkiye'nin rakiplerinin çok gerisinde kaldığı görülmektedir. Bizim ülkemizin de bu kriterleri sağlaması ve dünya standartlarına erişebilmemiz, sporda ülkemizi gösterebilmemiz, başarı kazanabilmemiz için mevcuttaki stadyumlarımızdan sertifika alacak seviyede olanları revize edilmeli, ihtiyaca cevap vermeyen stadyumlar için de yeni stadyumların inşası gerçekleştirilmelidir.

İnsan yaşamının getirdiği gereksinimler gereği doğaya müdahalelerin olması kaçınılmaz bir süreçtir; fakat insan hareketlerinden kaynaklanan olumsuz etkileri doğru planlamayla azaltmak da yine insanın elindedir. Bu çalışma kapsamında küresel ısınmaya neden olan etkenlerden ulaşım faktörü incelenmiştir. Daha çok futbolun oynandığı stadyumlar kent merkezinden uzakta, banliyölerde, doğru ulaşım alt yapılarıyla desteklenip standartlara bağlı planlandığı takdirde ulaşımdan kaynaklanan emisyonun azaltılmasıyla küresel ısınmanın negatif etkilerinin gerilemesine katkı sağlanabilecektir.

Günümüzde ve önlem alınmazsa gelecekte etkisini artıracak iklim değişikliği sorununa karşı stadyumun konumu için mümkün olduğu ölçüde önceliği banliyölere vermek ve ölçek olarak devasa statlardan kaçınmakta yarar vardır. Önerilen stadyum konumu olan banliyölerde, stadyum alanı olabilecek yeri seçerken mevcut tarihi doku veya yeşil alana dokunmaktan kaçınılmalı, daha önceden yapılaşmanın olduğu; fakat artık kullanımı bulunmayan ve halihazırda ulaşım yollarının olduğu sanayi tesisleri gibi alanlara stadyumların yapılması tercih edilmelidir. Banliyölerde bu niteliklerde bir alan bulunamadığı takdirde ikinci seçenek olarak kent içi ve en son seçenek olarak kent merkezi düşünülmelidir. Kent merkezilerinde yerleşimler seneler içerisinde oturduğu için sıkışıklık mevcut olup boş alan bulunmamaktadır. Bu duruma en iyi örneklerden bir tanesi Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu'dur. Konya için yeni yapılacak stadyumun yeri olarak kent merkezindeki eski stadyum alanının tercih edilmemesinin en önemli nedenlerinden biri eski stadyumun zaman içinde sıkışık bir alanda kalmış olmasıdır. Stadyum alanı olarak kent merkezinin seçilmesiyle inşa edilmek istenen stadyuma alan bulmakta zorluk çekilebileceği gibi kentin normal gündeki trafik sorununa ekstra trafik yükü bindirebilecektir. Her ne kadar kent merkezi ulaşım alternatifleriyle çeşitlilik gösterse de özellikle spor organizasyonlarının yapıldığı günlerde trafiğin felç olma durumuyla karşı karşıya kalınabilecektir. Bu çalışmada incelenmiş olan 3 stadyum konumunun ulaşım alternatifleri incelendiğinde her 3 stadyuma şehir dışından gelecekler için uçak, otobüs veya tren alternatiflerinin mevcut olduğu ve şehir içi ulaşımda da her 3 stadyuma otobüsle ve raylı ulaşım araçlarından biriyle erişim imkânının olduğu görülmektedir. İncelenmiş olan bu 3 stadyum konumu için alternatif ulaşım araçlarında sıkıntı bulunmamaktadır. Bu nedenle stadyum konumu seçiminde belirleyici olan stadyumlara ulaşım gerçekleştirirken ve gerçekleştirdikten sonra yaşanacak trafik yoğunluğu olacaktır. Ulaşım alternatifi diğer iki stadyumla aynı olan banliyöde yer alan Atatürk Olimpiyat Stadyumu diğer stadyum konumlarına göre kent merkezinden daha uzak mesafede olsa da trafik akacağı için trafikte geçirilen süre daha kısa olacaktır. Bu da konum olarak banliyöleri avantajlı hale getirmektedir. Hava kirliliği yaratmayacak ulaşım alternatiflerinden olan bisiklet ile ulaşımın adımları ülkemizde yeni yeni atılmaya başlanmıştır. Zaman içinde bisiklet ulaşım ağının artırılmasıyla ve bu stadyumlara da erişiminin sağlanmasıyla fosil yakıtlı ulaşımlara alternatif sağlanabilecektir. Ayrıca fosil yakıtlı çalışan araçların yerini elektrikli ulaşım araçlarının almasıyla da çevreye verilen zararı azaltabilmek mümkün olabilecektir.

VII. KAYNAKLAR

- [1] S. Triantafyllidis, R.J. Ries and K. Kaplanidou, "Carbon dioxide emissions of spectators' transportation in collegiate sporting events: comparing on-campus and off-campus stadium locations," *Sustainability*, vol.10, no.1, pp. 1-3, 2018.
- [2] Y. Bıyık ve G. Civelekoğlu, "Ulaşım sektöründen kaynaklı karbon ayak izi değişiminin incelenmesi," *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, c. 2, s. 2, ss. 158, 2018.
- [3] T. Batuhan, "2024 Avrupa futbol şampiyonası ev sahipliği adaylıklarının değerlendirilmesi: Almanya ve Türkiye karşılaştırması," *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, c. 10, s. 25, ss. 555-567, 2019.
- [4] S. Triantafyllidis, "Carbon dioxide emissions research and sustainable transportation in the sports industry," *Carbon*, vol. 4, no. 4, 2018.
- [5] G. Kozma, "The spatial development of sports facilities within the cities: a Central European case study," *Geosport for Society*, vol. 1, no. 2, pp. 19-20, 2014.
- [6] Y. Arat ve M. Kurumak, "Türkiye'de stadyum yapılarına uluslararası standartlar çerçevesinden bir bakış: Konya stadyumları seyirci ergonomisi analizi," *Ergonomi*, c. 2, s. 2, ss. 51-52, 2019.
- [7] P. Fenton, "Sustainable mobility in the low carbon city: digging up the highway in Odense, Denmark," *Sustainable Cities and Society*, vol. 29, 2016.
- [8] Fédération Internationale de Football Association (FIFA). (2021, 13 Ocak). *More Sustainable Stadiums*. [Online]. Available: <https://resources.fifa.com/image/upload/third-technical-report-on-green-stadiums-in-russia-2926266.pdf?cloudid=nx8zzeg2cd2yferc8rxv>
- [9] S. Usyduş, "Composition of football stadiums and their surroundings," *Space&Form*, vol. 42, 2020.
- [10] Ç.K. Şimşek ve B. Şengezer, "İstanbul metropoliten alanında kentsel ısınmanın azaltılmasında yeşil alanların önemi," *Megaron*, c. 7, s. 2, ss. 118-119, 2012.
- [11] Mimdap. (2021, 23 Nisan). *Dalian Shide Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <http://mimdap.org/2009/12/dalian-shide-stadyumu/>
- [12] Greenspor. (2021, 23 Nisan). *Doğal Çim Futbol Sahası*. [Çevrimiçi]. Erişim: [http://www.greenspor.com/futbol-sahasi/dogal-cim-futbol-sahasi/#prettyPhoto\[1\]/1/](http://www.greenspor.com/futbol-sahasi/dogal-cim-futbol-sahasi/#prettyPhoto[1]/1/)
- [13] Semtrio. (2021, 1 Şubat). *Leed Sertifikası*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.semtrio.com/leed-sertifika/>
- [14] Erke. (2021, 1 Şubat). *Breeam Sertifika Danışmanlığı*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.erketasarim.com/yesil-bina-danismanligi/breeam-sertifika-danismanligi/>
- [15] Certified Energy. (2021, 1 Şubat). *What Are The Requirements of Green Star Certification?* [Online]. Available: <https://www.certifiedenergy.com.au/what-is-green-star/requirements-green-star-certification/>

- [16] Green Building Council of Australia. (2021, 1 Şubat). *Green Star – Performance Summary of Categories and Credits*. [Online]. Available: https://www.gbca.org.au/uploads/203/4043/Green_Star-Performance_Summary_of_Categories_and_Credits.pdf
- [17] S. Sayın ve E. E. Ceylan, “ Enerji etkin stadyum tasarım kriterleri,” *Online Journal of Art and Design*, c. 8, s. 4, ss. 127-146, 2020.
- [18] Z. F. Üruk ve A. K. K. İslamoğlu, “Breeam, Leed ve DGNB yeşil bina sertifikasyon sistemlerinin standart bir konutta karşılaştırılması,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.15, ss. 151, 2019.
- [19] Dokümen. (2021, 10 Şubat). *FIFA Football Stadiums – Technical Recommendation and Requirements 5th Edition 2011*. [Online]. Available: <https://dokumen.tips/documents/fifa-football-stadiums-technical-recommendation-and-requirements-5th-edition.html>
- [20] Türkiye Stadyumları ve Projeleri. (2021, 3 Şubat). *İzmir Atatürk Stadı*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://stadyumlar.net/izmir-ataturk-stadi/>
- [21] Türkiye Futbol Federasyonu. (2021, 3 Şubat). *İzmir Atatürk*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.tff.org/Default.aspx?pageID=394&stadID=118>
- [22] Beinsports. (2021, 3 Şubat). *İzmir’de Derbi Heyecanı*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://tr.beinsports.com/haber/izmir-derbisi-yari-yariya>
- [23] Google Maps. (2021, 10 Şubat). *İzmir Atatürk Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/dir/Dokuz+Eyl%C3%BCI,+%C4%B0zmir+Adnan+Menderes+Havaliman%C4%B1,+Gaziemir%2F%C4%B0zmir/Mersinli,+%C4%B0zmir+Atat%C3%BCrk+Stadyumu,+%C5%9Eehitler+Cd.,+35110+Konak%2F%C4%B0zmir/@38.3839683,27.1127998,11.5z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x14bbe03e042d3037:0xa08bfd9d58f6448!2m2!1d27.1520285!2d38.293763!1m5!1m1!1s0x14b9629c2e826455:0xf84b27255220583a!2m2!1d27.1779803!2d38.4349544!3e0>
- [24] Google Maps. (2021, 10 Şubat). *İzmir Atatürk Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/dir/%C4%B0zota%C5%9F++%C4%B0zmir+%C5%9Eehirleraras%C4%B1+Otob%C3%BCs+Terminali,+Karacao%C4%9Fflan,+Kemalpa%C5%9Ffa+Caddesi,+Bornova%2F%C4%B0zmir/Mersinli,+%C4%B0zmir+Atat%C3%BCrk+Stadyumu,+%C5%9Eehitler+Cd.,+35110+Konak%2F%C4%B0zmir/@38.4390143,27.1462702,13z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x14b9632387e7912b:0xcc2758c91e9b0848!2m2!1d27.213911!2d38.4308232!1m5!1m1!1s0x14b9629c2e826455:0xf84b27255220583a!2m2!1d27.1779803!2d38.4349544!3e0>
- [25] Google Maps. (2021, 16 Nisan). *İzmir Atatürk Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/dir/Basmane+Gar%C4%B1,+Etiler,+35240+Konak%2F%C4%B0zmir/Mersinli,+%C4%B0zmir+Atat%C3%BCrk+Stadyumu,+%C5%9Eehitler+Cd.,+35110+Konak%2F%C4%B0zmir/@38.4385156,27.1504147,14.25z/data=!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x14bbd8f3dc58dabc:0x694898bcc915458a!2m2!1d27.1446741!2d38.4227334!1m5!1m1!1s0x14b9629c2e826455:0xf84b27255220583a!2m2!1d27.1779803!2d38.4349544>
- [26] Moovit. (2021, 3 Şubat). *İzmir Atatürk Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: https://moovitapp.com/index/tr/toplu_ta%C5%9F%C4%B1ma%C4%B0zmir_Atat%C3%BCrk_Stadyumu-IzmirAyd%C4%B1n-site_18628579-1564

[27] Google Maps. (2021, 3 Şubat). *İzmir Atatürk Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/dir/Halkap%C4%B1nar+Tramvay+Dura%C4%9F%C4%B1,+Mersinli,+ESHOT+Genel+Md.+Mersinli+At%C3%B6lye+%C5%9Eefli%C4%9Fi+1774,+35170+Konak%2F%C4%B0zmir/Mersinli,+%C4%B0zmir+Atat%C3%BCrk+Stadyumu,+%C5%9Eehitler+Cd.,+35110+Konak%2F%C4%B0zmir/@38.4347661,27.172581,17z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x14bbd877a3691a07:0x2805904d49c32d1!2m2!1d27.1712185!2d38.4335937!1m5!1m1!1s0x14b9629c2e826455:0xf84b27255220583a!2m2!1d27.1779803!2d38.4349544!3e2>

[28] Google Maps. (2021, 3 Şubat). *İzmir Atatürk Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/dir/Halkap%C4%B1nar,+Mersinli+Mh.,+35170+Konak%2F%C4%B0zmir/Mersinli,+%C4%B0zmir+Atat%C3%BCrk+Stadyumu,+%C5%9Eehitler+Cd.,+35110+Konak%2F%C4%B0zmir/@38.4346076,27.171749,16z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x14bbd8773095a6bb:0xb81d30f88aa9c161!2m2!1d27.1685797!2d38.4350402!1m5!1m1!1s0x14b9629c2e826455:0xf84b27255220583a!2m2!1d27.1779803!2d38.4349544!3e2>

[29] Google Maps. (2021, 23 Nisan). *Birinci Sanayi Sitesi Otobüs Durağı*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/place/Birinci+Sanayi+Sitesi+Otob%C3%BCs+Dura%C4%9F%C4%B1/@38.4348449,27.1709062,16.5z/data=!4m5!3m4!1s0x14b9629d72cbcf5:0x49fd5c0531bea65e!8m2!3d38.433096!4d27.174982>

[30] HaritaMap. (2021, 16 Şubat). *Atatürk Stadyumu Otoparkı Haritası*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.haritamap.com/yer/ataturk-stadyumu-otoparki-konak>

[31] Google Maps. (2021, 10 Şubat). *Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com/maps/dir/B%C3%BCy%C3%BCkkayac%C4%B1k,+Konya+Havaliman%C4%B1,+Vali+Ahmet+Kayhan+Cad.,+Sel%C3%A7uklu%2FKonya/Parsana,+KONYA+B%C3%9CY%C3%9CK%C5%9EEH%C4%B0R+BELED%C4%B0YE+STADYUMU,+Pars+until+Maher,+Kaleta%C5%9F+Cd.,+42250+Sel%C3%A7uklu%2FKonya/@37.9283336,32.4466454,12z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x14d09253eb2debc0:0xd92f69841acfb35f!2m2!1d32.5605218!2d37.9787424!1m5!1m1!1s0x14d08ef933ee17f1:0x1f44b278b272b026!2m2!1d32.48801!2d37.946245!13e0>

[32] Google Maps. (2021, 16 Nisan). *Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/dir/KONYA+B%C3%9CY%C3%9CK%C5%9EEH%C4%B0R+BELED%C4%B0YE+STADYUMU,+Parsana,+Pars+until+Maher,+Kaleta%C5%9F+Cd.,+42250+Sel%C3%A7uklu%2FKonya/%C5%9Eeyh+Sadrettin,+Konya+Tren+Gar%C4%B1,+Feret+Pa%C5%9Fa+Cd.,+42040+Meram%2FKonya/@37.9154777,32.4374612,12.25z/data=!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x14d08ef933ee17f1:0x1f44b278b272b026!2m2!1d32.4880743!2d37.9461789!1m5!1m1!1s0x14d0844c8c955555:0x274a6d4788da10a3!2m2!1d32.4764075!2d37.8667294>

[33] Google Maps. (2021, 10 Şubat). *Konya Büyükşehir Belediye Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com/maps/dir/Konya+%C5%9Eehirleraras%C4%B1+Otob%C3%BCs+Terminali,+Yaz%C4%B1r,+Do%C3%A7.Dr.+Halil+%C3%9Cr%C3%BCn+Cad.,+Sel%C3%A7uklu%2FKonya/Parsana,+KONYA+B%C3%9CY%C3%9CK%C5%9EEH%C4%B0R+BELED%C4%B0YE+STADYUMU,+Pars+until+Maher,+Kaleta%C5%9F+Cd.,+42250+Sel%C3%A7uklu%2FKonya/@37.9468162,32.4882764,15z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x14d08e416deb3a6d:0x2f65808b81e6591c!2m2!1d32.5095096!2d37.9507107!1m5!1m1!1s0x14d08ef933ee17f1:0x1f44b278b272b026!2m2!1d32.48801!2d37.946245!13e0>

- [34] Moovit. (2021, 4 Şubat). *Konya Büyükşehir Torku Arena Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: https://moovitapp.com/index/tr/toplu_ta%C5%9F%C4%B1maKonya_B%C3%BCy%C3%BCk%C5%9Fehir_Torku_Arena_Stadyumu-Konya-site_14333384-3772
- [35] Google Maps. (2021, 24 Nisan). *Erenkaya Tramvay Durağı*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/dir/Tramvay+Erenkaya+Cd.+Dura%C4%9F%C4%B1,+Binkonutlar,+%C4%B0stanbul+Caddesi,+Sel%C3%A7uklu%2FKonya//@37.9443844,32.4923864,15.25z/data=!4m9!4m8!1m5!1m1!1s0x14d08e47cd7b5baf:0xe92616ae0d8ec3c!2m2!1d32.511951!2d37.944012!1m0!3e2>
- [36] Konya Büyükşehir Stadyumu. (2021, 4 Şubat). *Teknik Bilgi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.konya.bel.tr/stadyum/teknikbilgi.php>
- [37] NTV Spor. (2021, 4 Şubat). *Atatürk Olimpiyat Stadi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.ntvspor.net/yazar/huseyin-ozkok/bir-gunah-kecisi-aturk-olimpiyat-stadi>
57a483bcc873cc4958a34f54
- [38] İstanbul Spor Envanteri. (2021, 18 Şubat). *Atatürk Olimpiyat Stadi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.istanbulsporenvanteri.com/tr/tesisler/tesisler-2/aturk-olimpiyat-stadi-213.html>
- [39] Başakşehir Belediyesi. (2021, 18 Şubat). *Atatürk Olimpiyat Stadi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.basaksehir.bel.tr/aturk-olimpiyat-stadi>
- [40] Google Maps. (2021, 11 Şubat). *Atatürk Olimpiyat Stadi*. [Çevrimiçi]. Erişim: [https://www.google.com/maps/dir/%C4%B0stanbul+Havaliman%C4%B1+\(IST\),+Arnavutk%C3%B6y%C4%B0stanbul/Ziya+G%C3%B6kalp,+Atat%C3%BCrk+Olimpiyat+Stadyumu,+34490+Ba%C5%9Fak%C5%9Fehir%2F%C4%B0stanbul/@41.1818653,28.678804,10z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x409ffff60abc95a9:0x380ce02cc824e506!2m2!1d28.7427288!2d41.2599003!1m5!1m1!1s0x14caa76153854ef9:0xb0284d3f86c83cfb!2m2!1d28.7656215!2d41.0744177!3e0](https://www.google.com/maps/dir/%C4%B0stanbul+Havaliman%C4%B1+(IST),+Arnavutk%C3%B6y%C4%B0stanbul/Ziya+G%C3%B6kalp,+Atat%C3%BCrk+Olimpiyat+Stadyumu,+34490+Ba%C5%9Fak%C5%9Fehir%2F%C4%B0stanbul/@41.1818653,28.678804,10z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x409ffff60abc95a9:0x380ce02cc824e506!2m2!1d28.7427288!2d41.2599003!1m5!1m1!1s0x14caa76153854ef9:0xb0284d3f86c83cfb!2m2!1d28.7656215!2d41.0744177!3e0)
- [41] Google Maps. (2021, 11 Şubat). *Atatürk Olimpiyat Stadi*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com/maps/dir/Esenler+Otogar%C4%B1,+Alt%C4%Bİntepsi+Mh.,+34035+Bayrampa%C5%9Fa%2F%C4%B0stanbul/Ziya+G%C3%B6kalp,+Atat%C3%BCrk+Olimpiyat+Stadyumu,+34490+Ba%C5%9Fak%C5%9Fehir%2F%C4%B0stanbul/@41.0584201,28.7602162,11.75z/data=!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x14caba92074a17a7:0x5e1671bcc984fb01!2m2!1d28.8945443!2d41.0401924!1m5!1m1!1s0x14caa76153854ef9:0xb0284d3f86c83cfb!2m2!1d28.7656215!2d41.0744177!3e0>
- [42] Google Maps. (2021, 16 Nisan). *Atatürk Olimpiyat Stadyumu*. [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.google.com.tr/maps/dir/Atat%C3%BCrk+Olimpiyat+Stadyumu,+Ziya+G%C3%B6kalp,+34490+Ba%C5%9Fak%C5%9Fehir%2F%C4%B0stanbul/Halkal%C4%B1+Tren+Gar%C4%B1,+Yar%C4%Bİmburgaz,+Yar%C4%Bİmburgaz+Caddesi,+K%C3%BCk%C3%A7%C3%BCk%C3%A7ekmece%2F%C4%B0stanbul/@41.0502142,28.72591,13z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x14caa76153854ef9:0xb0284d3f86c83cfb!2m2!1d28.7656215!2d41.0744177!1m5!1m1!1s0x14caa41e7389c60d:0x5cadcbab984c656c!2m2!1d28.7681403!2d41.0288785>
- [43] Moovit. (2021, 4 Şubat). *Atatürk Olimpiyat Stadi*. [Çevrimiçi]. Erişim: https://moovitapp.com/index/tr/toplu_ta%C5%9F%C4%B1maAtat%C3%BCrk_Olimpiyat_Stadyumu-Istanbul-site_17460720-1563



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Colorimetric Determination of Cu²⁺ by Glycine-Histidine Dipeptide Functionalized-Gold Nanoparticles

 Hakan ERDOĞAN*

^a, Department of Pharmaceutical, Gülhane Faculty of Pharmacy, University of Health Sciences Turkey, Chemistry, Turkey

*Corresponding author's e-mail address: hakan.erdogan@sbu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.884511

ABSTRACT

This study presents the development of a rapid and straightforward Cu²⁺ determination method through the interaction of glycine-histidine dipeptides with gold nanoparticles (AuNPs). Here, it was shown that AuNPs were clustered by the attachment of glycine-histidine dipeptides (GH) to the AuNPs. Accordingly, it was obtained from the UV-Vis spectrum that the λ_{max} of the AuNPs dispersion at 520 nm showed a redshift to a higher energy region. This case was accelerated by adding Cu²⁺ ions to the medium, indicating an interaction between GH coated-AuNPs and Cu²⁺ ions, and the particles come together in a shorter time. This finding demonstrates that the developed-analytical method provides more selectivity to Cu²⁺ when testing in the presence of some other metal ions. The particles and aggregates' sizes were determined by Dynamic Light Scattering (DLS) measurement and Transmission Electron Microscopy (TEM) technique. The determination of Cu²⁺ in the tap water was also tested by spike using the developed method. In the light of the results obtained, it is thought that the developed analytical method can be quite advantageous for the rapid and selective determination of Cu²⁺ in water samples.

Keywords: AuNPs, Glycine-histidine dipeptide, Copper determination, Analytical method development

Glisin-Histidin Dipeptidler ile Fonksiyonelleştirilmiş Altın Nanoparçacıklar ile Cu²⁺ 'nin Kolorimetrik Tayini

Öz

Bu çalışma, glisin-histidin dipeptitlerinin altın nanoparçacıklar (AuNP'ler) ile etkileşimi yoluyla hızlı ve basit bir Cu²⁺ belirleme yönteminin geliştirilmesini sunmaktadır. Burada, AuNP'lerin glisin-histidin dipeptitleri (GH) ile bağlanmasıyla kümelendiği gösterilmiştir. Buna göre, UV-Vis spektrumundan, 520 nm'deki AuNPs dispersiyonunun maksimum absorpsiyon yaptığı dalgaboyunun, daha yüksek bir enerji bölgesine kırmızı bir kayma gösterdiği elde edilmiştir. Bu durum ortama Cu²⁺ iyonları eklendiğinde hızlanmıştır, Bu da GH kaplı AuNP'ler ile Cu²⁺ iyonları arasında bir etkileşim olduğunu ve parçacıkların daha kısa sürede bir araya geldiğini göstermektedir. Bu bulgu, geliştirilen analitik yöntemin bazı diğer metal iyonlarının varlığında test edildiğinde Cu²⁺ 'ya daha fazla seçicilik sağladığını göstermektedir. Parçacıkların ve agregatların boyutları Dinamik Işık Saçılması (DLS) ölçümü ve Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) tekniği ile belirlenmiştir. Musluk suyundaki Cu²⁺ tayini de geliştirilen yöntem kullanılarak bilinen derişimlerde Cu²⁺ eklenerek test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, geliştirilen analitik yöntemin su örneklerinde Cu²⁺ 'nın hızlı ve seçici tayini için oldukça avantajlı olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Au nanoparçacık, Glisin-histidin dipeptid, Bakır tayini, Analitik yöntem geliştirme

I. INTRODUCTION

Heavy metals are elements that should be considered for human health due to their toxic properties. They may cause severe damage to human metabolism after exposure to particular grizzlies [1]. Besides, they can be quite harmful if taken in small amounts due to their accumulation in the different tissues. In this respect, it is necessary to control the amount of heavy metals, especially in water sources, which are the most crucial resource for life. Different advanced and effective methods such as ICP-MS, AAS, and ICP-OES are used to determine heavy metals. However, alternative methods have been developed for situations such as getting a rapid response due to hindrance of these methods, such as having a suitable device and the extended analysis process [2]-[7]. One of these approaches is the use of plasmonic nanoparticles [8]. With the acceleration of nanoparticles' synthesis and their use in different applications, particles with many different sizes and shapes can be prepared [9]-[11]. Among them, Surface Plasmon Resonance (SPR) is found to quite advantageous by the researchers.

SPR is a unique phenomenon exhibited by plasmonic metal nanoparticles that occur when the co-oscillations of conductive band electrons in the nanoparticle resonate with electromagnetic radiation frequency [12]. It has aroused excitement as a unique feature that has been affected and changed by many changes such as size, shape, surface chemistry [13], [14]. When examined in this respect, the absorbance of these particles in the UV-Vis spectrum has created a potential for use in detection and determination applications [15]. Significantly, this approach is a method used in the determination of AuNPs and many substances such as metal ions and biological molecules [16]-[21]. With this method, many metals and semi-metals such as Arsenic, Mercury, Copper, Lead, Cadmium, Chromium can be determined. Here, the fundamental reason is to use a binder molecule to create the interaction between these metal ions and nanoparticles. Notably, by chemical or physical modifications of the surfaces of AuNPs with very different groups, the affinity of the particles to these metal types is also increased. This can be ensured by the different coordination numbers of many metals, such as the metals listed above and the chelates that are created with organic and biomolecules. One of the most prominent metals that have been frequently researched and method-developed is Cu^{+2} [22], [23]. Copper is an essential trace element used in human metabolism as a metal cation that is frequently used in the enzymatic process as a cofactor. However, as with any substance, high dose copper exposure shows adverse effects on health. Especially for human metabolism, copper accumulation primarily affects the liver like other metals. When taken in large quantities, the copper shows toxic properties for metabolism. The most common of these is oxidative stress and a neurodegenerative Wilson's disease [24], [25]. In this respect, determining the amount of copper in domestic water has been essential. For copper determination, methods such as ICP-MS and AAS are frequently used as in other metal types [3]. However, to get a fast response and reduce the cost of device-based approaches, AuNPs-based colorimetric approaches have been used in recent years.

Guo et al. developed a colorimetric system to detect Hg^{2+} and Pb^{2+} with Cu^{2+} using papain-coated AuNPs. Here, papain easily binds directly to the surface of AuNPs. These metal ions interact with the functional groups in the papain protein, and as a result, the particles undergo aggregation. Thus, thanks to the particles coming together, the plasmonic peak makes a redshift. This case is evident from the color change of the AuNPs solution from red to blue [19]. Liu and Li developed a colorimetric method to detect copper using gold nanorods directly in their study. Here, a sulfate group was added on the gold bar's surface in ammonium/ammonia buffer solution. Afterward, the color change was achieved with the copper added to the medium, and thus, determinations could be carried out by UV-Vis spectroscopy method [26]. Weng et al. developed a method for determining copper using a simple amino acid 1-Cysteine. In the method, after 1-cysteine is attached to the AuNPs surface, the redshift feature, which is formed as a result of the particles clustering, is bonded with metal ions. Another aspect of the study is the AuNPs solution is not monodisperse and contains large and small nanoparticles. Thus, an arrangement in the form of aggregates similar to core-satellite was achieved with the approach [27]. Another colorimetric approach used in determining Cu^{2+} ions is click-chemistry [28].

Another approach used in the determination of copper ions in the literature is biomolecular approaches. However, a limited number of these approaches have been implemented [27]-[29]. Remarkably, the use of peptide materials in district-release tissue engineering, electronic applications, and catalysis has attracted the attention of researchers in recent years [30]-[32]. Another peptide structure frequently used in the literature is dipeptides. Dipeptides formed by bonding two amino acids with peptide bonds rather than the large molecular mass structures of polypeptide structures are frequently preferred due to their superior properties. It is well known that dipeptides can be processed in different ways, using bottom-up or top-down approaches, to produce a product of different arrangements. From this point of view, they are used in the preparation of bioinspired materials. However, no approach has been made to use dipeptide structures in the colorimetric determination of metal ions with AuNPs or other plasmonic particles. The self-assembly properties that affect the bio-nano interface resulting from the interaction of dipeptides with plasmonic nanoparticles have also been examined in the literature [12]. It is seen that there is an interaction between dipeptides and plasmonic nanoparticles. Here, the type of amino acids the dipeptide structures will contain is a separate issue. In this work, a selective colorimetric method has been developed for the determination of Cu^{2+} . In the method, different types of metal cations were added into the AuNPs solutions with a diameter of 20 nm, which gave plasmon peak at 520 nm, and then added in GH solution. Thus, the change in the red color of the solutions containing AuNPs was investigated. An approach has been developed for the colorimetric determination of Cu^{2+} from the changes in colors. The obtained findings show that the method can be used to determine different biological or organic species for future applications.

II. MATERIALS&METHODS

A. MATERIALS

All reagents were of analytical grade reagents unless otherwise stated. Aqueous solutions were prepared in ultrapure water ($18.3 \mu\Omega \text{ cm}$). H-Gly-His-OH was purchased from Bachem (Bachem AG Switzerland). $\text{HAuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Ethanol, Trisodiumcitrate dihydrate was purchased from Sigma-Aldrich. $\text{Cu}(\text{Cl})_2$, $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, AlCl_3 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ was purchased from Merck.

B. METHODS

B. 1. Synthesis of AuNPs

For AuNPs synthesis, 1 mL of 12.5 mM HAuCl_4 was added to 49 mL of deionized water first. This solution was then heated and boiled on a magnetic stirrer. After it started to boil, 0.94 mL 38.8 mM sodium citrate was added. When the solution turned red after about 5 min, it was allowed to cool [9].

B. 2. Colorimetric Detection of the Metal Ions

To determine the metal ions concentration, a suitable vial with a volume of 0.920 mL of AuNPs solution with a diameter of about 20 nm is taken first. Then 80 μL of GH solution is added. 1 mL of cation solution is added to this prepared solution. After adding the cation solution, waited for 1 minute and the UV-Vis spectrum is taken for mg/L level analysis. However, the waiting time was realized as 5 minutes for analyzes at $\mu\text{g/L}$ level.

B. 3. Analysis of Real Samples

To perform Cu^{2+} real sample, 1 mL of AuNPs solution with a diameter of about 20 nm was added to tap water to perform real sample analysis. Then 80 μL of GH was added to the medium. After that,

Cu²⁺ standard solutions were added to tap water at the final concentration of 1 mg/L and 2 mg/L. The percentage recovery value was calculated as a result of the values found after the addition.

B. 4. Characterization

All UV-Vis spectra were recorded by Cintra GBC 303 model UV-Vis spectrophotometer. AuNPs and Cu²⁺ added GH functionalized-AuNPs structures were characterized by a Fei Transmission Electron Microscopy with an acceleration voltage of 120 kV.

III. RESULTS&DISCUSSION

In the study, firstly, the interaction of metal ions with GH-AuNPs was investigated. The optical properties of AuNPs are realized due to a distinctive phenomenon called surface plasmon resonance (SPR). The difference or change in any of the particles' size, shape, or geometry changes the local electron confinement, which alters the SPR absorption maxima. The change of SPR maxima also changes the color of the solution of colloidal AuNPs. Here, when the particles increase in size, they show a redshift. The redshift is due to a blue-to-blue color change in the solution's color and the shift of the SPR wavelength of the solution to a longer wavelength. With this starting point, if the particles' size can be changed with the metal ions to be determined, the concentrations of metal ions can be determined indirectly. There may be a redshift here either due to the interaction between the added metal ions and the AuNPs. However, generally at this stage, an auxiliary substance will be required to establish a bond between AuNPs and metal. In our study, the GH structure was used to functionalize Au nanoparticles, especially with a biomolecule-based approach that has potential for use in this interaction. Looking at the GH structure, it is possible to see the use of the amino acids formed in the structure in the determination of different types of metal and biomolecular structures with AuNPs or other plasmonic nanoparticles. At this stage, the potential use of dipeptides, which are the smallest peptide structures, in the determination of metal ions with plasmonic nanoparticles was investigated. Firstly, UV-Vis spectra of synthesized AuNPs and GH functionalized Au nanoparticles were taken to examine the interactions between AuNPs and GHs. As can be seen in Figure 1, the concentration of GH increases, the absorption maxima of AuNPs shows a redshift and change depending on the concentration towards around 600 nm. This situation can be seen visually from the colors of AuNPs dispersion with different amounts of GH added. This case shows that there is an interaction between the GH and AuNPs. Here, as the amount increases, AuNPs come together due to the interaction, and the plasmon peak maximums of AuNPs with a diameter of 20 nm at 520 nm increase linearly according to the added amount and change up to 650 nm. Here, the lowest concentration was taken at which the plasmon peaks of the particles shifted to around 650 nm while determining the sufficient amount for the determination. Also, the amount of GH to be used in the study is tried to be determined. As the amount of GH increases, the particles affinity increases, so the AuNPs come together, and the redshift increases. Such that, after the addition of about 80 μ L concentration, more aggregates are formed, and the color of the solution turns blue. Thus, by keeping the aggregate formation at a certain level with the basic approach GH, it was ensured that the redshift was predominantly with the metal cation concentration. As seen in the photographs given in Figure 1, with the increase in the GH amount, around 80 μ L of color now changes from red / pink to purple. As the amount of GH increases, the color clearly shows a purple/blue change. Here, the AuNPs surface interacts with GH and aggregates into aggregates due to the bound GH molecules' affinity to each other.

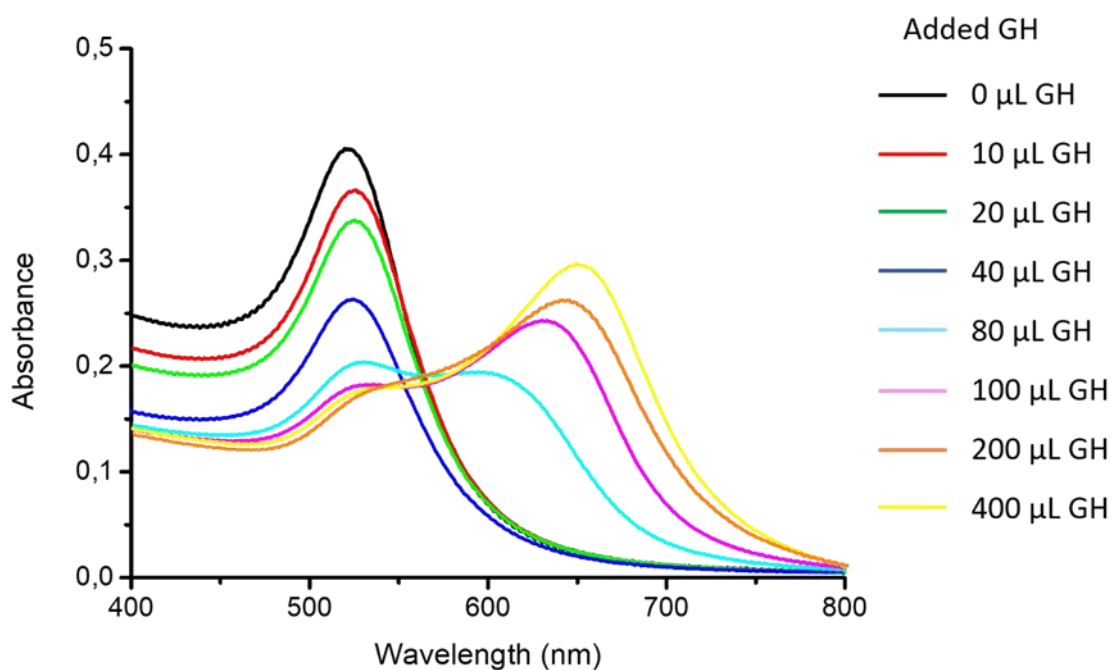


Figure 1. GH concentration effect on surface plasmon resonance AuNPs

When determining nanoparticles using the colorimetric approach, one of the issues to be examined is the cations to be used for the determination. In the present approach, some metal salts that are commonly available and exhibit toxic properties were prepared. Anionic effects have not been investigated because of anions such as NO_3^- and Cl^- in the salts prepared. These ions are not thought to interact with AuNPs since the surface charges of AuNPs are generally negative due to citrate ions.

Cu^{2+} , Hg^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , and Fe^{2+} cations were added at a concentration of approximately 5 mg/L to examine GH functionalized-AuNPs interaction with different metal cations, and their UV-Vis spectra and the behavior of the peak were examined. Besides, the physical condition of the AuNPs solution after the GH additions was photographed. As seen in the Figure 2, the color of the solution shifted towards blue in the presence of Cu^{2+} . This finding indicates that the GH functionalized AuNPs in the presence of Cu^{2+} are strongly linked together and organized into aggregates. Thus, it was obtained that Cu^{2+} determination can be made at the determining stage of the metal ions concentration aimed in the study.

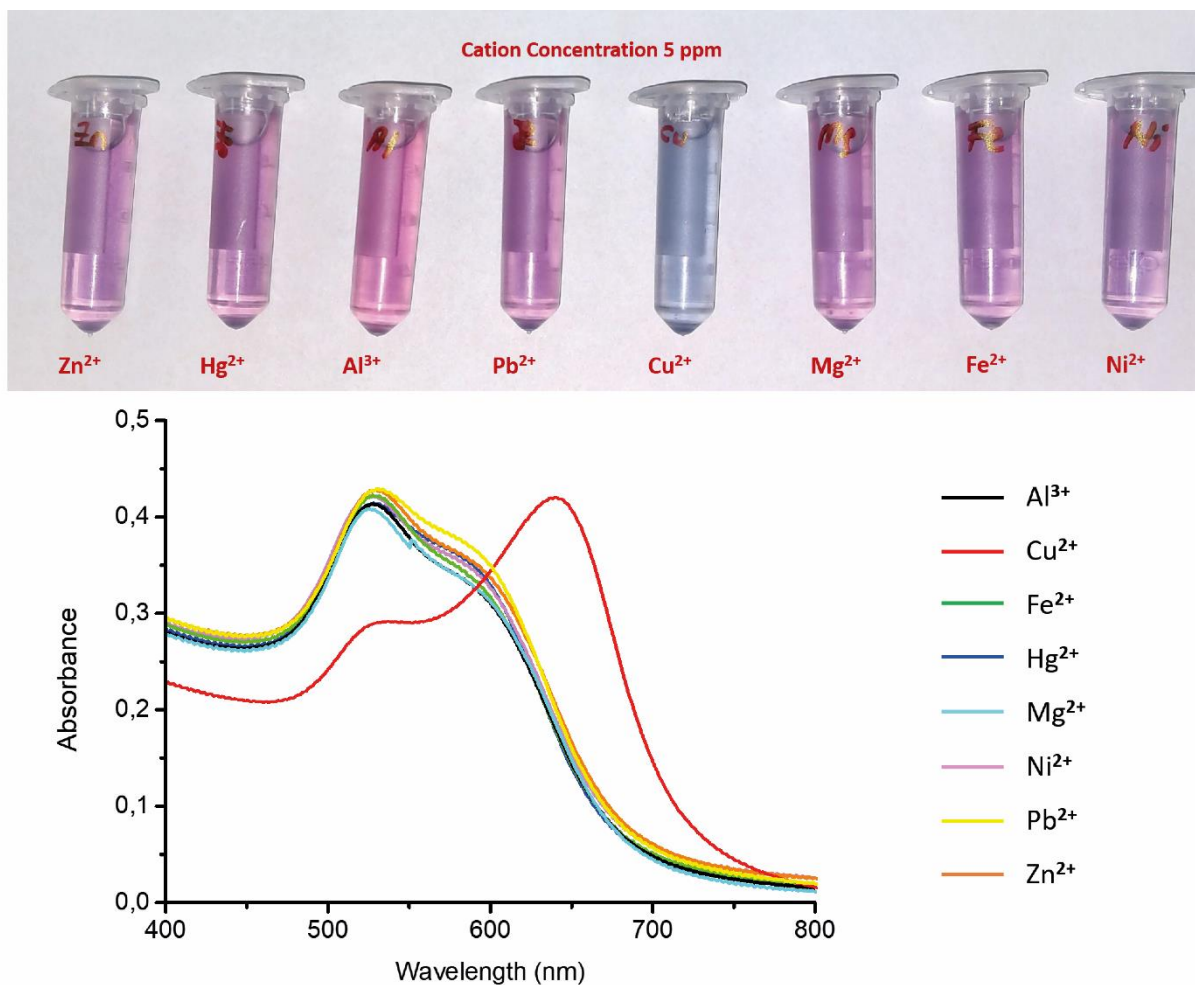


Figure 2. UV-Vis spectra obtained after Cu^{2+} , Hg^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} cations at a concentration of 5 mg/L added to AuNPs medium functionalized with GH and color changes of the solutions

A little redshift is observed in other cations as well. However, this situation does not provide the critical difference for determination. However, since this interaction is not as strong as the interaction seen in Cu^{2+} , the redshift amount remains specific. The highest interaction was obtained with Cu^{2+} in the examined cation group.

As seen in Figure 3a, the plasmon maximum of AuNPs at approximately 520 nm showed a redshift with 1 mg/L GH added to the medium. This may be an indication that GHs are attached to the gold surface. When Cu^{2+} is added to the environment, the particles are arranged in aggregates due to the interaction between Cu^{2+} and GH. As can be understood from the DLS analysis conducted to examine the aggregates condition with the addition of Cu^{2+} at different concentrations, as the amount of Cu^{2+} increases, the size of the aggregates increases. As can be understood from the spectrum (Figure 3a), the accumulation of AuNPs in the form of aggregates was due to the interaction between GH molecules attached to the particles surface in the presence of GH. In this case, when examined with the graph given in Figure 3b, it shows linearity with TEM images. Figure 3c shows that non-functionalized AuNPs are about 20 nm in diameter. As seen in the TEM images, it is understood that the particles are arranged in small aggregate groups by adding GH to the medium containing a small number of AuNPs together (Figure 3d). The Cu^{2+} ions added to the environment interact with the GH structures, causing more AuNPs to come together, and thus particles come together in the form of larger aggregates (Figure 3e). After increasing linearly up to about 100 nm, it increased rapidly and formed aggregates around 2000 nm in the presence of about 12.5 mg/L Cu^{2+} . To support this situation

with TEM analysis, images of AuNPs, GH functionalized Au NPs, and 1 mg/L Cu^{2+} added GH-AuNPs structures were taken. As seen from the images, a strong bridge is established between the particles in the presence of Cu^{2+} , and the structures come together.

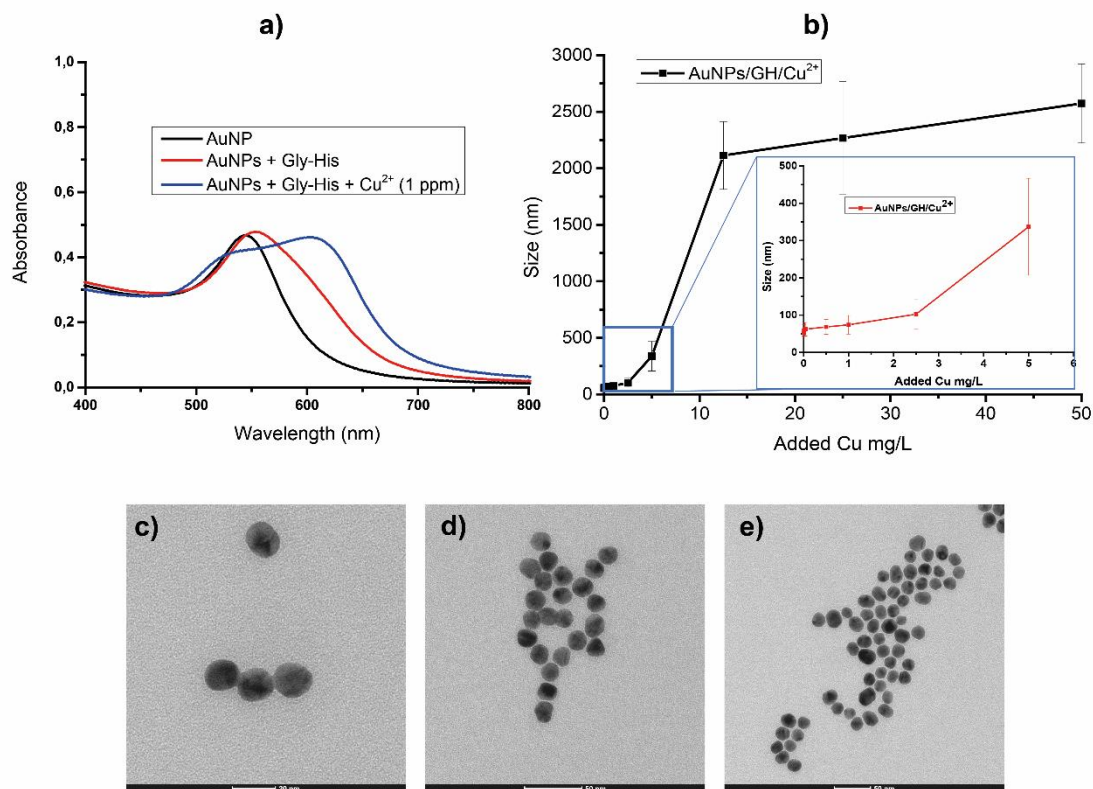


Figure 3. a) UV-Vis spectra of Au NPs, GH functionalized AuNPs and GH functionalized AuNPs in the presence of 1 mg/L Cu^{2+} , b) aggregate sizes obtained as a result of DLS measurements of GH-AuNPs formed in the presence of increasing Cu^{2+} concentration, c) TEM image of non-functionalized Au NPs, d) TEM images of GH functionalized AuNPs e) TEM images of GH functionalized AuNPs in the presence of 1 mg/L Cu^{2+}

In the study, to examine the changes in AuNPs peaks in the presence of Cu^{2+} at different concentrations, the UV-Vis spectra of GH functionalized AuNPs containing Cu^{2+} at mg/L and $\mu\text{g/L}$ levels were taken. Calibration curves were created using the relationship between cation concentration and maximum wavelength. In the photo given in Figure 4a, the color changes that occur after adding the Cu^{2+} samples prepared at different concentrations at mg/L level to the GH functionalized AuNPs solution are shown. As can be seen here, depending on the Cu^{2+} concentration, the solution colors show a transition from violet to blue. This is an indication that colorimetric determination is possible. With the addition of Cu^{2+} at mg/L level in Figure 4b, AuNPs decrease plasmon maxima at 520 nm by showing redshift. Simultaneously, a shouldering of a new plasmon peak occurs around 650 nm, where the shouldering shows both redshift and shifts to higher wavelengths as the concentration increases. With the addition of Cu^{2+} at mg/L level, peak enlargements and redshifts are observed. To obtain a calibration graph from the obtained spectra, the method of plotting the value obtained by comparing the absorbance values of the old peak with the new peak formed by the red shifting of the AuNPs solution, which is frequently used in the literature, against the concentration [12]. For this, first, the absorbance maxima of the solutions were determined. The value obtained by comparing the absorbance values of the plasmon peak formed around 650 nm with the addition of Cu^{2+} and the AuNPs peaks formed around 520 nm was plotted. As can be seen in Figure 4c, the linear increase at a particular concentration progressed at a constant value after the concentration value of 5 mg/L. This

shows that AuNPs, GH used in the designed method can be analyzed up to 5 mg/L. For this purpose, the values obtained by the method mentioned above in solutions containing Cu^{2+} between 0.5-5 mg/L values were plotted (Figure 4d). Thus, a calibration graph was obtained for the determination of Cu^{2+} at mg/L level in the study.

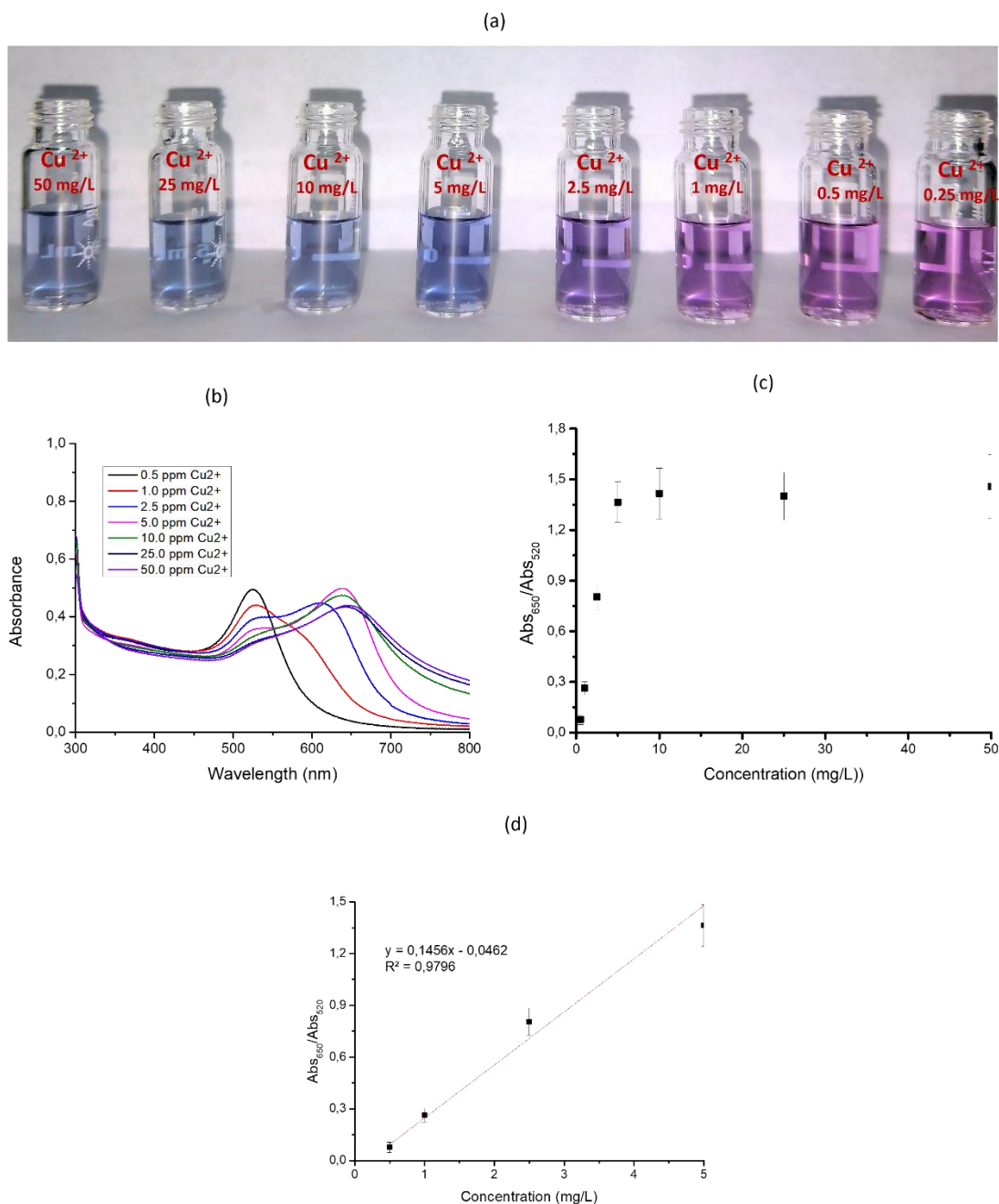
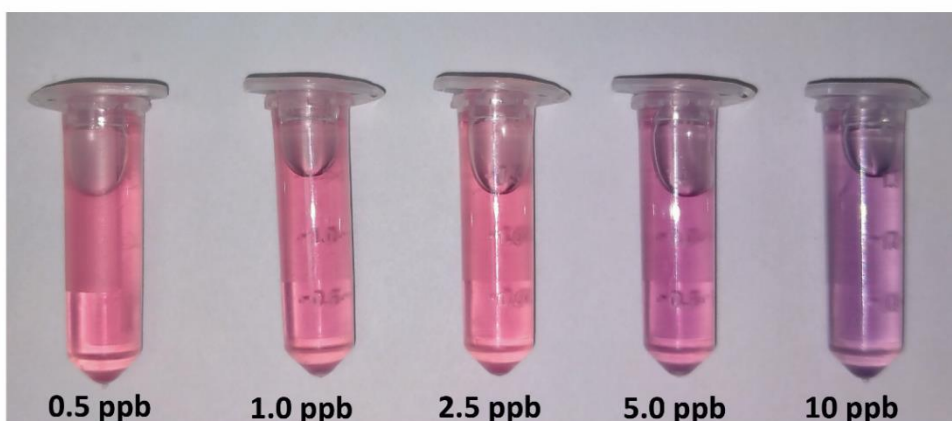


Figure 4. a) Images of solutions obtained in the presence of Cu^{2+} in different concentrations of mg/L, b) UV-Vis spectra of solutions containing Cu^{2+} at various concentrations, c) curve obtained by plotting $\text{Abs}_{650}/\text{Abs}_{520}$ value against concentration, d) linear range graph

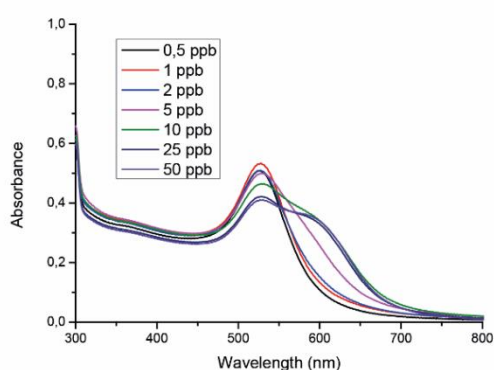
Color change in solutions containing 0.5, 1, 2.5, 5.0, and 10 $\mu\text{g/L}$ Cu^{2+} was investigated to examine whether Cu^{2+} determination can be made at $\mu\text{g/L}$ level with the method developed in the study. The critical situation here is the waiting time after Cu^{2+} addition. Due to the low concentration of Cu^{2+} added to the medium, the color change, in other words, redshift is not intense. In the image in Figure

5a, the color change with concentration is seen, albeit a little. However, whether there is a change or not was determined by the UV spectrum. When the UV spectra of the solutions prepared at this concentration are taken, redshift occurs with the increase of Cu^{2+} concentration, and a secondary peak occurs at 600 nm (Figure 5b). With an approach similar to the method performed at mg/L level, when the number obtained by proportioning the absorbance value of the plasmon peak at 600 nm to the absorbance value of the peak at 520 nm is plotted against the concentration, a linear increase is observed in the range of 0.5-10 $\mu\text{g/L}$ value (Figure 5c). When the graph was rearranged for these concentrations, a linear calibration graph could be obtained (Figure 5d).

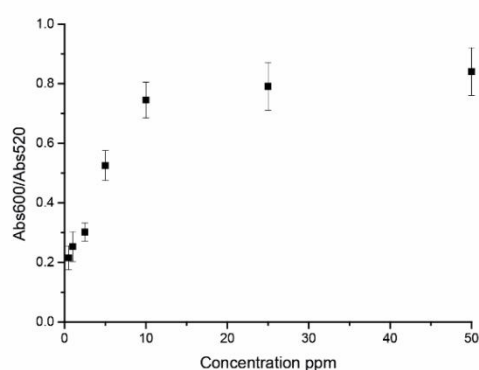
(a)



(b)



(c)



(d)

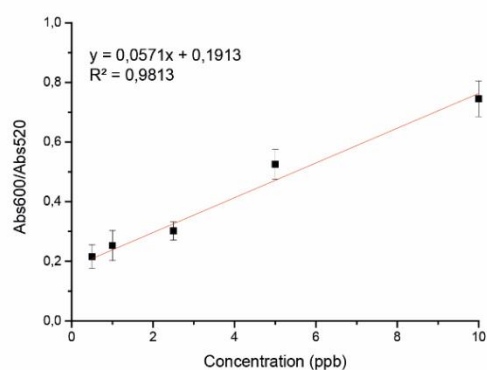


Figure 5. a) Images of solutions obtained in the presence of Cu^{2+} in different concentrations of $\mu\text{g/L}$, b) UV-Vis spectra of solutions containing Cu^{2+} at various concentrations, c) curve obtained by plotting $\text{Abs}_{600} / \text{Abs}_{520}$ value against concentration, d) linear range graph

The limit of detection (LOD) value was determined by dividing the standard deviation of the $\text{Abs}_{650} / \text{Abs}_{520}$ for mg/L and $\text{Abs}_{600} / \text{Abs}_{520}$ for $\mu\text{g/L}$ values for obtained from the blank solutions by the calibration graph's slope obtained from the method. The LOD value was found to be 0.08 mg/L in the Cu^{2+} determination performed at mg/L level by the method. In the determination of the $\mu\text{g/L}$ level LOD by the method, the value was determined as $0.04 \mu\text{g/L}$. Considering the calibration graphs obtained by the method, the correlation coefficient values were found to be 0.98. This value indicates that there is an increase close to linear within the specified working range. In the study, the determination of Cu^{2+} in 1643e NIST water-certified reference material was also performed. The certified value is given as $22.76 \mu\text{g/L}$. The result of the determination was found as $21.54 \mu\text{g/L}$ with the adjustment of the dilution factors. With this result, 94% recovery was achieved at a 95% confidence level. This shows that the developed method can be used to determine ppb levels within acceptable limits.

Table 1. The calibration curve, detection, and quantification limits of elements measured by the developed method

Level	Parameters	Found
mg/L	Calibration curve	$A=0.1456C-0.0462$
	R^2	0.98
	Linear Range (mg/L)	0.5-5.0
	LOD (mg/L)	0.08
	LOQ (mg/L)	0.24
$\mu\text{g/L}$	Calibration curve	$A=0.0571C+0.1913$
	R^2	0.98
	Linear Range ($\mu\text{g/L}$)	0.5-10
	LOD ($\mu\text{g/L}$)	0.04
	LOQ ($\mu\text{g/L}$)	0.13

In the last stage of the study, the use of the concept developed on real examples was examined. For this purpose, Cu^{2+} determination is carried out in the sample of tap water. First of all, the method developed was first applied only to the tap water sample. As a result of this application, a readable value could not be reached. Then, spiking was applied to tap water to contain 1.0 mg/L and 2.0 mg/L Cu^{2+} . The absorbance values obtained were converted into concentrations by using the calibration curve values given in Table 1, and the results obtained are given in Table 2.

Table 2. The use of the developed method in the determination of Cu^{2+} in real sample

Sample	Added Cu^{2+} (mg/L)	Found* (mg/L)	Recovery (%)	RSD%
Tap water	-	ND**	-	-
Tap water	1.00	1.04 ± 0.07	104	+5
Tap water	2.00	2.03 ± 0.12	102	+4

* Mean of three replicates at % 95 confidence level

** Not Detected

Comparing the data obtained in the study with the Cu^{2+} determination studies that were previously performed colorimetrically with AuNPs is given in Table 3. Accordingly, when the results are compared with the studies employing different functional structures with a wide range of minimum

determination limits, it was observed that the GH-AuNPs particles responded at both ppb and ppm level in specific concentration ranges, which reveals the positive aspect of the study.

Table 3. Literature comparison table of the colorimetric Cu^{2+} determination via functionalized Au NPs

Detected Metal	Functionalized Group	SPR*	MDL**	Cited
Cu^{2+}	L-cystein	522 nm	10 μM	[33]
Cu^{2+}	Citrate	520 nm	2500 μM	[34]
Cu^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+}	Papain	626 nm and 524 nm	200 nM	[19]
Cu^{2+}	GH	650 nm and 520 nm	0.08 mg/L	This Study
Cu^{2+}	GH	600 nm and 520 nm	0.04 $\mu\text{g/L}$	This Study

* Surface Plasmon Resonance

**Minimum Detection Limit

IV. CONCLUSIONS

In this study, the potential for use in the colorimetric determination of metals after the interaction of AuNPs with dipeptide-based GH molecule was investigated. In this respect, it is understood that the colorimetric determination of Cu^{2+} ions can be performed among some toxic metal types. Here, with increasing Cu^{2+} amount, it is seen that the color change occurs as a result of the shift of AuNPs plasmon peaks towards the region with higher energy. The color change occurs as a result of aggregation in particles in the presence of GH and Cu^{2+} . The proposed method shows that the potential for use in determining some more toxic species can be made with dipeptide-based molecules. It is presented as an innovative application for the use of dipeptide-based materials, especially in the literature.

ACKNOWLEDGEMENTS: This work is supported by University of Health Sciences Turkey Scientific Research Project (Project no: 2020/10).

V. REFERENCES

- [1] M. Jaishankar, T. Tseten, N. Anbalagan, B. B. Mathew, and K. N. Beeregowda, "Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals," *Interdisciplinary Toxicology*, vol. 7, no. 2, pp. 60-72, 2014.
- [2] N. Lewen, S. Mathew, M. Schenkenberger, and T. Raglione, "A rapid ICP-MS screen for heavy metals in pharmaceutical compounds," *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, vol. 35, no. 4, pp. 739-752, 2004.
- [3] Ö. Yalçinkaya, O. M. Kalfa, and A. R. Türker, "Chelating agent free-solid phase extraction (CAF-SPE) of Co(II), Cu(II) and Cd(II) by new nano hybrid material ($\text{ZrO}_2/\text{B}_2\text{O}_3$)," *Journal of Hazardous Materials*, vol. 195, pp. 332-339, 2011.

- [4] M. A. Deshmukh, H. K. Patil, G. A. Bodkhe, M. Yasuzawa, P. Koinkar, A. Ramanaviciene, M. D. Shirsat, and A. Ramanavicius, "EDTA-modified PANI/SWNTs nanocomposite for differential pulse voltammetry based determination of Cu(II) ions," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 260, pp.331-338, 2018.
- [5] R. M. Takeuchi, A. L. Santos, P. M. Padilha, and N. R. Stradiotto, "Copper determination in ethanol fuel by differential pulse anodic stripping voltammetry at a solid paraffin-based carbon paste electrode modified with 2-aminothiazole organofunctionalized silica," *Talanta*, vol. 71, no. 2, pp. 771-777, 2007.
- [6] C. Yıldız, D. E. Bayraktepe, and Z. Yazan, "NiO Modifiye Karbon Pasta Sensör Yüzeyinde Bakır ve Kadmiyum'un Anodik Sıyırma Voltametri si ile Tayini," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 7, no. 3, pp. 1403-1416, 2019.
- [7] J. Sneddon and M. D. Vincent, "ICP-OES and ICP-MS for the Determination of Metals: Application to Oysters," *Analytical Letters*, vol. 41, no. 8, pp. 1291-1303, 2008.
- [8] J. A. Buledi, S. Amin, S. I. Haider, M. I. Bhangar, and A. R. Solangi, "A review on detection of heavy metals from aqueous media using nanomaterial-based sensors," *Environmental Science and Pollution Research*, 2020.
- [9] D. J. de Aberasturi, A. B. Serrano-Montes, and L. M. Liz-Marzán, "Modern Applications of Plasmonic Nanoparticles: From Energy to Health," *Advanced Optical Materials*, vol. 3, no. 5, pp.602-617, 2015.
- [10] N. G. Khlebtsov and L. A. Dykman, "Optical properties and biomedical applications of plasmonic nanoparticles," *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 111, no. 1, pp.1-35, 2010.
- [11] L. Wang, M. Hasanzadeh Kafshgari, and M. Meunier, "Optical Properties and Applications of Plasmonic-Metal Nanoparticles," *Advanced Functional Materials*, vol. 30, no. 51, pp. 2005400, 2020.
- [12] H. Erdogan, H. Sakalak, M. S. Yavuz, and G. Demirel, "Laser-Triggered Degelation Control of Gold Nanoparticle Embedded Peptide Organogels," *Langmuir*, vol. 29, no. 23, pp. 6975-6982, 2013.
- [13] X. Chen and L. Jensen, "Understanding the shape effect on the plasmonic response of small ligand coated nanoparticles," *Journal of Optics*, vol. 18, no. 7, pp. 074009, 2016.
- [14] J. Olson, S. Dominguez-Medina, A. Hoggard, L.-Y. Wang, W.-S. Chang, and S. Link, "Optical characterization of single plasmonic nanoparticles," *Chemical Society Reviews*, vol. 44, no. 1, pp. 40-57, 2015.
- [15] F. Chai, C. Wang, T. Wang, L. Li, and Z. Su, "Colorimetric Detection of Pb²⁺ Using Glutathione Functionalized Gold Nanoparticles," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 2, no. 5, pp. 1466-1470, 2010.
- [16] J. Du, L. Jiang, Q. Shao, X. Liu, R. S. Marks, J. Ma, and X. Chen, "Colorimetric Detection of Mercury Ions Based on Plasmonic Nanoparticles," *Small*, vol. 9, no. 10, pp. 1467-1481, 2013.
- [17] Y. Guo, Y. Zhang, H. Shao, Z. Wang, X. Wang, and X. Jiang, "Label-Free Colorimetric Detection of Cadmium Ions in Rice Samples Using Gold Nanoparticles," *Analytical Chemistry*, vol. 86, no. 17, pp.8530-8534, 2014.

- [18] S. Zhan, M. Yu, J. Lv, L. Wang and P. Zhou "Colorimetric Detection of Trace Arsenic(III) in Aqueous Solution Using Arsenic Aptamer and Gold Nanoparticles," *Australian Journal of Chemistry*, vol. 67, no. 5, pp. 813-818, 2014.
- [19] Y. Guo, Z. Wang, W. Qu, H. Shao, and X. Jiang, "Colorimetric detection of mercury, lead and copper ions simultaneously using protein-functionalized gold nanoparticles," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 26, no. 10, pp. 4064-4069, 2011.
- [20] N. Ratnarathorn, O. Chailapakul, and W. Dungchai, "Highly sensitive colorimetric detection of lead using maleic acid functionalized gold nanoparticles," *Talanta*, vol. 132, pp. 613-618, 2015.
- [21] X. Wang, Y. Wei, S. Wang, and L. Chen, "Red-to-blue colorimetric detection of chromium via Cr (III)-citrate chelating based on Tween 20-stabilized gold nanoparticles," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 472, pp. 57-62, 2015.
- [22] N. Mergu and V. K. Gupta, "A novel colorimetric detection probe for copper(II) ions based on a Schiff base," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 210, pp. 408-417, 2015.
- [23] Q. Shen, W. Li, S. Tang, Y. Hu, Z. Nie, Y. Huang, and S. Yao, "A simple "clickable" biosensor for colorimetric detection of copper(II) ions based on unmodified gold nanoparticles," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 41, pp. 663-668, 2013.
- [24] İ. Aksu, H. G. Anlar, G. Taner, M. Bacanlı, S. İritaş, E. Tutkun, and N. Başaran, "Assessment of DNA damage in welders using comet and micronucleus assays," *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, vol. 843, pp. 40-45, 2019.
- [25] D. Tokaç, H. G. Anlar, M. Bacanlı, S. A. Dilsiz, S. İritaş, and N. Başaran, "Oxidative stress status of Turkish welders," *Toxicology and Industrial Health*, vol. 36, no. 4, pp. 263-271, 2020.
- [26] S. Liu and X. Li, "Colorimetric detection of copper ions using gold nanorods in aquatic environment," *Materials Science and Engineering: B*, vol. 240, pp. 49-54, 2019.
- [27] Z. Weng, H. Wang, J. Vongsivut, R. Li, A. M. Glushenkov, J. He, Y. Chen, C. J. Barrow, and W. Yang, "Self-assembly of core-satellite gold nanoparticles for colorimetric detection of copper ions," *Analytica Chimica Acta*, vol. 803, pp. 128-134, 2013.
- [28] X. Xu, W. L. Daniel, W. Wei, and C. A. Mirkin, "Colorimetric Cu²⁺ Detection Using DNA-Modified Gold-Nanoparticle Aggregates as Probes and Click Chemistry," *Small*, vol. 6, no. 5, pp. 623-626, 2010.
- [29] V. N. Mehta, M. A. Kumar, and S. K. Kailasa, "Colorimetric Detection of Copper in Water Samples Using Dopamine Dithiocarbamate-Functionalized Au Nanoparticles," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 52, no. 12, pp. 4414-4420, 2013.
- [30] K. Besar, H. A. M. Ardoña, J. D. Tovar, and H. E. Katz, "Demonstration of Hole Transport and Voltage Equilibration in Self-Assembled π -Conjugated Peptide Nanostructures Using Field-Effect Transistor Architectures," *ACS Nano*, vol. 9, no. 12, pp. 12401-12409, 2015.
- [31] H. Erdoğan, "Catalytic degradation of 4-Nitrophenol and methylene blue by bioinspired polydopamine coated dipeptide structures," *Colloid and Interface Science Communications*, vol. 39, no. pp. 100331, 2020.
- [32] H. Erdogan, M. Yilmaz, E. Babur, M. Duman, H. M. Aydin, and G. Demirel, "Fabrication of Plasmonic Nanorod-Embedded Dipeptide Microspheres via the Freeze-Quenching Method for Near-

Infrared Laser-Triggered Drug-Delivery Applications," *Biomacromolecules*, vol. 17, no. 5, pp. 1788-1794, 2016.

[33] W. Yang, J. J. Gooding, Z. He, Q. Li, and G. Chen, "Fast colorimetric detection of copper ions using L-cysteine functionalized gold nanoparticles," *J Nanosci Nanotechnol*, vol. 7, no. 2, pp. 712-6, 2007.

[34] A. R. M. Salcedo and F. B. Sevilla III, "Citrate-capped gold nanoparticles as colorimetric reagent for copper (II) ions," *Philipp. Sci. Lett*, vol. 6, pp. 90-96, 2013.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

In Vitro Antioxidant and Enzyme Inhibition Activity of *Hesperis Isatidea* (Boiss.) D.A. German & Al-Shehbaz (Brassicaceae) and its Anatomy

 Gülnur EKŞİ^{a,*},  Gülderen YILMAZ^a,  Nuraniye ERUYGUR^b,  Fatma AYZAZ^b

^a Pharmaceutical Botany Department, Pharmacy Faculty, Ankara University, Ankara, TURKEY

^b Pharmacognosy Department, Pharmacy Faculty, Selçuk University, Konya, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: gulnur_eksi@yahoo.com

DOI: 10.29130/dubited.931454

ABSTRACT

Hesperis isatidea (Brassicaceae) is a perennial herbaceous endemic plant known as “Allıgelin”. It has traditional use concerning the cough, wound, cold and vulnerary in the form of decoction and poultice in Eastern Turkey. In this study, the *in vitro* antioxidant activity (DPPH, ABTS, FRAP, and metal chelating) and enzyme inhibitory activities (anticholinesterase, anti-tyrosinase) of *H. isatidea* were evaluated. Besides, the transverse sections were taken from the leaf, stem and fruit to determine the morphological and anatomical features of *H. isatidea*. The characteristic elements of the preparations were determined by Leica CME stereomicroscope and the distinctive features were shown in photographs. The obtained results of *in vitro* antioxidant and enzyme inhibitory assays suggest that *H. isatidea* may useful to develop bioactive compounds rich nutraceuticals for health care.

Keywords: Phenolics, anatomy, DPPH, ABTS, FRAP, Metal chelating, Anticholinesterase and anti-tyrosinase

Hesperis Isatidea (Boiss.) D.A. German & Al-Shehbaz (Brassicaceae) Türünün *in vitro* Antioksidan ve Enzim Aktivitesi ve Anatomisi

ÖZ

Endemik bir tür olan *Hesperis isatidea* (Brassicaceae) “Allıgelin” olarak bilinen çok yıllık ve otsu bir bitkidir. Doğu Anadolu’da öksürükte, yara iyileştirmede, soğuk algınlığında dekoksasyon ya da lapa olarak geleneksel kullanımlarına rastlanmaktadır. Bu çalışmada, *H. isatidea* türünün *in vitro* antioksidan (DPPH, ABTS, FRAP ve metal bağlama) ve enzim inhibe edici aktiviteleri (antikolinesteraz, anti-tirozinaz) değerlendirilmiştir. Ayrıca *H. isatidea* türünün morfolojik ve anatomik özelliklerini aydınlatmak üzere yaprak, gövde ve meyveden enine kesit alınarak türün karakteristik unsurları Leica CME stereomikroskop ile belirlenmiş ve ayırt edici özellikleri fotoğraflanmıştır. *In vitro* antioksidan ve enzim inhibe edici deneylerin sonuçlarına göre, *H. isatidea* türünün sağlığa faydalı biyoaktif bileşikler açısından zengin olduğu ve nutrasötik geliştirme çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Fenolik bileşikler, Anatomy, DPPH, ABTS, FRAP, Metal bağlama, Antikolinesteraz ve anti-tirozinaz

Geliş: 02/05/2021, Düzeltme: 12/05/2021, Kabul: 17/05/2021

I. INTRODUCTION

The Brassicaceae is one of the large and important plant families. *Hesperis* L. is distributed in the warm climate zone of Eurasia and in the mountainous regions in Europe, Southwest Asia, Caucasus and Transcaucasia and in Northern and Central Asia. The genus comprises around 56 species in the world-wide [1]–[4] half of which are naturally distributed in Turkey, where the transition zone of the Mediterranean, Irano-Turanian and Euro-Siberian phytogeographical regions, with the endemism ratio of 82% shows Turkey is the possible diversity center for the genus [4]–[7]. The genus consists of biennial or perennial herbs. Trichomes are unicellular, furcate-stellate, glandular or eglandular. Leaves often deeply dentate. Inflorescence is a racemose. Flowers are often striking. Petals are purple, pink, violet, white, greenish, yellowish or brown. Fruit type is a silique. Stigma is with 2 decurrent carpoid lobes [4]–[6]. *Hesperis isatidea* (Boiss.) D.A. German & Al-Shehbaz is an endemic species, which has distribution in Eastern Turkey in Elazığ, Erzincan, Erzurum, Gümüşhane, Giresun, Sivas, Tunceli provinces. It has important diagnostic features such as the indumentum of a mixture of long simple setose and smaller stalked branched trichomes, large fragrant flowers with closed bisaccate calyx and long-unguiculate petals, flattened filaments of inner stamens, deeply bilobed stigmas, non-margined seeds [6]–[8]. The recent molecular phylogenetic studies showed that *Tchihatchewia* Boiss. is synonym of *Hesperis* [9]–[10]. Turkey is rich in medicinal plants and *Hesperis* is one of the therapeutic species used in folk medicine for wound healing [11] cough, sinusitis, bronchitis, skin diseases [12] and has use as well as ornamental purpose [13]. According to recent studies, the genus exhibits several bioactivities such as antimicrobial and anticholinesterase activities [14]. In this work, *in vitro* antioxidant activity (DPPH, ABTS, FRAP and metal chelating,) and enzyme inhibitory activities (anticholinesterase and anti-tyrosinase) of *H. isatidea* were evaluated as well as its morphological and anatomical features determination. Besides, the total phenolic and flavonoid contents of the extract were investigated by Folin-Ciocalteu and aluminum chloride colorimetric methods, respectively.

II. MATERIAL AND METHODS

A. PLANT MATERIAL AND EXTRACTION PROCEDURE

Hesperis isatidea (Boiss.) D.A. German & Al-Shehbaz in Phytotaxa 334(1): 95-98, 2018. **Lectotype:** [TURKEY, Erzincan], Armenia ad orientum Urbis Erzindjan. Aia minor, OEst. 1858. M. de Tchihatchef s.n. Designated by Al-Shehbaz in Phytotaxa 334(1): 95-98, 2018. **Synonym:** *Tchihatchewia isatidea* Boiss. in Asie Min., Bot. 1: 292, 1866. *Neotchihatchewia isatidea* (Boiss.) Rauschert in Syst. Verz. 31: 558 1982.

The plant materials were collected by Assoc. Prof. Dr. Gülderen Yılmaz at flowering stage in Geçitli Village in Tunceli province in Turkey. Voucher specimen (AEF 28861) was deposited Ankara University, Faculty of Pharmacy Herbarium (AEF). 50 g of aerial parts were air-dried, grounded by a laboratory mill into a fine powder and macerated with methanol at room temperature for 24 hours. Rotary evaporator was used for concentrate the extracts at 40°C and the extracts (5g) were stored at 4°C.

B. ANATOMY

The research materials of the species were preserved in 70% of alcohol. The Cross-sections of stem, leaf and fruit are examined in Sartur and chloral hydrate solutions. An automatic camera adapted on a Leica CME microscope was used to take photographs of the sections.

C. EXTRACTION PROCEDURE

C. 1. *In-Vitro* Antioxidant Activity

C.1.1. Total Phenolic Content

Folin-Ciocalteu method was performed for determination of the total phenolic content of the extracts [15]. Ten times diluted 100 μL (1/10, v/v) Folin-Ciocalteu reagent and 10 μL (2mg/mL) of each extract were mixed. After 5 min of reaction, 100 μL (7.5%) sodium carbonate was added to each tube. After that the mixture placed in incubation for 60 min. The samples absorbance was measured at 650 nm. The experiment was conducted three times and the standard curve was prepared by 1-1000 $\mu\text{g/mL}$ solutions of gallic acid in DMSO. The total phenol content was showed as the gallic acid (mg) in per g of dry weight of the extract (mg GAE/g DW).

C.1.2. Total Flavonoid Content

According to the literature, we used aluminium chloride colorimetric method to determine the total flavonoid content [16]. Serial diluted solutions of 0.0625, 0.125, 0.25 and 0.5 mg/mL were prepared using quercetin stock solution (1 mg/mL) for calibration. The test solution (150 μL , 0.3 mg / mL) was prepared with ethanol which is mixed on an aliquot of 96 well plates with an equal volume of 2% AlCl_3 . It was incubated for 15 min at room temperature. Then, the absorbance was read at 435 nm. The quantities of total flavonoids were calculated mg equivalence of quercetin over g dry weight of extract.

C.1.3. DPPH Radical Scavenging Activity

2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging potential of the extracts was determined with spectrophotometric method [15]. 20 μL of diluted with DMSO test solutions were mixed in a 96-well plate with 180 μL of DPPH solution at a concentration of 40 $\mu\text{g/mL}$ prepared in methanol. After the plates are left in the dark for 15 min, the absorbance was read at 540 nm with an Elisa reader. DMSO was used as blank instead of the test sample, and a standard solution of gallic acid was run in parallel. The following equation was used for express the results as % DPPH scavenging effect. % DPPH Scavenging Effect = $[(\text{Control Absorbance} - \text{Sample Absorbance}) / \text{Control Absorbance}] \times 100$ The control absorbances are all solutions that do not contain the test substances, and the sample absorbance is the absorbance of extract/quercetin.

C.1.4. ABTS Radical Scavenging Activity

Re et al. (1999) method was used for determine ABTS scavenging activities of the plant extracts [17]. Sample preparation method was like in the DPPH method. ABTS + radical stock solution was prepared by allowing 264 μL of 140 mM potassium persulfate and 15 mL of 7 mM ABTS solution to stand in the dark for 16h at room temperature. The ABTS working solution was adjusted to give the absorbance as 0.70 ± 0.02 at 734 nm by diluting with methanol just before the experiment. 50 μL of sample solution and 100 μL of ABTS working solution were mixed on a 96-well plate. The mixture was left for 10 min at room temperature. After that, the absorbance was read at 734 nm. The ABTS + scavenger activities of the plant extracts were compared with Trolox, and the formula below used for calculation of the percent inhibition:

$$\text{ABTS + radical scavenging activity (\%)} = [(\text{Control} - \text{Sample}) / \text{Control}] \times 100$$

C.1.5. Iron Chelating Activity

Ferrozine spectrophotometric method was used for determine the metal chelating activity [14],[15]. Briefly, a mixture of 0.4 mL of 0.25 mM ferrozine and 0.2 mL of 0.10 mM FeSO₄, 0.2 mL of extract reacted for 10 min at room temperature. Then, absorbance was read at 562 nm. A blank was created for each measurement by substituting water for FeSO₄ and ferrozine to account for background absorbance. As the positive control disodium salt of EDTA was used.

C. 2. Enzyme Inhibition Activity

C.2.1. Tyrosinase Inhibition Assay

The spectrophotometric method used for measure the inhibitory effect on tyrosinase with minor modifications [18–19]. Briefly, (100 mM, pH 6.8, 100 µl) phosphate buffer, (250 U/mL of tyrosinase, 20 µL) enzyme solution and (test compounds in different concentrations, 20 µL) a total volume of 140 µL of assay mixture containing sample solution were added to each well of a 96-well plate before preincubated for 10 min at 25 °C. After that, (3 mM of L-tyrosine, 20 µL) substrate solution was added. After incubation for 30 min at 25 °C, microplate reader was used for determination of the mixture absorbance at 492 nm. As the positive control kojic acid was used. The following equation used for calculation of the percentage inhibition of tyrosinase activity: $\text{Inhibition \%} = [1 \times (A_a - A_b) / (A_c - A_d)] \times 100$, in which A_a is the absorbance with both enzyme and test sample, A_b is the absorbance without enzyme but test samples, A_c is the absorbance without test sample but enzyme, and A_d is the absorbance without both enzyme and test samples at 492 nm.

C.2.2. Acetylcholinesterase Inhibition Assay

Ellman's method was used for test the plant extracts against the acetylcholinesterase enzyme with slight modifications [20]. Briefly, 20 µL (0.22 U/mL) of acetylcholinesterase, 140 µL of 0.1 mM (pH 6.8) phosphate buffer and various concentrations of 20 µL of the extract solution were added in microplate. After that, it was incubated with mixing for 30 min. The reaction was started by the addition of 10 µL of 0.71 mM acetylthiocholine after adding 10 µL of 0.5 mM 5, 5'-dithiobis [2-nitrobenzoic acid] (DTNB). The acetylthiocholine hydrolysis-induced thiocholine was released and 5-thio-2-nitrobenzoate dianion (TNB), the yellow compound, formed by the reaction of thiocholine with the chromogenic DNTB. A microplate reader at 412 nm used for measure the absorbance. The positive control was galantamine and the negative control was methanol.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. ANTIOXIDANT ACTIVITY

Phenolic compounds are known for their potential antioxidant effects, therefore used widely in the healthcare products. In this context, investigation of antioxidant potential of different medicinal plants is very important for providing basic research data. In this study, Folin-Ciocalteu colorimetric method is used for determination of the total phenolic content (TPC) and expressed as gallic acid equivalent on dry weight basis of extract. TPC of *H. isatidea* extract was found as 109.66 mg GAE/g and total flavonoid content (TFC) was determined as 15.42 mg QE/g by aluminium chloride colorimetric method. Similarly, TFC was found as 31.3 mg RE/g by Zengin et al., but according to the same study, TPC was found as 30.18 mgGAE/g which is lower compare to our value of TPC [21].

DPPH and ABTS discoloration assays are used for determining radical scavenging potential of the extract. The DPPH and ABTS radical scavenging activity of the extract was detected as 905.08 and 534.58 µg/mL, respectively. According to Zengin et al. DPPH and ABTS radical scavenging activity

of the methanol extract was 78.69 and 167.81 $\mu\text{g/mL}$, respectively [21]. This strong radical scavenging activity in our results may be explained with the correlation between total phenolic contents and radical scavenging ability. The metal ions such as iron involved in the metabolic reactions, but they accelerate oxidations of important cellular compounds. Therefore, chelating of metal ions is also important for antioxidant effects. The iron chelating activity of the *H. isatidea* extract was found as 413.8 $\mu\text{g/mL}$.

Table 1. Antioxidant activity of the extract-in vitro

Taxa	Radical scavenging activities		Iron chelating activity (IC ₅₀)	Total phenolic content (mg GAE/g)	Total flavonoid content (mg QE/g)
	DPPH (IC ₅₀)	ABTS (IC ₅₀)			
<i>H. isatidea</i>	905.08 ± 1.70	534.58 ± 2.23	413.8 ± 0.69	109.66 ± 2.89	15.42 ± 0.27
Reference standard					
Gallic acid	53.87 ± 4.93				
Trolox		248.17 ± 0.66			
EDTA			425.3 ± 0.14		

B. ENZYME INHIBITORY ACTIVITY

Enzyme inhibitors have become therapeutic strategy for treatment of some disease such as diabetes mellitus and Alzheimer's diseases. Therefore, enzyme inhibitory evaluation assays are more popular due to assessment of the potential health benefits of plants, nutraceuticals as well as developing natural products or functional foods. Among these enzymes, the cholinesterase is related with pathology of Alzheimer diseases, and tyrosinase is related with Parkinson's disease and skin whitening. In this work, we investigated anti-acetylcholinesterase and anti-butyrylcholinesterase activity and tyrosinase inhibitory activity and the results are shown in Table 2 and Table 3. In this study, it is found that the methanol extract of *H. isatidea* possessed moderate antityrosinase activity with mean value of 16.67 % inhibition at 2 mg/ml concentration, while the reference standard kojic acid showed 82% inhibitory activity against tyrosinase.

Table 2. Tyrosinase inhibitory activity of the extract (% inhibition)

Sample	0.5(mg/ml)	1(mg/ml)	2(mg/ml)
<i>H. isatidea</i>	11.89±2.58	17.08±2.77	16.67±3.06
Reference standard			
Kojic acid	71.09±7.43	78.12±3.32	82.07±2.83

In addition, it was demonstrated that the extract of *H. isatidea* had anticholinesterase activity, and the acetylcholinesterase inhibitory activity (69.09%) was higher than butyrylcholinesterase inhibitory activity (43.38%) at 2 mg/ml concentration.

Table 3. Anticholinesterase inhibitory activity of the extract (% inhibition)

Sample	Anti-acetylcholinesterase activity (mg/ml)			Antibutyrylcholinesterase activity (mg/ml)		
	0.5	1	2	0.5	1	2

<i>H. isatidea</i>	28.92±0.13	50.27±2.02	69.09±1.60	30.88±8.94	38.97±1.04	43.38±7.68
Reference standard						
Galantamine	70.58±5.96	97.43±2.48	98.86±0.72	69.32±1.82	70.83±3.88	91.92±7.47

C. ANATOMY

In this study, the leaf, stem and fruit anatomy of *H. isatidea* were examined. The stem is cylindrical. In the cross-section, uniseriate, thickened wall epidermis layer in the outermost of the stem. After the epidermis, the collenchyma cells are 2-3 layered. Sclerenchyma cells lie next to the phloem in the cortex. The cambium is made up of cells in a regular row. Tracheal elements are arranged in the radial direction and surrounded by sclerenchyma including parenchyma cells between them. Parenchyma tissue is 5-6 layered. Between vascular fascicles, there are 7-12 layered sclerenchyma cells. Different-sized parenchymatic cells fill the pith region (Figure 1).

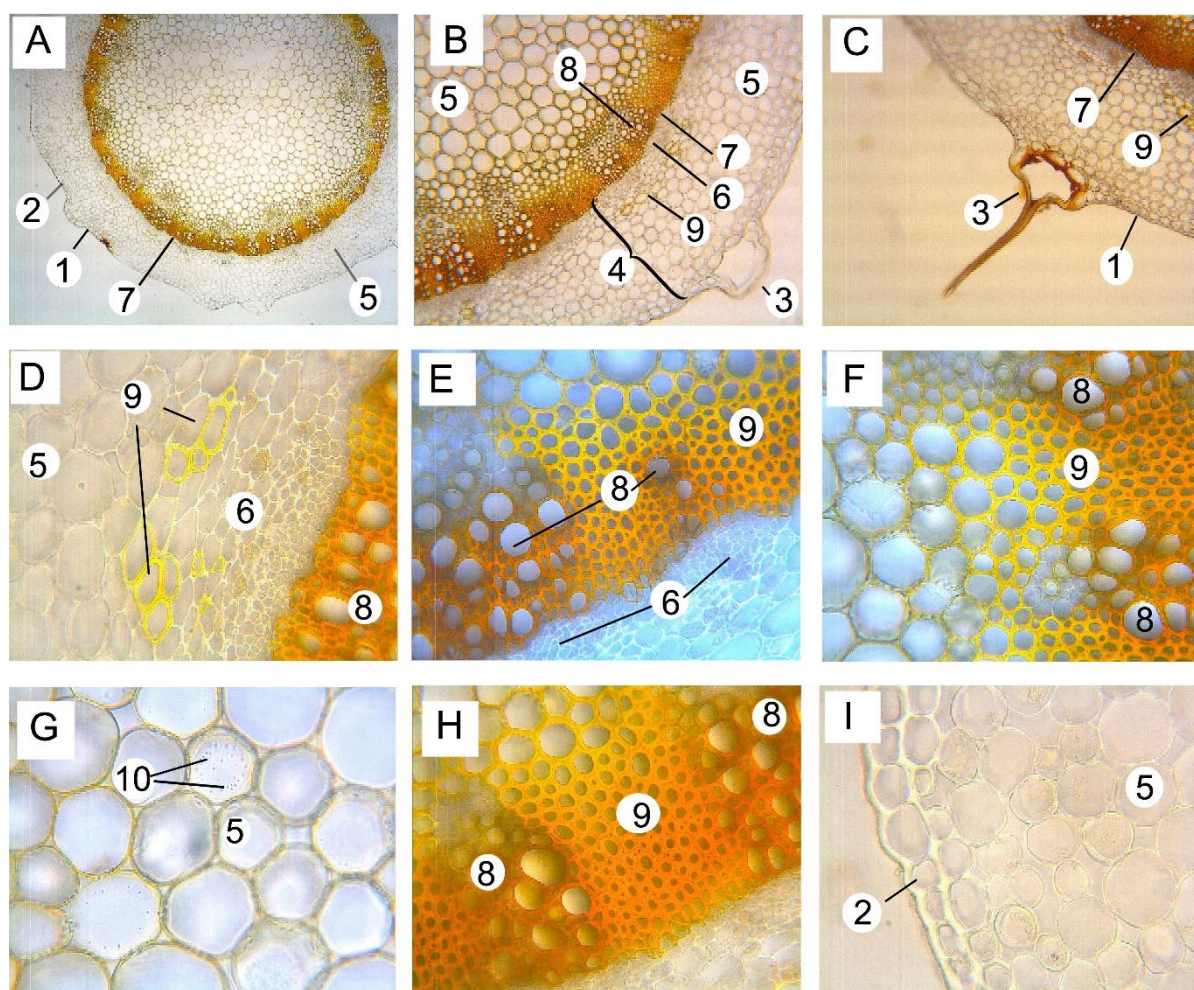


Figure 1. (A-I) stem cross-section. 1) cuticle, 2) epidermis, 3) trichome, 4) cortex, 5) parenchyma, 6) phloem, 7) cambium, 8) xylem, 9) sclerenchyma cells, 10) crystals

In the leaf cross-section, cuticle located on the lower and upper epidermis. There is a single-layered epidermis on the lower and upper surface of the leaf with simple and bifurcated trichomes on the leaf surfaces. Vascular bundles are surrounded by collenchyma cells. The mesophyll is composed of different shaped palisade parenchyma cells. The leaf is isobilateral with 2-3 layered palisade

parenchyma cells on both surfaces. Spongy parenchyma cells are 2-3 layered. The vascular bundle type is collateral. In leaf, superficial section epidermis cells are located at upper and lower leaf surfaces and display similar structures on both sides including stomata. The leaf type is amphistomatic. Stomata are anisocytic, surrounded by 3-4 neighbour cells. One of the neighbouring cells is much smaller than the others and reflects the characteristics of the Cruciferae type stoma (Figure 2).

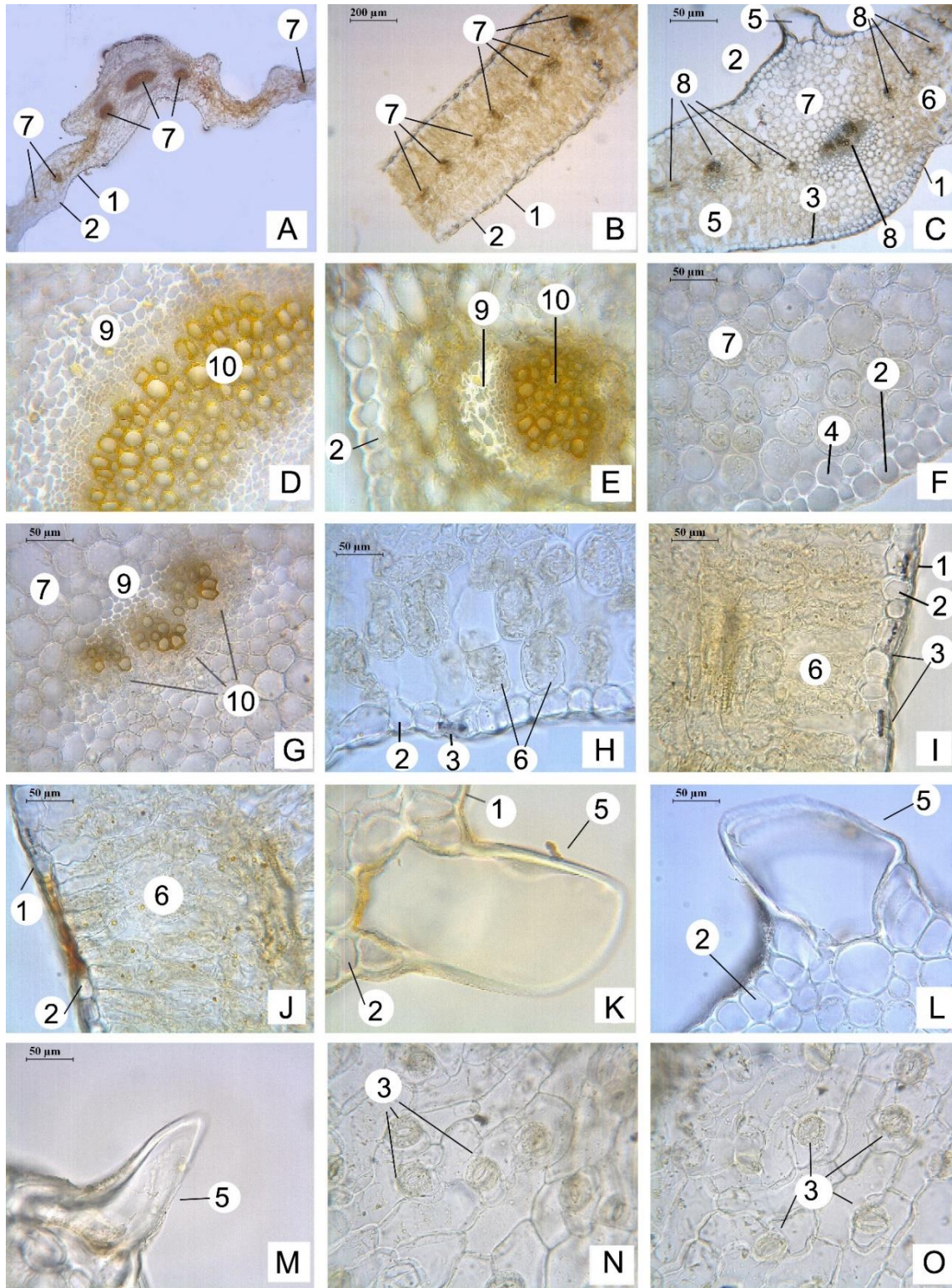


Figure 2. (A-O) leaf transversal section. 1) cuticle, 2) epidermis, 3) stomata, 4) collenchyma, 5) simple trichome, 6) palisade parenchyma, 7) spongy parenchyma, 8) vascular bundle, 9) phloem, 10) xylem

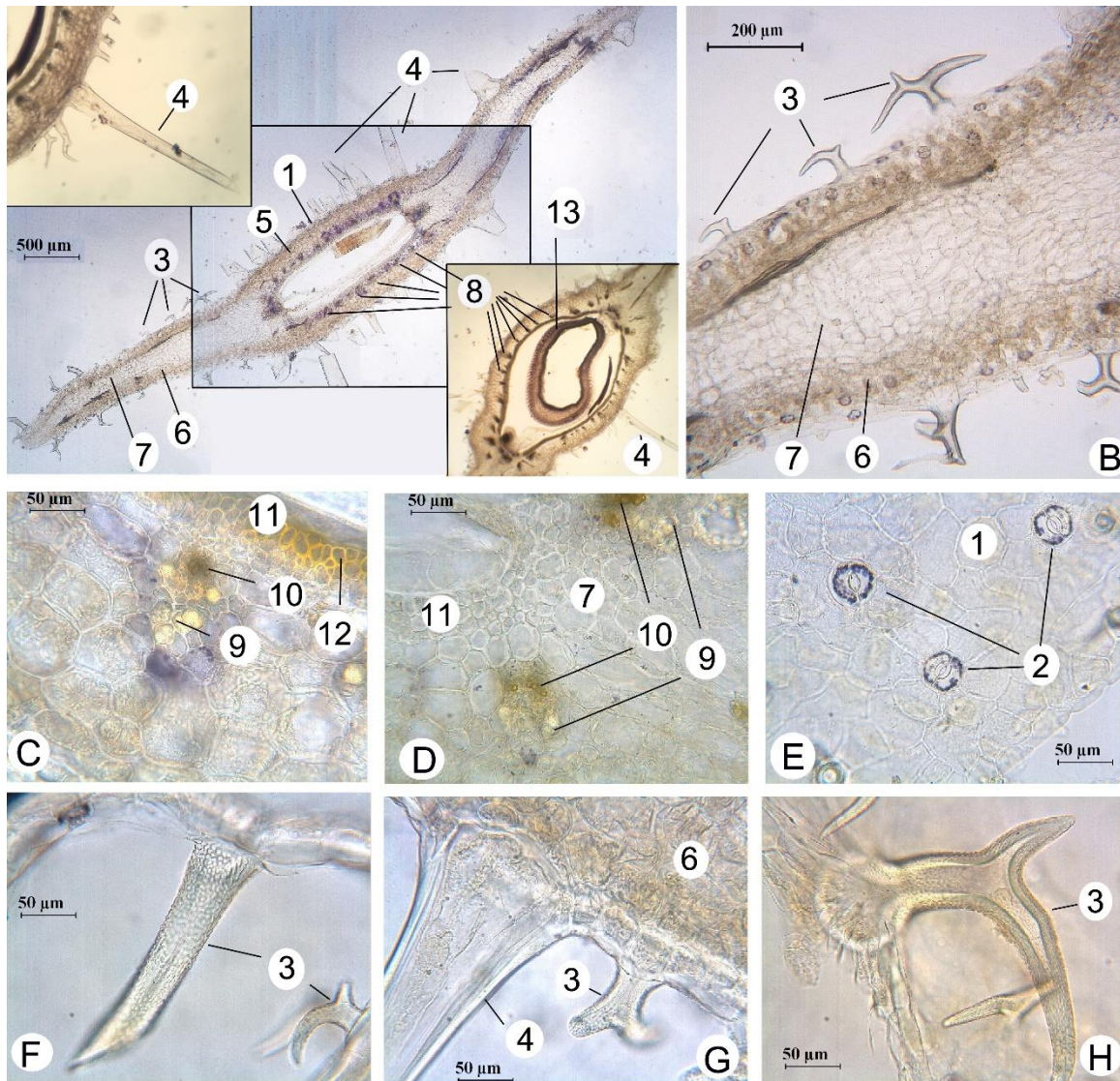


Figure 3. (A-H) fruit cross-section. 1) exocarp, 2) stomata, 3) bifurcated trichome, 4) simple trichome, 5) mesocarp, 6) palisade parenchyma, 7) spongy parenchyma, 8) vascular bundle, 9) phloem, 10) xylem, 11) endocarp, 12) sclerenchyma, 13) seed

In the fruit cross-section, fruit surrounded by one layered, thick walled exocarp. After exocarp lie 3-5 layered palisade parenchyma cells at both side. 5-10 layered spongy parenchyma inside. The fruit is flat and winged. The entire surface is covered with simple and bifurcated trichomes. Simple trichomes numbers increase towards the centre of the fruit. Simple trichomes are much larger than bifurcate trichomes. Many vascular bundles are surrounding the endocarp from the inside. There are 12-14 vascular bundles on both side of the fruit, and one relatively large vascular bundles on both side facing the fruit wings. Before endocarp sclerenchyma cells are 3-4 layers. Sclerenchyma cells are located between vascular bundles and endocarp. There are 1-2 seeds in the middle, one of them is well developed. At superficial section, stomatas have 3-5 neighbour cells (Figure 3).

IV. CONCLUSION

In this study, the stem, leaf and fruit anatomy of *Hesperis isatidea* are studied. *H. isatidea* represents by distinctive anatomical characters like bifurcated trichomes on the fruit surface. Our results have

contributed to the taxonomy of the genus *Hesperis* and confirmed the importance of anatomical structures. Besides, TPC of *H. isatidea* extract was found as 109.66 mg GAE/g. The DPPH and ABTS radical scavenging activity of the extract was found as considerable high with 905.08 µg/mL and 534.58 µg/mL, respectively. The acetylcholinesterase inhibitory activity of the extract was found higher than butyrylcholinesterase inhibitory activity. In addition, the extract possessed moderate antityrosinase activity with mean value of 16.67 % at the 2 mg/ml concentration. The obtained results of enzyme inhibitory and *in vitro* antioxidant assays suggest that this plant may be important source for the development of new formulations with natural constituents for pharmaceutical preparations.

IV. REFERENCES

- [1] S. Aras, A. Duran, G. Yenilmez, and D. C. Duman, "Genetic relationships among some *Hesperis* L. (Brassicaceae) species from Turkey assessed by RAPD analysis," *African Journal of Biotechnology*, vol. 8, pp. 3128–3134, 2009.
- [2] A. Duran, "Two New Species With Pendulous Fruits in *Hesperis* (Brassicaceae) from South Anatolia, Turkey," *A Journal for Botanical Nomenclature*. vol. 18, pp. 453–463, 2008.
- [3] A. E. Farouji, H. Khodayari, and M. Assadi, "Taxonomic significance of pollen and seed micromorphology in the genus *Hesperis* L. (Brassicaceae)," *Iranian Journal of Botany*. vol. 24, pp. 91–104, 2018.
- [4] A. E. Farouji, H. Khodayari, M. Assadi, B. Özüdoğru, Ö. Çetin, K. Mummenhoff, and S. Bhattacharya, "Numerical taxonomy contributes to delimitation of Iranian and Turkish *Hesperis* L. (brassicaceae) species," *Phytotaxa*, vol. 367, pp. 101–119, 2018.
- [5] A. Duran and Ö. Çetin, "New species and a synonym of the genus *Hesperis* (Brassicaceae) from Turkey," *Turkish Journal of Botany*, vol. 40, pp. 87–96, 2016.
- [6] J. Cullen, "*Hesperis* L.," in *Flora Turkey East Aegean Islands*, P.H. Davis, ed., Edinburgh, UK: Edinburgh University Press, 1965, vol. 1, pp. 452–460.
- [7] A. Duran and A. Ocak, "*Hesperis turkmendaghensis* (sect. *Hesperis*) (Cruciferae/Brassicaceae), a new species from the Central Anatolia region, Turkey," *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 147, pp. 239–247, 2005.
- [8] O. Appel and I. A. Al-Shehbaz, Cruciferae. *Flowering Plants Dicotyledons*, Heidelberg, Berlin, Springer, 2003, pp. 75–174.
- [9] D. A. German and I. A. Al-Shehbaz, "A reconsideration of *Pseudofortuynia* and *Tchihatchewia* as synonyms of *sisymbrium* and *hesperis*, respectively (Brassicaceae)," *Phytotaxa*, vol. 334, pp. 95–98, 2018.
- [10] S. I. Warwick, K. Mummenhoff, C. A. Sauder, M. A. Koch, and I. A. Al-Shehbaz, "Closing the gaps: Phylogenetic relationships in the Brassicaceae based on DNA sequence data of nuclear ribosomal ITS," *Plant Systematics and Evolution*, vol. 285, pp. 209–232, 2010.
- [11] E. Tuzlacı and A. Doğan, "Turkish folk medicinal plants, IX: Ovacık (Tunceli) IX," *Marmara Pharmaceutical Journal*, vol. 14, pp. 136–143, 2010.
- [12] M. Korkmaz and E. Karakurt, "An ethnobotanical investigation to determine plants used as folk medicine in Kelkit (Gümüşhane/Turkey) district," *Biological Diversity and Conservation*, vol. 8, pp. 290–303, 2015.
- [13] N. Kirimer, S. Gökmen, B. Demirci, K. H. C. Baser, and A. Duran, "Volatile compounds of seeds of *Hesperis bicuspidata*, *H. bottae* and *H. podocarpa*," *Journal of Essential Oil Research*, vol.

22, pp. 230–231, 2010.

[14] S. Ozlem Sener, M. Badem, S. Kanbolat, N. Korkmaz, U. Ozgen, R. Aliyazicioglu, S. A. Karaoglu, and S. Terzioglu, "The Therapeutic Potency of *Hesperis matronalis* subsp. *matronalis* for Alzheimer's and Microbial Diseases," *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, vol. 12, pp. 38–43, 2021.

[15] G. Clarke, K. N. Ting, C. Wiart, and J. Fry, "High correlation of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging, ferric reducing activity potential and total phenolics content indicates redundancy in use of all three assays to screen for antioxidant activity of extracts of plants from the m," *Antioxidants*, vol. 2, pp. 1–10, 2013.

[16] H. Yang, Y. Dong, H. Du, H. Shi, Y. Peng, and X. Li, "Antioxidant compounds from propolis collected in Anhui, China," *Molecules*, vol. 16, pp. 3444–3455, 2011.

[17] 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.

[18] S. H. Jeong, Y. B. Ryu, M. J. Curtis-Long, H. W. Ryu, Y. S. Baek, J. E. Kang, W. S. Lee, and K. H. Park, "Tyrosinase inhibitory polyphenols from roots of *Morus Ihou*," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, pp. 1195–1203, 2009.

[19] Z. Yang, Y. Wang, Y. Weng, and Y. Zhang, "Bioassay-guided screening and isolation of α -glucosidase and tyrosinase inhibitors from leaves of *Morus alba*," *Food Chemistry*, vol. 131, pp. 617–625, 2012.

[20] G. L. Ellman, K. D. Courtney, V. Andres, and R. M. Featherstone, "A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity," *Biochemical Pharmacology*, vol. 7, pp. 88–95, 1961.


[21] G. Zengin, H. H. Abdallah, A. Dogan, A. Mollica, Z. Aumeeruddy-Elalfi, and M. F. Mahomoodally, "Phenolic components and assessment of biological properties of *Tchihatchewia isatidea* Boiss. extracts: Docking and functional approaches for designing novel products," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 111, pp. 423–431, 2018.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Determination of Quality in Homemade Vinegars by Spectroscopy and Rheology Methods

 Muhittin ÖZTÜRK^{a,*}

^a Program of Opticianry, Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Niğde, Turkey

*Corresponding author's e-mail address:: muhittin.ozturk@ohu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.882634

ABSTRACT

This study focused on the determination of quality characteristics of homemade organic vinegars (apple, red hawthorn and yellow hawthorn) which were produced with double fermentation (ethyl alcohol and acetic acid fermentation) method by spectroscopy (UV/Fourier transform infrared) and rheology technique. These absorbance peak values are associated with organic acids and phenolic compounds were determined as an important parameter in the quality evaluation of vinegars. It was determined that the flow curves of all vinegars are compatible with the non-Newtonian flow, which is the behaviour of thickening (dilatant) fluids. From the obtained results, it was thought that the antioxidant and anti-bacterial effect of yellow hawthorn vinegar would be higher due to its higher acetic acid and phenolic compound content compared to the others.

Keywords: Vinegar, UV spectra, FTIR spectra, Acetic acid, Organic acids, Phenolic compounds, Rheology, Non-newtonian flow, Dilatant fluids

Ev Yapımı Sirkelerde Kalitenin Spektroskopi ve Reoloji Yöntemleriyle Belirlenmesi

Öz

Bu çalışma, çift mayalanma (etil alkol ve akabinde asetik asit mayalanması) yöntemi ile üretilen ev yapımı organik sirkelerin (elma, kırmızı alıç ve sarı alıç) kalitesinin spektroskopi (UV/Fourier dönüşümlü kızılötesi) ve reoloji tekniği ile belirlenmesine odaklanmıştır. Organik asitler ve fenolik bileşiklerle ilişkili bu absorbans tepe değerleri, sirkelerin kalite değerlendirmesinde önemli bir parametre olarak saptandı. Tüm sirkelerin akış eğrilerinin, kıvamaştırıcı (dilatant) akışkanların davranışı olan Newton olmayan akışla uyumlu olduğu belirlendi. Elde edilen sonuçlardan sarı alıç sirkесinin daha yüksek asetik asit ve fenolik bileşik içeriği nedeniyle antioksidan ve anti bakteriyel etkisinin diğerlerine göre daha yüksek olacağı öngörüldü.

Anahtar Kelimeler: Sirke, UV spektrum, FTIR spektrum, Asetik asit, Organik asitler, Fenolik bileşikler, Reoloji, Newton olmayan akış, Genişleyen akışkanlar

I. INTRODUCTION

Vinegar is basically a combination of acetic acid and water made by a two-stage fermentation process of carbohydrate-rich foods. Traditional vinegars, also known as handmade vinegars are produced by first alcohol fermentation of foods rich in carbohydrates and then acetic acid fermentation [1]-[3]. On the other hand, commercial vinegars are produced by the rapid fermentation process, which is defined as a submerged culture fermentation in which bacterial culture is suspended in fruit liquid before adding air for oxygenate [4]. Until the last century, vinegars were at the forefront with their protective properties in food products, while they have been included in human life with many features that are beneficial to human health recently. Vinegars, which are suitable for consumption for a long time, are very rich in antioxidants, which are a very important substance in preventing oxidative stress, which is a big danger to human health. In particular, fruit vinegars are very good in terms of antioxidants compared to an equivalent fruit juice and are preferred [5]-[10]. The phenolic and organic acid compounds of the vinegars fermented from a wide variety of fruits by different processes (traditional or commercial) are different and accordingly their antioxidant capacity is also at different levels [11], [12].

Vinegars have many functional properties that can provide great benefits for human health due to their phenolic and organic acid compounds [11]-[13]. These fermented products have very protective and even healing properties due to organic acids such as acetic acid in their structure against bacteria and infections that cause illness [14]. In animal experiments, it was determined that vinegars are very effective in the regulating of the blood glucose and lipid levels [15]. On the other hand, it was observed that this miracle food was effective in increasing benign cholesterol values and decreasing malignant cholesterol values [16]. The effect of vinegar on cancer and obesity diseases, which are the two threatening factors of today's human life, has been recently investigated by the scientific community [15], [17]. Studies have shown that in different types of cancer, vinegars have been found to greatly inhibit the proliferation of cancer cells, in other words, have an anti-cancer effect [17]. Furthermore, it was concluded that acetic acid, which is the most basic structure of vinegar, can be effective in obese rats losing their unwanted weight [18]. Another very important benefit of vinegar is on cardiovascular and high blood pressure diseases. Researchers have shown that different vinegars cause very positive effects on these two diseases [19], [20].

In the literature, classification, content and quality analysis of commercial vinegars produced by industrial methods has been the subject of many studies [1], [21]-[24]. In these studies, the ultraviolet spectroscopy (UV) [25], inductively coupled plasma mass spectrometry [26], Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy [22], principal component [27], graphite furnace atomic absorption spectrometry [28], gas chromatography-mass spectrometry (GS-MS) [29] and high performance liquid chromatography (HPLC) [30] analysis techniques were used. In this study for the first time, the quality analyses of apple, red hawthorn and yellow hawthorn vinegars produced at home using traditional method (ethyl alcohol and acetic acid dual fermentation) were performed using Rheology technique, UV and FTIR spectroscopy together. Organic acid contents and flow behaviours that determine the quality of homemade apple, red hawthorn and yellow hawthorn vinegars will be determined using the relevant measurements and then quality comparison will be made with each other. The main purpose of this study is to compare the quality of homemade traditional vinegars, which have become widespread in our society recently, with commercial vinegars produced by periodic and legal controls. Thus, it will be possible to reach a conclusion about whether homemade vinegar can be consumed safely or not.

II. MATERIAL AND METHODS

A. PRODUCTION OF APPLE, RED HAWTHORN AND YELLOW HAWTHORN TRADITIONAL HOMEMADE VINEGARS

Amasya type apples were carefully picked from a tree that did not use any agricultural pesticides or poisons, especially when it was at its sweetest. The red and yellow hawthorn fruits were picked at full maturity time from trees at the same altitude and far away from the pathways of vehicles containing lead in their exhaust fumes. The collected apple and hawthorn fruits were washed in the water with 10% grape vinegar for 4 hours to remove unwanted harmful bacteria from the fruits that would adversely affect a healthy fermentation. After the washing process was completed, the fruits were left to dry for 24 hours in a sterile environment with sunlight to increase the effectiveness of phenolic compounds. In order to increase the surface area thought to speed up the ethyl alcohol fermentation, 1 kilogram (kg) of apple fruits were cut into small pieces and then placed into 2.5 litre (L) glass containers. Then, 1 kg of red and yellow hawthorn fruits were gently crushed and filled in a 2.5 L glass container, including its seeds. The 1 L of sterilized water for each, which was boiled and then cooled in order to kill the harmful microorganism inside, was added separately to these three glass containers half full of fruit. The 0.5 L volume part of glass containers were left empty in order to ensure a healthy oxygen flow, which will provide the second fermentation (acetic acid) of fruits. The prepared fruit and water mixtures were kept in closed glass containers for ethyl alcohol fermentation process in a dark room at 27 °C temperature, without exposure to sunlight for 3 months. This mixture, in which ethyl alcohol fermentation is desired to occur more quickly, was mixed with periods of 24 hours. After completion of the first fermentation, 100 mL of pure homemade grape vinegar was added to each glass container to start the acetic acid fermentation following the completion of the first fermentation. The glass containers to which pure vinegar was added were covered with a thin cloth allowing oxygen flow in order for acetic acid fermentation to take place in a healthy and successful way. All of the ethyl alcohol in the glass containers was converted to acetic acid thanks to the second fermentation lasting 6 months in the room with 27 °C temperature. Completing the second fermentation, the apple, red and yellow hawthorn samples were rested for 2 months by closing with lids that do not allow air flow to improve the vinegar aroma and taste. Finally, vinegars produced by homemade traditional methods were prepared for rheology and spectroscopy measurements.

B. SPECTROSCOPY AND RHEOLOGY MEASUREMENTS FOR TRADITIONAL HOMEMADE VINEGARS

The optical properties of apple, red hawthorn and yellow hawthorn vinegar were carried out by UV-spectroscopy technique using A 360 Spectrophotometer device. In order to determine the absorbance values of the vinegars, rectangular quartz cuvettes (3.5 mL volume) with path length of 1 cm were preferred and deionized water was used as the baseline in the measurements. The UV spectra for approximately 3% vinegar (0.1 mL) aqueous solutions were recorded at room temperature (RT) in the wavelength range of 190 nm to 600 nm. The absorbance coefficient values of homemade vinegars were calculated using the absorbance values depending on the wavelength. Energy band gaps of all samples were calculated using Tauc plots obtained from absorbance values.

Flow behaviours (rheological properties) of the homemade vinegars were determined using a Rheometer compatible with the measurement of liquids (Malvern Kinexus Pro.). In this preparation phase, 5 mL of nitric acid, 3 mL of hydrochloric acid, 2 mL of hydrogen peroxide, 50 mL of 1% nitric acid distilled water solution and 3.1 mL of vinegar were prepared severally for all the samples. Shear stress values of the all vinegars were calculated from steady state shear rates starting from a single point and changing step by step. The shear rate for all homemade vinegars was recorded range of 10^{-3} s⁻¹ to 10² s⁻¹ at RT. After the shear stress and shear rate values were determined, the viscosity values of the vinegars were calculated based on them.

Chemical functional groups, functional group orientations and contents for all samples were investigated using Bruker Vertex 70-FTIR, which allows infrared spectra measurements. FTIR measurements for all the homemade vinegars were carried out 4 cm⁻¹ resolution for each spectrum and in the wavenumber range of 4200 cm⁻¹ to 400 cm⁻¹ with 1 cm/s scanning speed at RT. Also, infrared spectral measurements were repeated three times for each of the homemade vinegars to make certain that the FTIR spectroscopy outputs.

C. THEORY

The Lambert-Beer-Bouguer law is used to most comprehensively describe the UV spectra relating to the nature of an electromagnetic light. The simplest form of the relevant law defining the absorbance of materials is as given in the following equation [31].

$$A = \log(I_0/I) = \epsilon bc \quad (1)$$

Here, A , I_0 , I , ϵ , b and c are define to the absorbance of material, the intensity of the incident light, the intensity of the transmitted light, the extinction coefficient, the length of path the light passes and dose of the absorbing, respectively. The relationship between absorbance and the transmittance is presented as $A = -\log T$ and $T = (I/I_0)$. In order to see the effect of material geometry on absorption, the absorption coefficient is calculated using the absorbance values by the following equation [32].

$$\alpha = 2,303. A/t \quad (2)$$

In this equation, α is the absorption coefficient and t is the thickness of the tube. Tauc plots were obtained by using the absorption coefficient values of the material. The optical energy gaps of the material were calculated using the slope of the Tauc plots, which a function of the photon energy. The relationship between the Tauc plots and the photon energy, which allows the calculation of the forbidden energy gaps, is as in the following equation [33]-[36].

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_g)^n \quad (3)$$

Where, h is the Planck's constant, ν is the frequency of incident photon, B is a constant that depends on the electron mobility and the transition probability, E_g is the forbidden energy gap and n is the an index that correspond to the nature of the transition.

The flow behaviour of a fluid is related to the shear stress and the applied shear rate perpendicular to the surface of this stress. If there is a direct proportion between these two values that determine the flow behaviour, it indicates that the fluid has Newtonian flow behaviour. In such liquids compatible with Newtonian flow, the viscosity equation is as follows [37], [38].

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (4)$$

In this equation, τ , η and $\dot{\gamma}$ are represent the shear stress, the viscosity and the shear rate in succession.

Non-Newtonian flow behaviour of liquids such as dilatant fluids and pseudo-plastic is given by the Power Law model. In this model, the shape, particle size, particle distribution and the interaction of particles of liquids with each other are extremely important. The Power law equation for non-Newtonian fluids is as follows [39], [40].

$$\eta = K \dot{\gamma}^{m-1} \quad (5)$$

Here, K and m are depicted the consistency coefficient and the flow behaviour index, respectively. Dilatant flow behaviour occurs when $m > 1$ in the power law.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The evolution of UV spectra for 0.1 mL dose of apple, red hawthorn and yellow hawthorn vinegars in the wavelength range of 190 nm to 600 nm is shown in the Figure 1. The variation of the absorbance and absorption coefficient of the vinegars produced at home by traditional methods with the wavelength is presented in the Figures 1a and 1b, respectively.

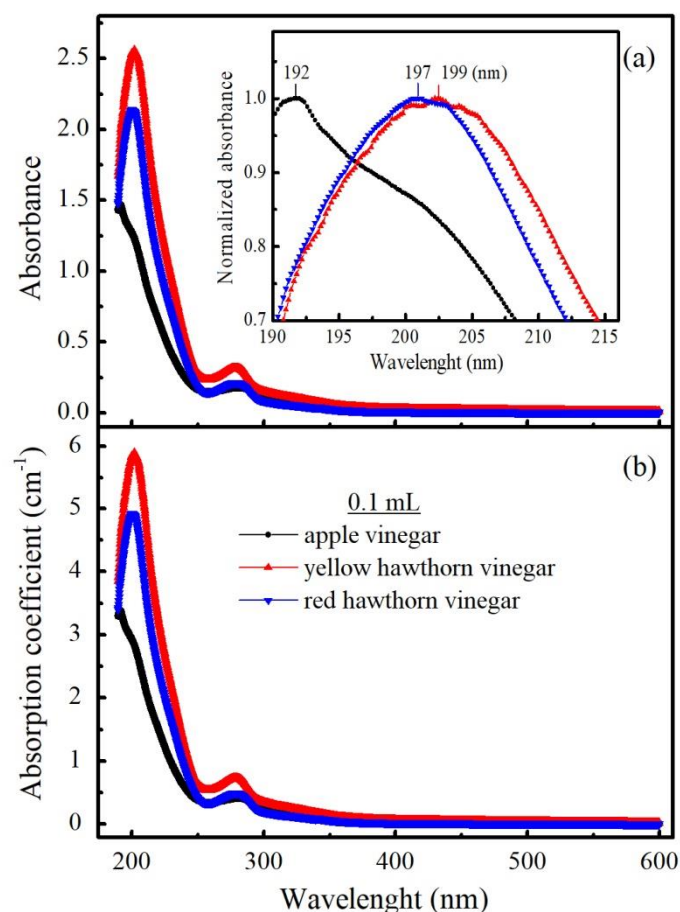


Figure 1. (a) UV absorbance spectrum and (b) wavelength variation of absorption coefficient (a) for apple, yellow hawthorn and red hawthorn vinegars

It has been observed that the absorbance values of red and yellow hawthorn vinegars displayed similar behaviour with wavelength, while apple vinegar behaves differently. It was determined that the absorbance of apple, red and yellow hawthorn homemade vinegars had two peaks in the low wavelength region (between 190 nm and 300 nm wavelength). The peak values of the absorbance for the vinegars between 190 nm and 240 nm wavelengths are originated from acetic acid, which is the main source of antibacterial properties [1], [8], [11]. The difference in the absorbance peak values in this wavelength region is related to the acetic acid concentration [41]-[45]. In this case, it was determined that yellow hawthorn vinegar with the highest absorbance peak values had higher acetic acid concentration than the others. Absorbance peaks originated from phenolic compounds, which are the source of the antioxidant properties of vinegars, can be seen between 250 nm and 300 nm wavelength [9], [11], [46]. The peak values of the absorbance spectra of the vinegars show a shift effect with decreasing wavelength due to the bathochromic effect arising from the colour pigments of the fruits and the structure of organic acid molecules [1], [47]. This shift effect is seen more clearly in the normalized absorbance spectrum given in the inset graph in Figure 1a. In the Figure 1b, the wavelength evolution of the absorption coefficients for homemade vinegars was determined to be similar to the absorbance spectra. The absorption coefficient spectra have two peaks, which are reflection of the geometries and optical transitions of molecular of the vinegars. It was predicted that

the geometries of the vinegars have little effect on the absorption coefficient peak values between 190 nm to 240 nm and 250 nm to 300 nm wavelength, while the main effect is originated from π - π^* the optical transition of molecules of phenolic compound and organic acids [48], [49]. It was concluded that the highest organic acid and phenolic compound concentration belonged to yellow hawthorn vinegar from the absorption coefficient peak values of the samples.

The variation photon energy of the absorption coefficient and graph of $(\alpha h\nu)^2$ versus $(h\nu)$ (Tauc pots) for apple, red and yellow hawthorn vinegars is shown in the Figure 2a and 2b, respectively.

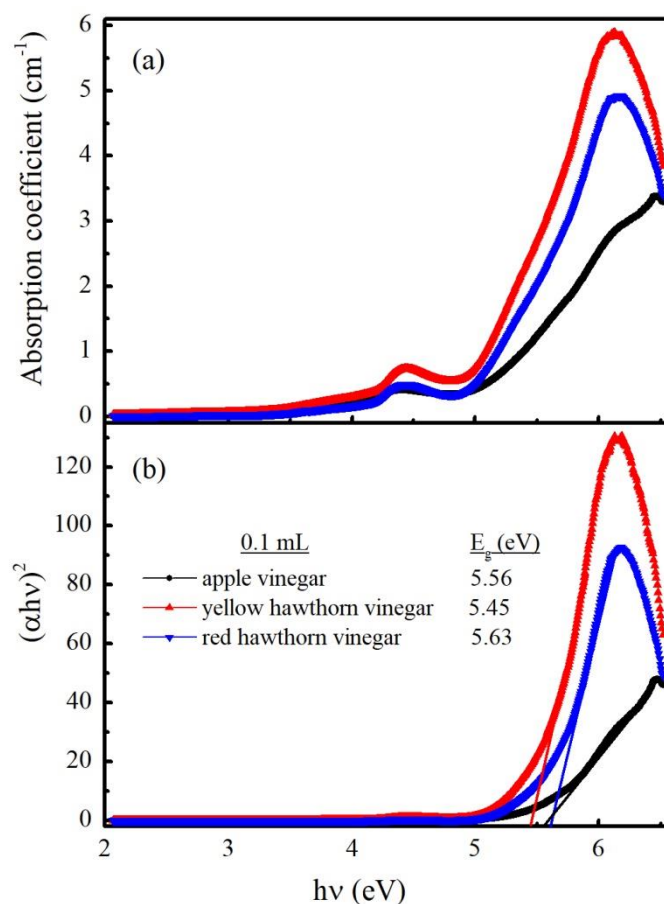


Figure 2. (a) Energy evolution of absorption coefficient (α) and (b) plots of $(\alpha h\nu)^2$ versus $h\nu$ for apple, yellow hawthorn and red hawthorn vinegars

It was observed in the Figure 2a that the absorption coefficient values of apple, red and yellow hawthorn vinegars had two peaks depending on the photon energy. It was determined that the absorption coefficient values of red and yellow hawthorn vinegars with energy evolution are very close to each other, while apple vinegar behaved differently. The peak values of the absorption coefficient values for homemade vinegar in the energy region between 4 eV and 5 eV are caused by the phenolic compounds in the structure of the vinegars [1], [12], [32]-[34], [48], [49]. It was observed that the peak values in this region originated from the phenolic compound concentration, which is an indicator of antioxidant effect, were higher in yellow hawthorn vinegar compared to the others [12]. Also, it was thought that the peak values of the absorption coefficient in this energy region were affected by the interaction of phenolic compounds with each other. The peak values of the absorption coefficient of vinegars in the energy region between 5.5 eV and 6.5 eV (high energy region) are due to the presence of acetic acid [1], [11], [32]-[34], [48], [49]. In addition to, the values of the peaks in this region are related to the acetic acid concentration of the vinegar. The shifts in the peaks of the absorption coefficient in this region are the result of the energy gap contraction originated from quantum-confinement on the spectra of acetic acids. [50]. The UV spectra of the apple, red and yellow hawthorn vinegars were relation to the energy band gaps and these optical band gaps were calculated

using Tauc's plots shown in the Figure 2b. The absorption coefficient values given in the Figure 2a, which determine whether the electron transitions of the vinegars are direct or indirect, are the main determinants of the samples optical energy gap values [32], [51]. It was observed that Tauc's plots of homemade vinegars were not affected by the increase of energy in the region below 5 eV energy value, on the other hand, they had peak values in the above 5 eV energy region. The optical energy gap values were calculated from the gradient of the $(\alpha hv)^2$ versus (hv) graphs at the point where the Tauc's plots of the samples reached the peak values. The optical energy gap values of apple, red and yellow hawthorn vinegars were recorded as 5.56, 5.63 and 5.45 eV, respectively. It was determined that the increase in optical energy gaps related to the quantum confinement effect of organic acids and phenolic compounds in the structure of vinegars is compatible with Planck's Rayleigh-Jeans law [32]-[34], [51], [52]. The high optical energy gap value of red hawthorn vinegar compared to the other is related to the shorter release time originated from the lower concentration of acetic acid in its structure.

Shear rate variation of viscosity for apple, yellow hawthorn and red hawthorn vinegars in the shear rate range of 10^{-3} s^{-1} to 10^2 s^{-1} is depicted in Figure 3.

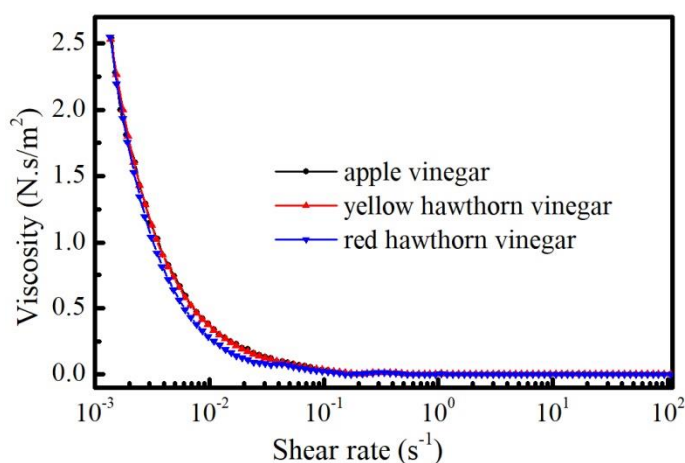


Figure 3. Shear rate evolution of viscosity for apple, yellow hawthorn and red hawthorn vinegars

It was determined that the viscosity of apple, red and yellow hawthorn vinegars decreases exponentially with increasing shear rate in the low shear rate region (10^0 s^{-1}). On the other hand, it was observed that the viscosity behaves independently from the increasing shear rate in the high shear rate region. In the lower shear rate region, the viscosity of all samples has the highest value since the resistance to flow rate is the highest. It was concluded that the molecular size distributions of the vinegars and the interactions of the organic acid molecules are effective at high viscosity values in this region [53]. All vinegars exhibit stable flow behaviour in the high shear rate region. This stable flow behaviour was interpreted as a result of the healthy completion of the fermentation processes of all vinegars. In addition, the similar flow behaviours of the apple, red and yellow hawthorn vinegars were attributed to the healthy production process and their quality. This similar behaviour is presented more clearly in Figure 4 where the flow curve is given. It was found that the flow behaviour of homemade vinegars produced by traditional method is compatible with non-Newtonian dilatant fluid behaviour [39], [40], [54].

Flow curves (shear rate evolution of the shear stress) for the apple, red and yellow hawthorn vinegars in the shear rate of 0 s^{-1} to 300 s^{-1} is presented in Figure 4.

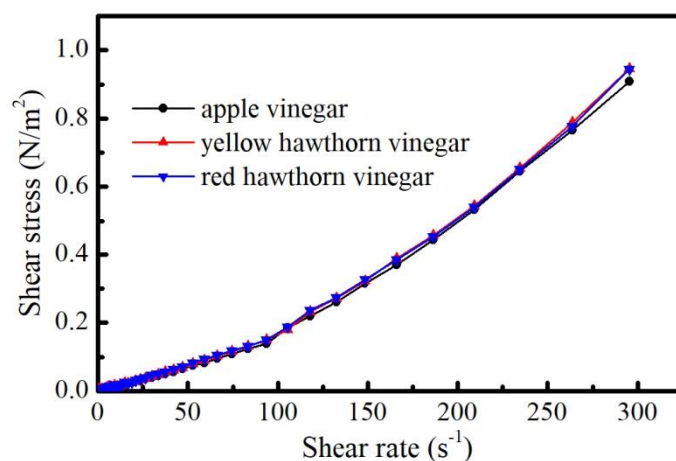


Figure 4. Flow curves for apple, yellow hawthorn and red hawthorn vinegars

The shear rate evolution of the shear stress for apple, red and yellow hawthorn vinegars was found to be consistent with the flow behaviour presented in Figure 3. It was determined that the flow curves of these vinegars produced by traditional method were compatible with the flow behaviour of non-Newtonian thickening liquids (dilatant fluid). Dilatant flow (shear thickening behaviour) usually occurs when liquids move from a steady state to an unstable state (flocculation). In this flow behaviour of vinegars, there have an increase in shear viscosity due to the increase in shear stress [54]-[56]. It is observed that the flow behaviour of the samples in the high shear rate region (200 s^{-1} to 300 s^{-1}) was more consistent with the Newtonian flow, so they show stable flow. The main reason for the steady flow behaviour observed in this region was predicted as the decrease in the void volume between the particles with increasing shear rate, decrease in friction and consequently decrease in shear viscosity. Based on this, it was determined that the viscosity of homemade vinegars in the region of high shear rate is not affected by shear stress, so it can start to flow with a small force. As a result, it has been concluded that the flow curves of three vinegars produced at home with the traditional method with dilatant liquids flow are compatible with the Power law model [39], [40], [53], [54].

Fourier transform infrared spectroscopy (wavenumber variation of absorbance) for apple (a), yellow hawthorn (b) and red hawthorn (c) vinegars in the wavenumber range of 4200 cm^{-1} to 400 cm^{-1} are depicted in Fig. 5, in succession.

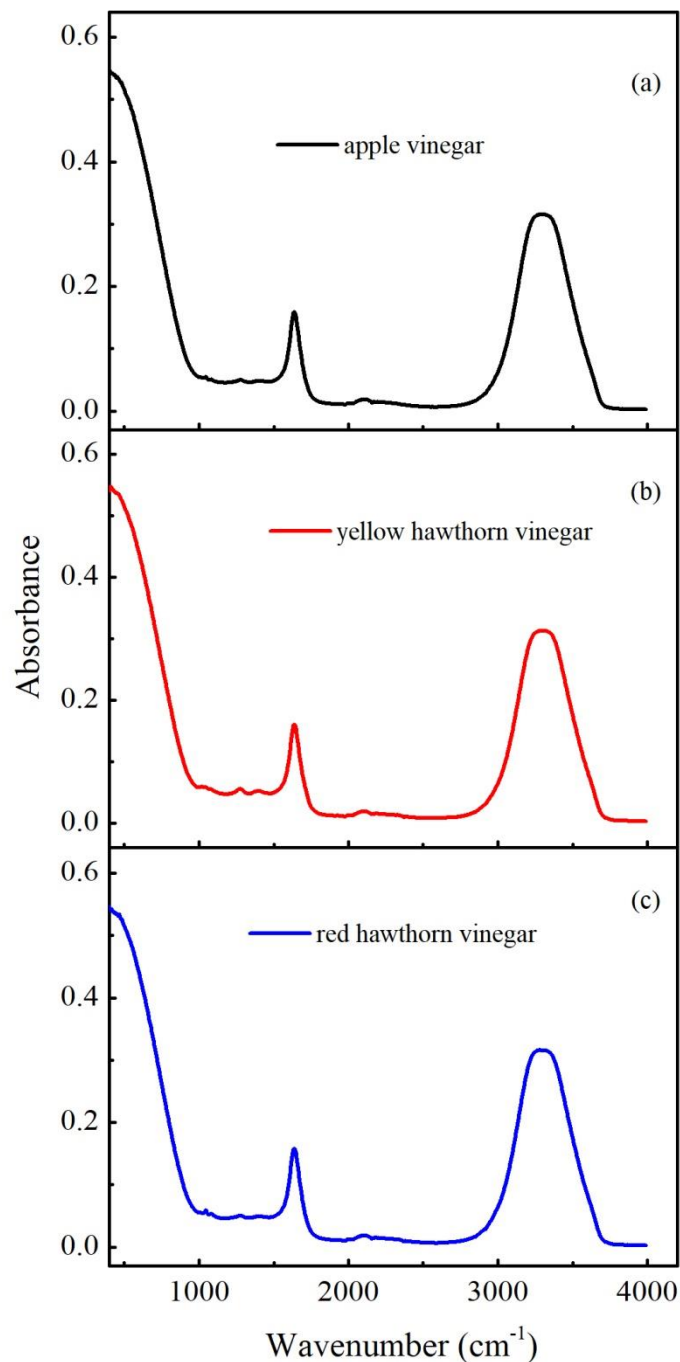


Figure 5. FTIR spectra of (a) apple, (b) yellow hawthorn and (c) red hawthorn vinegars

The spectral fingerprints of the FTIR spectra for apple, red and yellow hawthorn vinegars in the middle infrared frequency region are very similar. This similarity in spectral fingerprints were interpreted that the conversion processes of all fruits into vinegar are healthy. It was observed that wavenumber evolution of FTIR spectra for all homemade vinegars has two peaks in the around 3300 cm^{-1} and 1635 cm^{-1} wavenumbers. The peaks of the spectral fingerprints of the vinegars around 3300 cm^{-1} wavenumber are originated from H-O-H asymmetric stretching vibration and water absorption. The C=C stretch and the H-O-H symmetrical stretching vibration are the main reasons, which homemade vinegars have absorption peaks around 1635 cm^{-1} wavenumber. The small differences in these two important peak values of the FTIR spectra of the samples are caused by the different concentrations of the organic acids and phenolic compounds in the structure of the vinegar. Also, it was also thought that the small spectral fingerprints of vinegars around 2098 cm^{-1} , 1403 cm^{-1} , 1271 cm^{-1} and 1043 cm^{-1} wavenumbers are the result of presence of the hydroxyl groups in ethyl alcohol, C-

H, C-O and C-C bonds. It was concluded that the characteristic peaks of spectral fingerprints of the apple, red and yellow hawthorn vinegars by produced traditional method are compatible with the mixture of acetic acid and water that forms the structure of the vinegars [21], [57], [58].

IV. CONCLUSION

In this work, it is aimed to perform the quality analysis of apple, red and yellow hawthorn vinegars produced at home with the traditional method (long process with two fermentation) using the UV, FTIR spectroscopy methods and rheology technique. For this purpose, absorbance peaks in UV spectra, which are very important parameters in determining the quality of vinegar, flow behaviour determining the viscosity and spectral fingerprint peaks were analysed at specific desired ranges.

It was observed that the absorbance values of the apple, red and yellow hawthorn vinegars have two peaks originated from organic acids and phenolic compounds. Absorbance peaks of vinegars between 190 nm and 240 nm wavelength are related to acetic acid concentration [41]-[43]. The main reason for the shifting of the peak values of the absorption coefficient resulting from the concentration of phenolic compound and acetic acid in the structure of vinegar to the higher energy region is related to the expansion of the energy gaps caused by the quantum confinement of organic acid molecules [50]. It was determined that the quantum confinement effect caused by the presence of organic acids causes a short release time [32], [51], [52]. From the lowest energy gap value calculated for yellow hawthorn vinegar, it was concluded that organic acids in its structure have a longer release time.

It was found that the flow behaviour of apple, red and yellow hawthorn homemade vinegars is compatible with the non-Newtonian behaviour defined as dilatant fluids (thickening liquids) flow. It was also determined that the flow curves of all vinegars behave in accordance with the Power law ($\eta = K \dot{\gamma}^{m-1}$) model [32]-[34], [53], [54]. The absorbance peaks around 3300 cm^{-1} and 1635 cm^{-1} wave numbers of the FTIR spectra for the samples were found to be related to the H-O-H asymmetric stretch vibration and H-O-H symmetric stretch vibration, respectively. Determining the mixture of acetic acid and water expected to be in organic vinegar from the spectral fingerprint peaks of vinegars was accepted as an important result [21], [57], [58]. From the spectroscopy and rheology analysis of apple red and yellow hawthorn vinegar, it was considered that these vinegars were good as commercial vinegars in the literature [23]. It was concluded that from UV spectra of yellow hawthorn vinegar has the highest acetic acid and phenolic compound concentrations. In this case, it can be said that yellow hawthorn vinegar has higher antioxidant and antibacterial effects compared to other apple and red hawthorn vinegars [8], [11], [12], [59].

V. REFERENCES

- [1] O. Yalçın, C. Tekgündüz, M. Öztürk and E. Tekgündüz, "Investigation of the traditional organic vinegars by UV-VIS spectroscopy and rheology techniques," *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 246, pp.118987, 2021.
- [2] M. R. Adams, Vinegar, in: B.J.B. Woods (Ed.), "Microbiology of Fermented Foods," *Blackie Academic and Professional*, London, pp. 1-44, 1998.
- [3] T. Nakayama, "Studies on acetic acid-bacteria I. Biochemical studies on ethanol oxidation," *J. Biochem*, vol. 46, no. 9, pp. 1217-25, 1959.
- [4] W. Tesfaye, M. L. Morales, M. C. Garcia-Praila and A. M. Troncoso, "Wine vinegar: technology, authenticity and quality evaluation," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 13, pp. 12-21, 2002.
- [5] Y. Shimoji, Y. Tamura, Y. Nakamura, K. Nanda, S. Nishidai, Y. Nishikawa, N. Ishihara, K. Uenakai and H. Ohigashi, "Isolation and identification of DPPH radical scavenging compounds in

kurosu (Japanese unpolished rice vinegar),” *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, pp. 6501–6503, 2002.

[6] S. Sakanaka and Y. Ishihara, “Comparison of antioxidant properties of persimmon vinegar and some other commercial vinegars in radical-scavenging assays and on lipid oxidation in tuna homogenates,” *Food Chemistry*, vol. 107, pp. 739–744, 2008.

[7] I. Liguori, G. Russo, F. Curcio, G. Bulli, L. Aran, D. Della-Morte, G. Gargiulo, G. Testa, F. Cacciatore and D. Bonaduce, “Oxidative stress, aging, and diseases,” *Clin. Interv. Aging*, vol. 13, pp. 757–772, 2018.

[8] I. Ozturk, O. Caliskan, F. Tornuk, N. Ozcan, H. Yalcin, M. Baslar and O. Sagdic, “Antioxidant, antimicrobial, mineral, volatile, physicochemical and microbiological characteristics of traditional home-made Turkish vinegars,” *LWT-Food Science and Technology*, vol. 63, pp. 144–151, 2015.

[9] Q. Liu, G. Y. Tang, C. N. Zhao, R. Y. Gan and H. B. Li, “Antioxidant Activities, Phenolic Profiles, and Organic Acid Contents of Fruit Vinegars,” *Antioxidants*, vol. 8, pp. 78–90, 2019.

[10] N. Pellegrini, M. Serafini, B. Colombi, D. Del Rio, S. Salvatore, M. Bianchi and F. Brighenti, “Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays,” *J. Nutr.*, vol. 133, pp. 2812–2819, 2003.

[11] H. Y. Chen, T. Chen, P. Giudici and F. S. Chen, “Vinegar functions on health: Constituents, sources, and formation mechanisms,” *Compr. Rev. Food. Sci. Food Saf.*, vol. 15, pp. 1124–1138, 2016.

[12] D. Bertelli, A. Maietti, G. Papotti, P. Tedeschi, G. Bonetti, R. Graziosi, V. Brandolini and M. Plessi, “Antioxidant activity, phenolic compounds, and NMR characterization of balsamic and traditional balsamic vinegar of modena,” *Food Anal Method*, vol. 8, pp. 371–9, 2015.

[13] H. Chen, T. Chen, P. Giudici and F. Chen, “Vinegar Functions on Health: Constituents, Sources, and Formation Mechanisms,” *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol.15, pp. 1124–1138, 2016.

[14] D. Yagnik, V. Serafn and A. J. Shah, “Antimicrobial activity of apple cider vinegar against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*; downregulating cytokine and microbial protein expression,” *Scientific Reports*, vol. 8, pp. 1732–12, 2018.

[15] E. I. Petsiou, P. I. Mitrou, S. A. Raptis and G. D. Dimitriadis, “Effect and mechanisms of action of vinegar on glucose metabolism, lipid profile, and body weight,” *Nutrition Reviews*, vol. 72, no.10, 651–661, 2014.

[16] T. Fushimi, K. Suruga, Y. Oshima, M. Fukiharu, Y. Tsukamoto and T. Goda, “Dietary acetic acid reduces serum cholesterol and triacylglycerols in rats fed a cholesterol-rich diet,” *British Journal of Nutrition*, vol. 95, pp. 916–924, 2006.

[17] N. Baba, Y. Higashi and T. Kanekura, “Japanese Black Vinegar “Izumi” Inhibits the Proliferation of Human Squamous Cell Carcinoma Cells Via Necroptosis,” *Nutrition and Cancer*, vol. 65, no. 7, pp. 1093–1097, 2013.

[18] J. De Dios Lozano, B. I. Ju´arez-Flores, J. M. Pinos-Rodr´iguez, J. Aguirte-Rivera and G. Alvarez-Fuentez, “Supplementary effects of vinegar on body weight and blood metabolites in healthy rats fed conventional diets and obese rats fed high-caloric diets,” *J. Med Plants Res.*, vol. 6, pp. 4135–41, 2012.

- [19] Z. Kadas, G. Akdemir Evrendilek and G. Heper, "The Metabolic Effects of Hawthorn Vinegar in Patients with High Cardiovascular Risk Group," *Journal of Food and Nutrition Research*, vol. 2, no. 9, pp. 539–545, 2014.
- [20] M. Golzarand, M. Ebrahimi-Mamaghani, S. R. Arefhosseini and A. Ali Asgarzadeh, "Effect of processed *Berberis vulgaris* in apple vinegar on blood pressure and inflammatory markers in type 2 diabetic patients," *Journal of Diabetes and Metabolic Disorders*, vol. 8, pp. 15–20, 2008.
- [21] P. Kadiroğlu, "FTIR spectroscopy for prediction of quality parameters and antimicrobial activity of commercial vinegars with chemometrics," *J. Sci Food Agri*, vol. 98, pp. 4121–4127, 2018.
- [22] E. F. Boffo, L. A. Tavares, M. M. C. Ferreira and A. G. Ferreira, "Classification of Brazilian vinegars according to their ¹H NMR spectra by pattern recognition analysis," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 42, pp. 1455–1460, 2009.
- [23] Y. Kong, L. L. Zhang, Y. Sun, Y. Y. Zhang, B. G. Sun and H. T. Chen, "Determination of the Free Amino Acid, Organic Acid, and Nucleotide in Commercial Vinegars," *Journal of Food Science*, vol. 82, pp. 1116–1123, 2017.
- [24] D. Carlavilla, M. V. Moreno-Arribas, S. Fanali and A. Cifuentes, "Chiral MEKC-LIF of amino acids in foods: Analysis of vinegars," *Electrophoresis*, vol. 27, pp. 2551–2557, 2006.
- [25] H. D. Xie, L. J. Bu, X. W. Peng and Z. X. Li, "Ultraviolet Spectroscopy Method for Classifying Vinegars," *Advanced Materials Research*, vol. 346, pp. 865–874, 2011.
- [26] L. Fu, X. du Nie, H. L. Xie and M. D. Ferro, "Rapid multi-element analysis of Chinese vinegar by sector field inductively coupled plasma mass spectrometry," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 237, pp. 795–800, 2013.
- [27] Y. Yin, H. Yu and H. Zhang, "A feature extraction method based on wavelet packet analysis for discrimination of Chinese vinegars using a gas sensors array," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 134, pp. 1005–1009, 2008.
- [28] S. R. Oliveira, A. P. Oliveira and J. A. Gomes Neto, "Tungsten permanent chemical modifier with co-injection of Pd(NO₃)₂ + Mg(NO₃)₂ for direct determination of Pb in vinegar by graphite furnace atomic absorption spectrometry," *Food Chemistry*, vol. 105, pp. 236–241, 2007.
- [29] Z. Xiao, S. Dai, Y. Niu, H. Yu, J. Zhu, H. Tian and Y. Gu, "Discrimination of Chinese Vinegars Based on Headspace Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography Mass Spectrometry of Volatile Compounds and Multivariate Analysis," *Journal of Food Science*, vol. 76, pp. 1125–1135, 2011.
- [30] E. García Romero, G. Sánchez Muñoz, P. J. Martín Alvarez and M. D. Cabezudo Ibáñez, "Determination of organic acids in grape musts, wines and vinegars by high-performance liquid chromatography," *Journal of Chromatography A*, vol. 655, pp. 111–117, 1993.
- [31] T. Owen, "Fundamentals of UV-visible Spectroscopy," *Hewlett-Packard Company*, Germany, vol. 12, pp. 14–25, 1996.
- [32] K. Ravikumar, S. Agilan, M. Raja, R. Marnadu, T. Alshahrani, Mohd Shkir, M. Balaji and R. Ganesh, "Investigation on microstructural and opto-electrical properties of Zr-doped SnO₂ thin films for Al/Zr:SnO₂/p-Si Schottky barrier diode application," *Physica B: Physics of Condensed Matter*, vol. 599, pp. 412452, 2020.
- [33] J. Tauc, "Optical properties and electronic structure of amorphous Ge and Si," *Materials Research Bulletin*, vol. 3, pp. 37–46, 1968.

- [34] A. Krishnan, K. Rishad Ali, G. Vishnu and P. Kannan, "Towards phase pure CZTS thin films by SILAR method with augmented Zn adsorption for photovoltaic applications," *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, vol. 8, pp. 16–8, 2019.
- [35] M. Öztürk, M. Okutan, R. Coşkun, B. Çolak and O. Yalçın, "Evaluation of the effect of dose change of Fe₃O₄ nanoparticles on electrochemical biosensor compatibility using hydrogels as an experimental living organism model," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 322, pp. 114574, 2021.
- [36] R. Coşkun, M. Okutan, M. Öztürk and O. Yalçın, "Experimental model to describe the dielectric response of different dye and nanoparticles doped hydrogels for biological cell membranes and biological systems," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 296, pp. 112072, 2019.
- [37] G. K. Batchelor, "An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge Mathematical Library series," *Cambridge University Press*, 1967.
- [38] R. L. Panton, "Incompressible Flow," (Fourth ed.). *Hoboken: John Wiley & Sons.*, pp. 111-126, 2013.
- [39] R. P. Chhabra and J. F. Richardson, "Non-Newtonian Flow and Applied Rheology," *Second Edition, Elsevier Ltd.*, pp. 1–109, 2008.
- [40] A. Ibarz, C. Gonzalez, S. Esplugas, "Rheology of clarified fruit juices. III: Orange juices," *Journal of Food Engineering*, vol. 21, pp. 485–494, 1994.
- [41] K. M. Lynch, E. Zannini, S. Wilkinson, L. Daenen and E. K. Arendt, "Physiology of acetic acid bacteria and their role in vinegar and fermented beverages," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 18, 587–625, 2019.
- [42] S. Beis, M. Binder, K. Varmuza, A. Miltner and A. Fried, "UV-Vis Spectroscopy and Chemometrics for the Monitoring of Organosolv Pretreatments," *Chem. Engineering*, vol. 45, pp. 2–14, 2018.
- [43] G. Ruderman, E. R. Caffarena, I. G. Mogilner and E. J. Tolosa, "Hydrogen Bonding of Carboxylic Acids in Aqueous Solutions—UV Spectroscopy, Viscosity, and Molecular Simulation of Acetic Acid," *Journal of Solution Chemistry*, vol. 27, pp. 935–948, 1998.
- [44] L. Wang, J. Yang, Q. Lin, L. Xiang, Z. Song, Y. Zhang, L. Chen, "Determination of 10 organic acid contents in tea using high performance liquid chromatography-diode array detector," *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, vol. 45, pp. 47–53, 2019.
- [45] Z. Wang, F. Liu, Y. He, "Comparison and Determination of Acetic Acid of Plum Vinegar Using Visible/Near Infrared Spectroscopy and Multivariate Calibration", *Computer Science and Information Engineering*, vol. 7, pp. 201–204, 2009.
- [46] J. L. Alexandre Tudo and W. du Toit, "The Role of UV-Visible Spectroscopy for Phenolic Compounds Quantification in Winemaking," *Frontiers and New Trends in the Science of Fermented Food and Beverages* by R. L. Oviedo, Á. D. C. Pech Canul, *Intech Open*, pp. 1–22, 2019.
- [47] M. J. Kamlet and R. W. Taft, "The solvatochromic comparison method. I. The .beta.-scale of solvent hydrogen-bond acceptor (HBA) basicities," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 98 no. 2, pp. 377–383, 1976.
- [48] C. E. Lund Myhre and C. J. Nielsen, "Optical properties in the UV and visible spectral region of organic acids relevant to tropospheric aerosols," *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 4 pp. 1759–1769, 2004.
- [49] K. Mitchell, A. L. Fahrenbruch and R. H. Bube, "Photovoltaic determination of optical absorption coefficient in CdTe," *J. Appl. Phys.*, vol. 48, pp. 829–830, 1977.

- [50] A. Singh, A. Singh, S. Singh, P. Tandon, B. C. Yadav and R. R. Yadav, "Synthesis, characterization and performance of zinc ferrite nanorods for room temperature sensing applications," *J. Alloy. Compd.*, vol. 618, pp. 475–48, 2015.
- [51] P. Chand, S. Vaish and P. Kumar, "Structural, optical and dielectric properties of transition metal (MFe₂O₄; M= Co, Ni and Zn) nanoferrites," *Physica B*, vol. 524, pp. 53–63, 2017.
- [52] Ç. Bilkan, Y. Azizian Kalandaragh, Ş. Altındal and R. Shokrani Havigh, "Frequency and voltage dependence dielectric properties, ac electrical conductivity and electric modulus profiles in Al/Co₃O₄-PVA/p-Si structures," *Physica B: Condensed Matter*, vol. 500, pp. 154–160, 2016.
- [53] P. M. Falcone and P. Giudici, "Molecular size and molecular size distribution affecting traditional balsamic vinegar aging," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 56, no. 16, pp. 7057–7066, 2008.
- [54] H. F. George and F. Qureshi, "Newton's Law of Viscosity, Newtonian and Non-Newtonian Fluids", In: Wang Q. J., Chung Y. W. (eds) *Encyclopedia of Tribology*. Springer, Boston, pp. 22-109, 2013.
- [55] I.M. Krieger, T.J. Dougherty, "A mechanism for non-newtonian flow in suspensions of rigid spheres", *Transactions of the Society of Rheology*, vol. 3, no. 1, pp. 137–152, 1959.
- [56] R.P. Chhabra, J.F. Richardson, *Non-Newtonian Flow in the Process Industries Fundamentals and Engineering Applications, 1st Ed.*, Butterworth-Heinemann, USA, pp. 37–72, 1999.
- [57] E. Vafa, R. Bazargan Lari and M. Ebrahim Bahrololoom, "Synthesis of 45S5 bioactive glass-ceramic using the-gel method, catalyzed by low concentration acetic acid extracted from homemade vinegar," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 10, pp. 1427–1436, 2021.
- [58] D. Dong, W. Zheng, L. Jiao, Y. Lang and X. Zhao, "Chinese vinegar classification via volatiles using long-optical-path infrared spectroscopy and chemometrics," *Food Chemistry*, vol. 194, pp. 95–100, 2016.
- [59] S. Bakir, D. Devecioglu, S. Kayacan, G. Toydemir, F. Karbancioglu Guler and E. Capanoglu, "Investigating the antioxidant and antimicrobial activities of different vinegars," *Eur. Food. Res. Technol.*, vol. 243, pp. 2083–2094, 2017.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

Bibliometric Analysis of The Last 40 Years of Chest Journal

 Pınar YILDIZ GÜLHAN^{a,*},  Mehmet Nurullah KURUTKAN^b

^a Department of Chest Diseases, Faculty of Medicine, Düzce University, Düzce, Turkey

^b Department of Health Management, Faculty of Management, Düzce University, Düzce, Turkey

*Corresponding author's e-mail address: pinaryildiz691@hotmail.com

DOI: 10.29130/dubited.891524

ABSTRACT

Chest Journal, which began to be scanned in the Web of Science in 1980, is one of the leading journals in the field of Critical Care Medicine and Respiratory System (quartile 1). In this study, the research trends of the publications in the Chest Journal were examined using three different bibliometric analysis programs (Bibliometrix, VOSviewer, and CiteSpace) in the period between 1980-2019. Along with the main statistics, keyword co-occurrence network map, density document co-citation, time map, and burst (references) analysis were performed. According to the results of the analysis, the research trends of Chest Journal were subject to discussion. The countries with the most publications are America, Canada, the United Kingdom, France, and Japan. According to the Co-Occurrence network map analysis, Chest journal's publications consist of clusters of cellular structures, thoracic oncology, chest infection, pulmonary and cardiovascular, sleep and pulmonary function test, and obstructive lung diseases. The studies in the "COPD / Formoterol Metered Dose inhaler" and "Patients / VTE disease chest guideline" clusters were found to be the most recent studies. This article has the potential to provide a valuable reference for scientists to understand Chest Journal's research trends and to grasp current issues in the field.

Keywords: Chest, Bibliometric analysis, Bibliometrix, VOSviewer, CiteSpace

Chest Dergisinin Son 40 Yılıının Bibliyometrik Analizi

Öz

1980 yılında Web of Science'ta taranmaya başlayan Chest Journal, Critical Care Medicine and Respiratory System (quartile 1) alanında önde gelen dergilerden biridir. Bu çalışmada Chest Journal'da yer alan yayınların araştırma trendleri 1980-2019 döneminde üç farklı bibliyometrik analiz programı (Bibliometrix, VOSviewer ve CiteSpace) kullanılarak incelenmiştir. Ana istatistiklerin yanı sıra, anahtar kelime birlikte oluşum ağ haritası, yoğunluk belgesi birlikte atıf, zaman haritası ve patlama (referanslar) analizi gerçekleştirildi. Analiz sonuçlarına göre Chest Journal'ın araştırma trendleri tartışmaya açıldı. Co-Occurrence ağ haritası analizine göre, en çok yayını olan ülkeler Amerika, Kanada, Birleşik Krallık, Fransa ve Japonya'dır. Chest dergisinin yayınları hücresel yapı kümeleri, torasik onkoloji, göğüs enfeksiyonu, pulmoner ve kardiyovasküler, uyku ve pulmoner fonksiyon testi ve obstrüktif akciğer hastalıklarından oluşmaktadır. "COPD / Formoterol Ölçülü Doz inhaleri" ve "Hastalar / VTE hastalığı göğüs kılavuzu" kümelerindeki çalışmalar en son çalışmalar olarak bulundu. Bu makale, bilim adamlarının Chest Journal'ın araştırma eğilimlerini anlamaları ve bu alandaki güncel sorunları kavramaları için değerli bir referans sağlama potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Chest, Bibliyometrik analiz, Bibliometrix, VOSviewer, CiteSpace

I. INTRODUCTION

Chest (ISSN: 0012-3692; e-ISSN: 0012-3692) is a monthly international peer-reviewed journal and the official journal of the American College of Chest Physicians. The Chest Journal involves publications on all aspects of subjects such as Asthma, Chest Infections, COPD, Critical Care, Diffuse Lung Disease, Education and Clinical Practice, Pulmonary and Cardiovascular, Sleep and Thoracic Oncology. The editor in chief is Mr. Peter Mazzone (Cleveland Clinic Respiratory Institute). The Chest is listed as one of the most respected journals with high Impact factors among the journals publishing in the field of the respiratory systems [1]. While the 2019 impact value was 8.308, the five-year Impact Factor was realized as 7.772. Chest started to be published in 1935. The journal, which started to be scanned in Web of Science as of 1980, ranks 4th among 36 journals in the field of Critical Care Medicine and is Quartile 1. In the field of Respiratory System, ranking 6th among 64 journals.

Bibliometrics is an important branch of information science. Bibliometric methods are effective tools, which are developed to evaluate a particular aspect of a study or the values of a particular journal [2],[3]. With the scientific and visual mapping tools, bibliometrics has been implemented in various fields of research such as engineering [4], road safety [5], evaluation of social life cycle [4], financial performance [6] and rescheduling higher education [7]. Bibliometrics enables the illustration of the development process of a journal. For instance, the development process of a journal could be evaluated based on productivity, impact, the total number of publications (TP), the total number of citations (TC) and an average number of citations per publication (AC), as well as certain generally accepted bibliometric indicators such as H-index, g-index and m index [8],[9]. Accordingly, one of the fields of study where bibliometric analyses can be performed is the bibliometric analyses of a journal or a set of journals representing a discipline. Bibliometric analyses have been performed on journals such as the Journal of Network and Computer Applications [10], Omega [9], Journal of Endodontics [11], Journal of Hand Surgery [12], Journal of King Saud University [13], Journal of Business Research [4] and ten major journals on Dermatology [15].

II. MATERIAL VE METHOD

Web of Science (WoS) is preferred due to being one of the most common databases among academicians and providing current and detailed information on many leading journals including worldwide publications [16]. On November 11th, 2020, the name of the journal ("Chest" as the keyword) was determined as a search strategy from the WoS Core Collection database. The findings were filtered at the data article level, and the raw data were downloaded as "plain.txt". As a result, a total of 18,450 articles since the first publication in 1980 were downloaded from the database. In this study, a bibliometric analysis was performed on the raw data including the articles published in Chest between 1980 and 2019. The analyses performed within the scope of the study are presented in Table 1:

Table 1. Software and analyses

Software	Analysis
Bibliometrix	Main Statistics
	Total number of publications and average number of citations
Biblioshiny	Productivity and Collaboration Networks of Countries and Institutions
	Highly Contribute Authors Papers, Citations
VOSviewer	Keyword co-occurrence network map
	Density visualization
CiteSpace	Document co-citation analysis
	Time map of clusters
	Burst (References)

The remainder of this article is structured as follows: Part 2 focuses on the main findings. Part 3 examines the organizations such as Productivity and Collaboration Networks of Countries and Institutions. In Part 4, major sets, time maps, and citation bursts are examined. Part 5 performs a word analysis in terms of data mining. The remaining parts include discussion, limitations and conclusion.

III. RESULTS

In this part, general information is provided about the type and annual trend of the publications, and the most cited publications in the CHEST between 1980 and 2019.

A.1. Chest and Types of Publications

There are 17 types of publications in Chest. In this study, analysis was performed on articles using the bibliometric software.

A.2. Main Statistics

A total of 18,450 articles were written over a period of 39 years. The number of authors is 51,040, and the number of studies with a single author is 1,391. The number of citations per article is 54.73, and there are 272,202 references in total. The average number of authors per publication is 5.04. The h-index of Chest was calculated as 316, the g-index was 489, and the m-index was 7.70. The cooperation index rate in the publications was 2.93. All the other data are presented in Table 2 below:

Table 2. Main statistics (1980-2019)

MAIN INFORMATION ABOUT	Results	AUTHORS	Results
Timespan	1980:2019	Authors	51040
Sources (Journals, Books, etc)	1	Author Appearances	93046
Documents	18450	Authors of single-authored documents	1032
Average years from publication	21,1	Authors of multi-authored documents	50008
Average citations per documents	54,73	AUTHORS COLLABORATION	
Average citations per year per doc	3,264	Single-authored documents	1391
References	272202	Documents per Author	0,361
		Authors per Document	2,77
		Co-Authors per Documents	5,04
		Collaboration Index	2,93

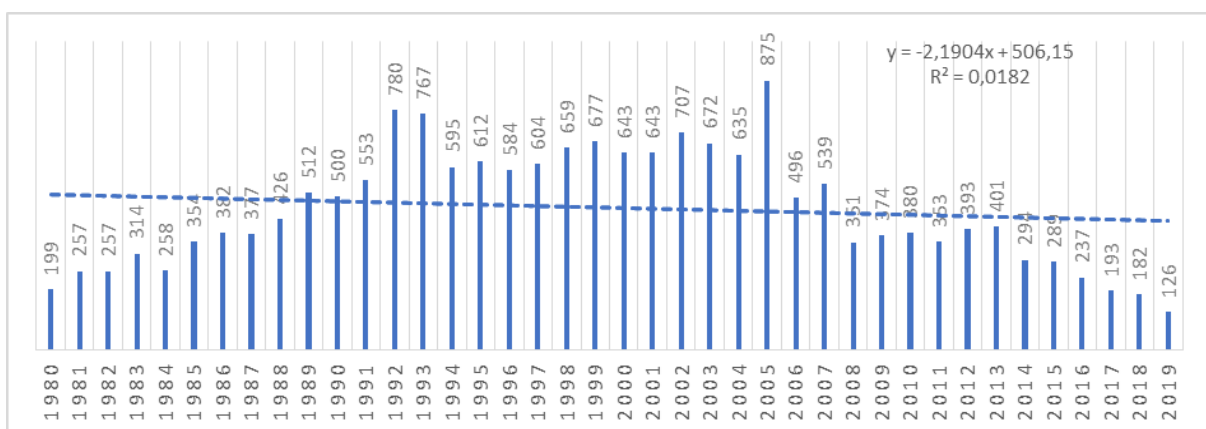


Figure 1. Number of publications

The number of articles published in Chest was observed to have increased steadily between 1980 and 1992. The number of publications, which followed horizontal progress between 1992 and 2004, steadily decreased since 2005. The annual growth rate of publications was calculated as -1.17% (Figure 1). It was observed that the rate of supplementary issues published by the journal was the highest (7 additional issues) in 2005. In recent years, there were between 1 and 3 supplementary issues. The highest number of publications belonged to 2005 when there were 7 supplementary issues published.

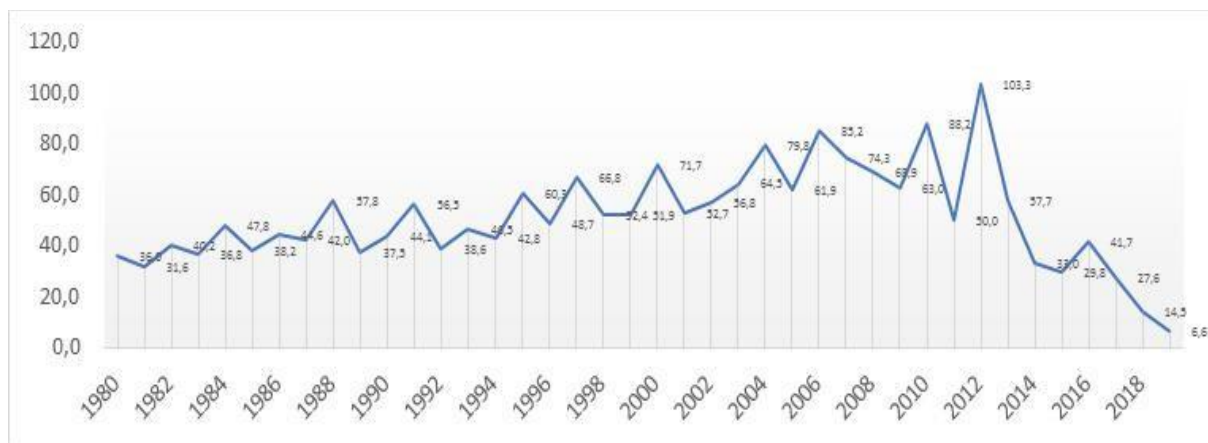


Figure 2. Average article citations per year

Looking at the average number of citations per article per year, it was observed that the citation performance of the articles peaked in 2012, and the performance of the articles published recently was lower compared to the articles belonging to the previous period. When 2019 was excluded, a downward trend was observed since 2012 (Figure 2).

A.3. Productivity and Collaboration Networks of Countries and Institutions

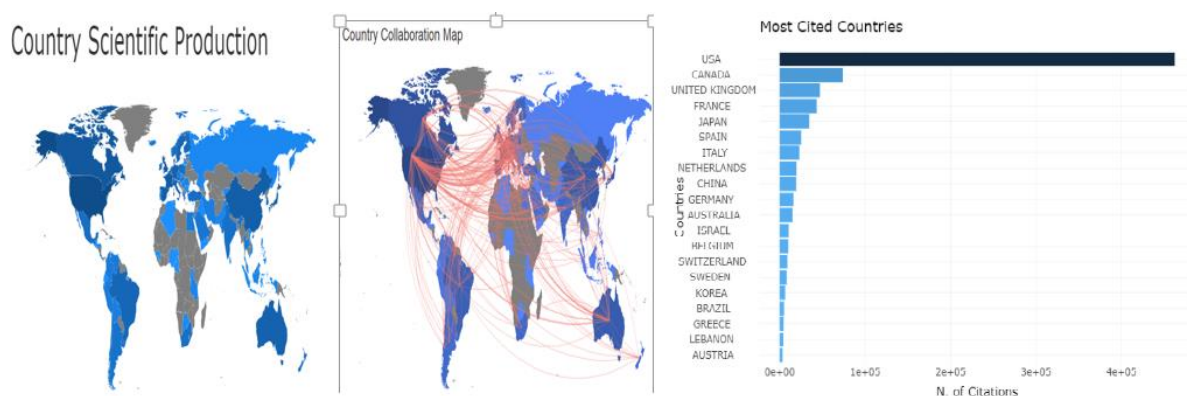


Figure 3. Productive countries, cooperation between countries and the top cited countries

In Figure 3, the countries marked as dark blue in the figures were the countries that produced more articles, had more collaboration, and cited the most. When the geographical maps were examined, the USA, Canada, England, France, and Japan were observed to be the leading countries.

Looking at the table presenting the number of publications by the universities, it was observed that the universities in the top five were the universities of the USA. The top three universities with the highest contribution were the University Of California System, US Department of Veterans Affairs, and Veterans Health Administration VHA (Table 3).

Table 3. Total number of publications by Universities

NO	UNIVERSITY	Number
1	UNIVERSITY OF CALIFORNIA SYSTEM	1.011
2	US DEPARTMENT OF VETERANS AFFAIRS	966
3	VETERANS HEALTH ADMINISTRATION VHA	963
4	HARVARD UNIVERSITY	813
5	MAYO CLINIC	475
6	UNIVERSITY OF TORONTO	431
7	UNIVERSITY OF COLORADO SYSTEM	430
8	ASSISTANCE PUBLIQUE HOPITAUX PARIS APHP	407
9	UNIVERSITY OF COLORADO ANSCHUTZ MEDICAL CAMPUS	387
10	JOHNS HOPKINS UNIVERSITY	377

According to the total number of publications, the most collaborative countries were Sweden, Canada, and Belgium. Countries with high MCP rates were more cooperative. It was calculated as follows: MCP rate= number of MCPs/Total number of publications. Countries with an MCP rate above 20% were the countries with high international cooperation in terms of Chest (Figure 4).

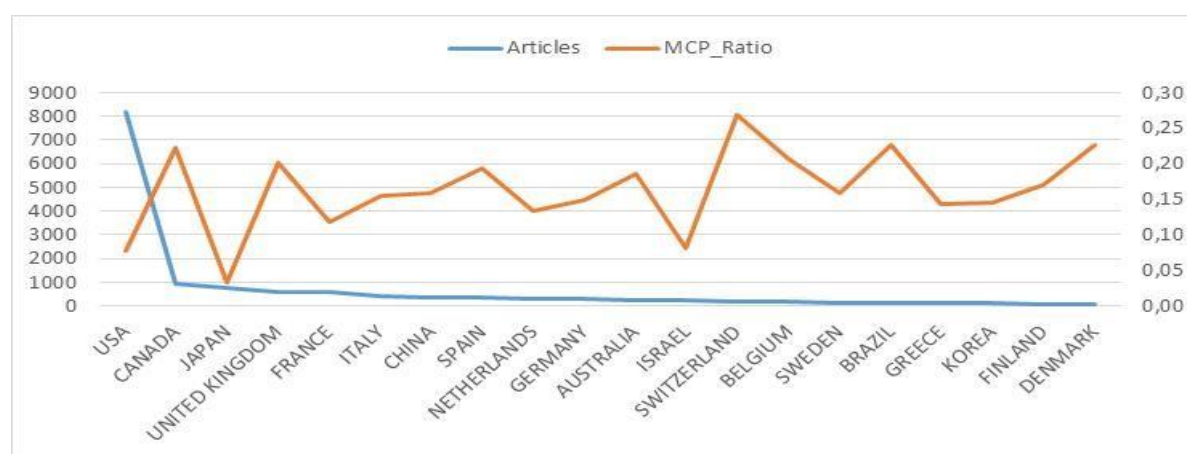


Figure 4. MCP Ratio

A.4. Highly Contributive Authors, Papers and Citations

The "H-index" is a unique and simple performance index, which includes both the quantity and visibility of publications. It is an author-level metric that tries to measure the productivity and citation impact of publications made by the scientists [17]. The g-index is an alternative to the h-index, which does not consider an average number of citations for measuring the global citation performance of a series of articles. The index is calculated based on the distribution of citations received by the publications of a particular researcher. While the g-index gives more weight to articles with high citations, the h-index is insensitive towards the articles with high citations [18]. One way to facilitate the comparison between academicians with different durations of academic careers is to divide the h-index by the number of years the academy has been active (measured as the number of years since the first published article). This index, which was created by Hirsch, was defined as the m-index [19] When the scores of the authors were evaluated in terms of the h, g, and m indices, Kollef MH had the highest score in only h and g indices, while ERNST A had the highest value in the m-index (Table 4).

Table 4. Highly Contributive Authors

Author	h_index	g_index	m_index	TC	NP	PY_start
LIGHT RW	39	58	0.975	3881	102	1981
KOLLEF MH	53	82	1.606	17540	82	1988
BARNES PJ	40	66	1.143	5552	66	1986
HIRSH J	48	64	1.333	11899	64	1985
SAHN SA	37	64	0.902	4643	64	1980

IRWIN RS	30	55	0.75	3132	62	1981
RYU JH	34	62	1.214	3977	62	1993
ERNST A	39	60	1.857	4811	60	2000
LIP GYH	31	58	1.824	15675	58	2004
STEIN PD	33	54	0.805	4779	54	1980
TASHKIN DP	30	51	0.732	3216	51	1980
MEHTA AC	22	46	0.629	2381	46	1986
RUBIN BK	23	40	0.742	1637	46	1990
HUMBERT M	24	44	0.857	2386	44	1993
WISE RA	24	38	0.615	1483	44	1982

The horizontal line shows the time frame between the first and last publications of the author in the relevant period. The size of the small bubbles indicates the abundance of the number of springs. The darkness of the colors in the bubbles gets darker in proportion to the number of citations received. For many years, the authors who published in Chest were Taskhin, Irwin, Light, Shan. Recently, the most published and the cited author was Lip (Figure 5). When the studies of the authors mentioned in the Web of Science (WoS) database were examined, it was observed that Tashkin DP mostly published in the field of obstructive pulmonary diseases, Irwin RS mostly published in the field of clinical symptoms (cough), and infection, Light RW mostly published in the field of pleural diseases. The studies by Lip2 were mostly about anticoagulant therapy.

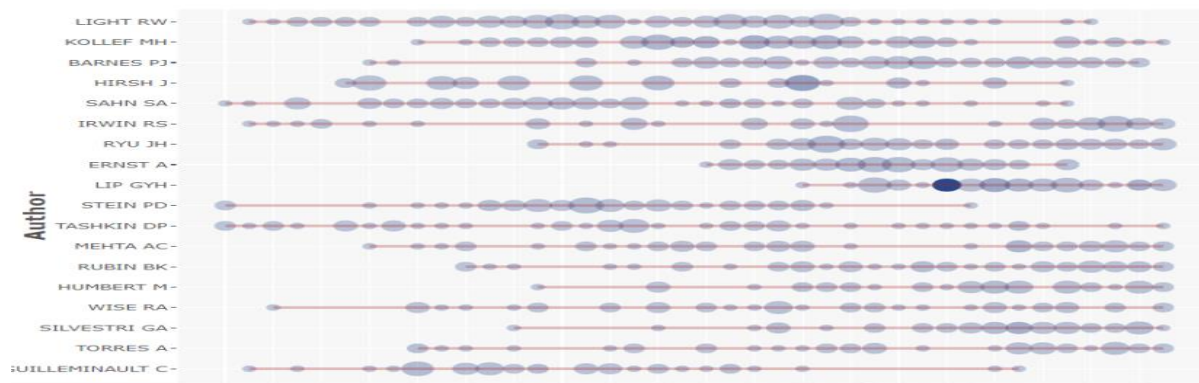


Figure 5. Top-authors' production over time

Table 5. Top 10 cited authors

Paper	Total Citations	TC per Year
MOUNTAIN CF, 1997,	3707	154.5
LIP GYH, 2010,	3255	295.9
KNAUS WA, 1991,	2577	85.9
PISTERS R, 2010,	2245	204.1
GEERTS WH, 2004,	2063	121.4
KEARON C, 2012,	1880	208.9
KEARON C, 2016,	1829	365.8
MOUNTAIN CF, 1986,	1657	47.3
KOLLEF MH, 1999,	1228	55.8
IBRAHIM EH, 2000,	1223	58.2

When the studies of the most cited authors in the Gene Web of Science (WoS) database were examined (Table 5), it was observed that MOUNTAIN CF conducted studies on the staging of lung cancer, LIP GYH conducted studies on cardiovascular disease, and KNAUS WA conducted studies on Intensive care. Considering the content of the studies, it was observed that the authors conducted studies on the accepted criteria regarding the patients and diseases in their fields. It was understood that the author distribution of the articles on Chest did not comply with Lotka's law.

A.5. Word Analysis

Word analysis was performed using both bibliometrics and the VOSviewer software. Bibliometrics software analyzes the words by using the title of the article, keywords, abstract, and bibliography of the article. The analysis obtained by using the bibliography of the article is called keyword plus (a feature not found in the other software).

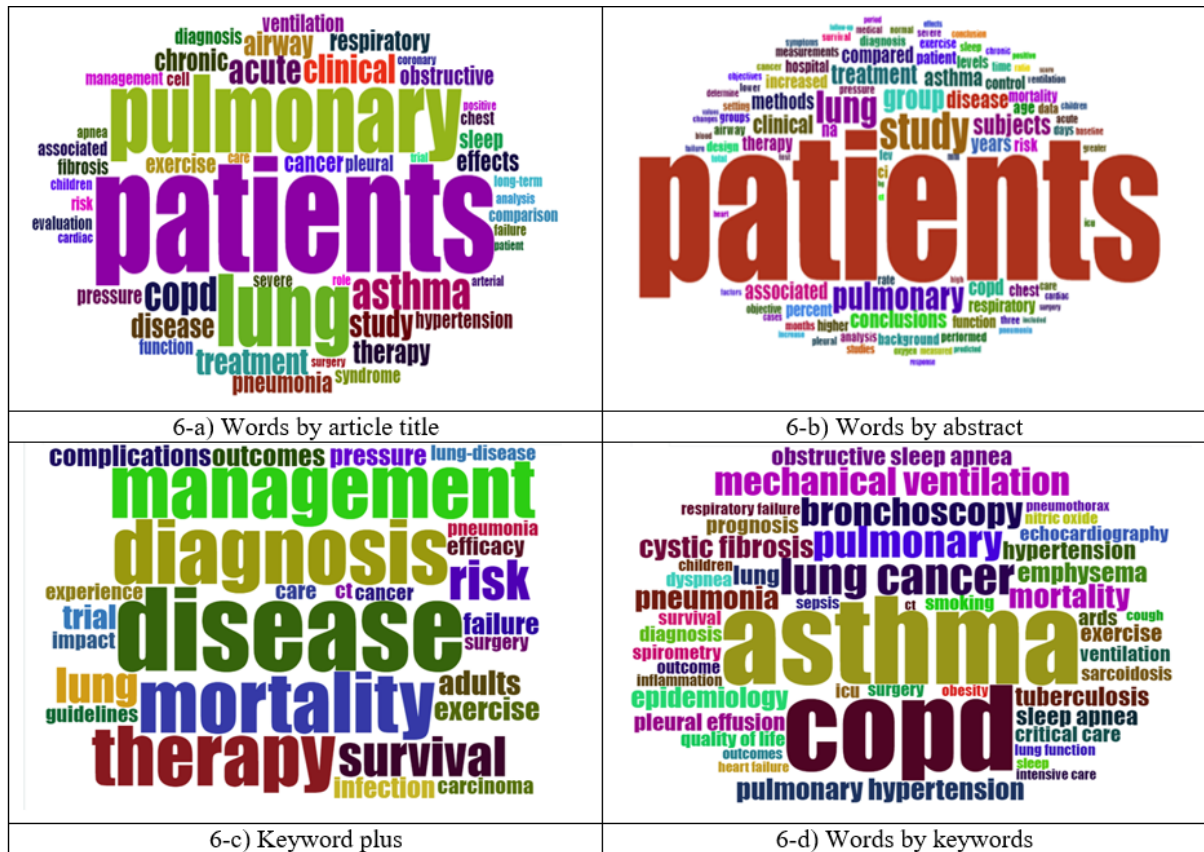


Figure 6. Title of the Article, Keywords, Abstract, and Keyword Plus Word Trees

Under the heading of Keyword plus, words such as disease, management, diagnosis, mortality, and therapy were used more frequently. These were the most commonly used words in references that authors found worthy of citation. Looking at the keywords, words such as asthma, COPD, lung cancer, pulmonary mechanical ventilation, and bronchoscopy were used more frequently (Figure 6).

A Landscape View of the Citation Network the scientific view on the subject above was produced based on the publications between 1980 and 2019. The network consisted of 18,450 articles, and 272,202 references were analyzed. The network had modularity of 0.9151, which was considered high, and a high Mean Silhouette (0.9605) value. This indicated that the specializations in the science map were clearly defined in terms of common resource clusters. The modularity value was expected to be equal to or greater than 0.6. The mean silhouette value was desired to be 0.7 and higher [20]. The youngest cluster and the cluster with the highest number of publications was the "chronic cough" cluster. Therefore, the landscape view was analyzed using the relevant software after removing the clusters that were very small. The fields in different colors indicated the time when the common reference links in these fields appeared for the first time. The software also included the coloring feature of clusters. Each cluster could be tagged with title terms, keywords, and terms derived from the abstract. The largest cluster was # 0 chronic cough. It consisted of 171 articles (Figure 8).

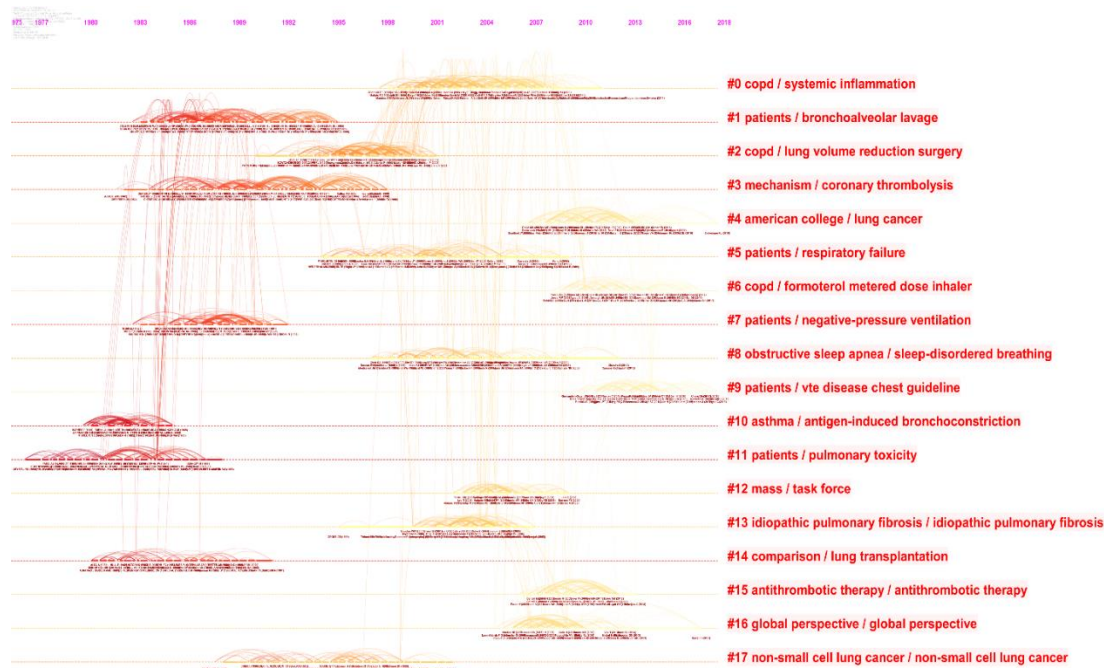


Figure 9. Time map (1984-2019)

Looking at the time map, it was concluded that particularly the two clusters were very active and current. Studies on the "COPD/formoterol metered Dose inhaler" and "Patients/VTE disease chest guideline" clusters were the most recent studies. On the other hand, "Pulmonary toxicity" and "asthma/antigen-induced bronchoconstriction" clusters had lost their activeness in Chest, and the authors had written extensively before 1989 (Figure 9).

IV. DISCUSSION

The annual growth rate of the publications published in Chest is -1.17%. This result is quite interesting, as there is an average of 3% growth per year in all disciplines, and there are some indications that this growth has accelerated in recent years [21]. One of the reasons why the annual growth rate of publications is lower than the determined average is that the number of articles published in the journal has gradually decreased in recent years. Besides, it is observed that the numerical increases in other types of publications are higher compared to the number of articles.

There is an average of 54.73 citations per article. Compared to other disciplines, it is observed that the average number of citations per article is quite high in the field of medical sciences. While there are 260 citations in oncology, 170 in immunology, and 105 in pharmacology [22]. The average number of citations in Chest is approximately 55. It will be interesting to perform an analysis to understand the different factors that can predict the number of citations a publication will receive. The total number of authors per document, the gender of the authors, their affiliations and countries, funding opportunities, fields of research, and/or the journal of publication can be used as the predictions. It is stated that the number of citations is positively correlated with the number of agencies that fund the research, and that more citations are made to the journals representing the discipline with more articles and more resources [22]. Other factors associated with citations include the age of references, journal impact factor, and the funding agencies.

The magnitude of the increase in publications for multi-author publications is greater, and the collaboration index (CI) for multi-author articles has increased significantly over time. This increase in the total number of authors and collaboration is not unique to one field of science. Multi-author articles provide more publications per author per year, helping to reduce the workload. Future research could investigate the cause of this increase more systematically, and try to understand how this might affect the impact or rigidity of the published scientific research [23]. All of the top 10 most cited studies in this journal were written by multiple authors.

In bibliometric analyses, the most cited countries are the most research-intensive countries of the world such as the UK, the USA, China, Japan, Germany, Italy, Canada, and France [24]. However, the eight most productive countries in our study are the USA, Canada, the UK, France, Japan, Spain, Italy, and the Netherlands. The six countries, which are the USA, Canada, the UK, Japan, France, and Italy are the countries that comply with the above list. The productivity of these countries may be related to specific funding opportunities, the number of laboratories, and the number of teaching programs in these countries.

V. CONCLUSION

Results obtained from science mapping, data visualization, and bibliometric software can also be one of the most rational inputs for policymaking. An important restriction is the indexing of raw data for Chest in the Web of Science (WOS) database as of 1980. However, Chest Journal has been published since 1935. Due to coding errors related to the type of articles in Chest that are indexed in the Scopus database as of 1943, the raw data were not taken from the Scopus database.

In future studies, more specific results can be achieved with a larger data set and a special search strategy by including the publications of other journals that contribute the most to the field of Critical Care Medicine and Respiratory System. Besides, bibliometric analysis can be performed on the first 100 articles with the most citations. The contribution of continental Europe and other countries except for the United States to the Critical Care Medicine and Respiratory System field is also worth researching in another type of classification.

VI. REFERENCES

- [1] P. Nieminen, T. Toljamo and H. Vähänikkilä, "Reporting data analysis methods in high-impact respiratory journals," *ERJ Open Res*, vol. 4, no. 2, pp. 00140-2017, 2018.
- [2] R. Andonie and I. Dzitac, "How to write a good paper in computer science and how will it be measured by ISI Web of Knowledge," *International Journal of Computers, Communications & Control*, vol. 4, pp. 432-446, 2010.

- [3] G. Shang, B. Saladin, T. Fry and J Donohue, “Twenty-six years of operations management research (1985–2010): authorship patterns and research constituents in eleven top rated journals,” *International Journal of Production Research*, vol. 53, no. 20, pp. 6161-6197, 2015.
- [4] DAR. Huarachi, CM. Piekarski, FN. Puglieri and AC. Francisco, “Past and future of Social Life Cycle Assessment: Historical evolution and research trends,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 264, pp. 121506, 2020
- [5] X. Zou and HL. Vu, “Mapping the knowledge domain of road safety studies: A scientometric analysis,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 132, pp. 105243, 2019.
- [6] W. Xue, H. Li, R. Ali and RU. Rehman, “Knowledge Mapping of Corporate Financial Performance Research: A Visual Analysis Using Cite Space and Ucinet,” *Sustainability*, vol. 12, no. 9, pp. 3554, 2020.
- [7] XS. Ren and YJ. Liu, “A bibliometric analysis on higher education curricula model,” In 2018 2nd International Conference on Education, Economics and Management Research (ICEEMR 2018), Atlantis Press, 2018.
- [8] PN. Hsieh and PL Chang. “An assessment of world-wide research productivity in production and operations management,” *Int. J. Prod. Econ*, vol. 120, no. 2, pp. 540-551, 2000.
- [9] C. Wang, MK. Lim, L. Zhao, ML. Tseng, CF. Chien and B. Lev, “The evolution of Omega-The International Journal of Management Science over the past 40 years: A bibliometric overview,” *Omega*, no. 93, pp. 102098, 2020.
- [10] G. Zurita, AK. Shukla, JA. Pino, JM. Merigó, V. Lobos-Ossandón and PK. Muhuri, “A bibliometric overview of the Journal of Network and Computer Applications between 1997 and 2019,” *Journal of Network and Computer Applications*, no. 165, pp. 102695, 2020.
- [11] P. Ahmad and HAM. Elgamal, “Citation Classics in the Journal of Endodontics and a Comparative Bibliometric Analysis with the Most Downloaded Articles in 2017 and 2018. *Journal of Endodontics*,” vol. 46, no. 8, pp. 1042-1051, 2020.
- [12] AW. Peters, MK. Savaglio, ZJ. Gunderson, G. Adam, AJ. Milto, EC. Whipple, RT. Loder and MA. Kacena, “Comparative analysis of authorship trends in the Journal of Hand Surgery European and American volumes: A bibliometric analysis,” *Annals of Medicine and Surgery* (Lond), no. 55, pp. 200-206, 2020.
- [13] XT. Lei and QY. Xu, “Evolution and thematic changes of Journal of King Saud University–Science between 2009 and 2019: A bibliometric and visualized review,” *Journal of King Saud University-Science*, vol. 32, no. 3, pp. 2074-2080, 2020.
- [14] N. Donthu, S. Kumar and D. Pattnaik, “Forty-five years of journal of business research: a bibliometric analysis”, *Journal of Business Research*, vol. 109, no. 3, pp. 1–14, 2020.
- [15] HSJ. Kim, M. Wahid, C. Choi, P. Das, S. Jung and F. Khosa, “Bibliometric analysis of manuscript characteristics that influence citations: A comparison of ten major dermatology journals,” *Burns*, no. 20, pp. 30354-30355, 2020.
- [16] ME. Falagas, EI. Pitsouni, GA. Malietzis and G. Pappas, “Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses,” *FASEB Journal*, vol. 22, no. 2, pp. 338-342, 2008.
- [17] L. Bornmann and HD. Daniel, “What do we know about the h index?,” *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 58, no. 9, pp. 1381-1385, 2007.

- [18] L. Egghe, "Theory and practise of the g-index," *Scientometrics*, vol. 69, no. 1, pp. 131-152, 2006.
- [19] AW. Harzing, "Reflections on the h-index," *Business&Leadership*, vol. 1, no. 9, pp. 101-106, 2012.
- [20] C. Chen, "CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature," *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 57, no. 3, pp. 359-377, 2006.
- [21] M. Ware and M. Mabe, "The STM report: An overview of scientific and scholarly journal publishing," 2015.
- [22] GS. Patience, CA. Patience, B. Blais and F. Bertrand, "Citation analysis of scientific categories," *Heliyon*, vol.3, no. 5, pp. e00300, 2017.
- [23] M. Anglada-Tort and KRM. Sanfilippo, "Visualizing Music Psychology: A Bibliometric Analysis of Psychology of Music, Music Perception, and Musicae Scientiae from 1973 to 2017," *Musicae Scientiae*, vol. 2, pp. 1-18, 2019.
- [24] I. Kisjes, Report: How do the large research nations compare? (2013, December 10). Retrieved from <https://www.elsevier.com/connect/report-how-do-the-large-research-nations-compare>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makale

Fitokimyasalların Antiviral Etkileri

 Tuğba DEMİR ^{a,*},  Özlem AKPINAR ^b

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Bölümü, Sivas, TÜRKİYE

^b Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Tokat, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: tugba@cumhuriyet.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.892487

ÖZ

Bitkilerdeki aktif fitokimyasalların genetik ve fonksiyonel olarak çeşitli virüslere karşı tedavi edici uygulamalara sahip olduğu birçok çalışmayla desteklenmektedir. Bu ajanların antiviral mekanizması, serbest radikal moleküllerinin oksidatif zararlarına karşı koruma kapasiteleri, DNA'nın inhibisyonu, RNA sentezi veya viral çoğalmanın engellenmesi gibi birçok mekanizma ile açıklanabilir. Çok sayıda epidemiyolojik ve deneysel çalışma, fitokimyasalların ümit verici antiviral aktivitelere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın amacı bitki ekstraktlarının ve fitokimyasalların antiviral özelliklerini ve etkin antiviral uygulamalarına yönelik araştırmaları derlemektir.

Anahtar Kelimeler: Fitokimyasal, Antiviral, Medikal Bitkiler, İlaç Taşınım Sistemleri

Antiviral Effects of Phytochemicals

ABSTRACT

Many scientific studies support that active phytochemicals in plants have therapeutic applications genetically and functionally against various viruses. The antiviral mechanism of these agents can be explained by many mechanisms. Their capacity to protect free radical molecules against oxidative damage, DNA inhibition, inhibition of RNA synthesis and viral growth explain the antiviral mechanism of these agents. Numerous epidemiological and experimental studies have revealed that phytochemicals have promising antiviral activities. The aim of this study is to compile research on the antiviral properties of plant extracts and phytochemicals and their effective antiviral applications.

Keywords: Phytochemical, Antiviral, Medical Plants, Drug Delivery Systems

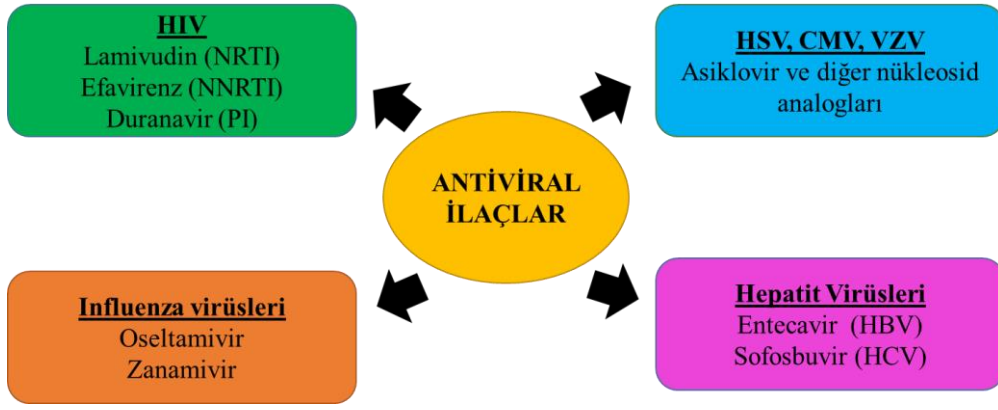
I. GİRİŞ

Viral enfeksiyonlar yılda beş milyondan fazla insanı etkilemekte ve dünya çapında önemli bir morbidite ve mortalite nedeni olmaktadır. En agresif viral enfeksiyonlar arasında Ebola, AIDS (sonradan kazanılan immün yetmezlik sendromu), İnfluenza, SARS (ciddi akut solunum sendromu) bulunmakta [1], [2], son olarak ise bu gruba Covid-19 eklenmiştir. Koronavirüs hastalığı (Covid-19) 2019 Aralık ayında Çin de ortaya çıkmış, bir ay içinde ülke çapında atipik bir şekilde hızla yayılmış, 11 Mart 2020 tarihi itibarı ile 185 ülkede enfekte vakaların görülmesi ile beraber, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından pandemi olarak ilan edilmiştir [3], [4], [5].

Küresel olarak, çeşitli viral enfeksiyonlar insan için büyük bir tehdit oluşturduğundan potansiyel ve yeni antiviral ajanlara olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Birçok tip virüs için onaylanmış bir ilaç yoktur (Covid-19 buna dahildir) ve aşı ise hepatit A virüsü, kabakulak ve suçiçeği gibi bazı viral hastalıklar ile sınırlıdır [6]. Kullanılan ilaçlar ise viral direnç nedeniyle bir süre sonra hem etkisiz kalmakta hemde yüksek maliyetlerinin yanında yan etkilere de neden olmaktadır. Bu nedenle günümüzde de geçmişde olduğu gibi, hala bitkiler tıbbi amaçlar için kullanılmaktadır ve antiviral özelliklerinin yanında, daha tolere edilebilir yan etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle doğal içerikli farmakoterapi, viral hastalıkların tedavisi için uygun bir alternatif olabilir. Bu amaçla miseller, nanopartiküller, nano-süspansiyonlar, katı dispersiyonlar, mikroküreler ve kristaller, kendiliğinden nanoemülsifiye edici ve kendiliğinden mikroemülsifiye edici gibi çok çeşitli ilaç taşıma sistemleri (SNEDDS ve SMEDDS) ve farklı farmasötik formülasyonlar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu teknolojiler, tıbbi fitokimyasalların etkili ve güvenilir bir şekilde uygulanabilmesini ve kullanılabilmesini sağlamaktadır [7]. Fitokimyasalların antiviral etkilerinin araştırıldığı farklı in vivo ve in vitro çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada bitkilerinve biyoaktif bileşenlerinin antiviral özellikleri ve bunların etkili bir şekilde uygulamalarına yönelik araştırmalar derlenmiştir.

II. ANTİVİRAL İLAÇLAR

Yirminci yüzyılın başlarında gelişmeye başlayan teknoloji ve sağlık imkanları, viral hastalıkların tedavisi üzerinde araştırmalar ve çalışmalar yapılmasına olanak sağlamıştır. Sağlık için tehdit oluşturan viral enfeksiyonların tedavisinde kullanılmak amacıyla farklı antiviral ajanlar geliştirilmiştir [7]. Günümüzde birçok virüs için tam anlamıyla onaylanmış bir ilaç bulunmamakta ve aşı uygulaması sadece hepatit A virüsü, kabakulak ve suçiçeği ile sınırlı bulunmaktadır. İnterferon ve ribavirin gibi klasik antiviral ilaçlar in vitro olarak etkili olsa da çoğunlukla hastalarda etkisizdir. Bugün mevcut olan doksan farklı antiviral ajanda sadece belirli virüsleri tedavi etmektedir. Bu virüsler arasında HIV, HSV, CMV, VZV, influenza virüsleri ve hepatit virüsleri dahil olmak üzere herpes virüsleri sayılmaktadır (Şekil 1). Antiviral ilaçlar; nükleosit analogları, asiklik nükleosit fosfonat analogları, asiklik guanozin analogları, pirofosfat analogu, integras inhibitörleri, giriş inhibitörler, proteaz inhibitörleri (PI), Nükleozit Revers Transkriptaz İnhibitörleri (NRTI) ve Non-Nükleozit Revers Transkriptaz İnhibitörleri (NNRTI) olarak ayrılrsa da, virüs tipine göre dört farklı ana grupta sınıflandırılmaktadır (Şekil 1). Tedavide tek başlarına kullanılabildikleri gibi kombinasyonlarıda kullanılmaktadır [8].



Şekil 1. Antiviral İlaçlar [7]

Asiklovir, ilk olarak 1974 yılında İngiltere’de geliştirilen bir antiviral ilaçtır. HSV-1 ve HSV -2 (Herpes Simpleks Virüsü), VZV (Suçiçeği Zoster Virüsü) enfeksiyonlarının tedavilerinde kullanılmaktadır [9]. Bu grubun immünolojik ve antiviral fonksiyonları diğerlerinden farklıdır [10]. Lamivudin nükleosit analogları içerisinde yer almaktadır ve DNA replikasyonunu etkili bir biçimde inhibe ederek hastalığın yayılmasını engellemektedir [11]. Efavirenz 1980’li yılların sonuna doğru geliştirilmiş non-nükleozit reverz transkriptaz inhibitörüdür. Hedef alınan bölgeye bağlanarak, etkenin katalitik etkiliğini azaltmakta ve bunun sonucunda viral replikasyonu inhibe etmektedir. İnfluenza virüslerin tedavisinde kullanılan viral ajanlardan oseltamivir ve zanamivir; virüsün hücre reseptörleri üzerinde etki göstererek, oluşan yeni virüs partiküllerinin saçılımını engelleyen nöroamnidaz inhibitörüdür [12]. Duranavir; ikinci kuşak HIV proteaz inhibitörlerindedir. Nükleosit analogu olan Entecavir HBV’nin viral DNA polimeraz ve viral transkriptaz enzimlerini inhibe ederek antiviral etki göstermektedir [10], [13] (Şekil 1). Sofosbuvir HCV tedavisinde kullanılan polimeraz inhibitörüdür (zincir sonlandırıcı) ve güçlü antiviral ilaçlar arasında yer almaktadır. Covid-19 virüsü için ise antiviral ajan (ilaç/aşı) çalışmaları da 2020 yılı itibari ile halen devam etmektedir [5].

Halihazırda mevcut antiviral ilaçların yüksek maliyetli olması, istenmeyen yan etkileri, etkili aşuların yokluğu (bazı durumlarda) ve dirençli suşların ortaya çıkması nedeniyle, geleneksel olarak kullanılan tıbbi bitkiler antiviral ilaç geliştirmede alternatif olarak değerlendirilmektedir [14, 15]. Dünya sağlık teşkilatı (DSÖ), medikal bitkiler üzerine 91 ülkenin araştırmacıları tarafından yapılmış olan bilimsel çalışmalara dayanarak hazırladığı raporda, hastalıkların tedavisinde kullanılan bitkilerin yaklaşık olarak 20 000 civarında tür olduğunu bildirmiştir. Bitki bazlı tıbbi bileşiklere talep geniş biyolojik aktiviteleri, yüksek güvenliği ve daha az maliyeti nedeniyle gün geçtikçe artmaktadır. Küresel pazardaki payı yıllık 60 milyar doların üzerindedir [16]. Bitki kaynaklı biyoaktif doğal bileşiklerin potansiyel antiviral ilaç geliştirme amacıyla kullanılabilmesi için virüsü baskılayabilme yeteneği, hücreye girişini engellemeye katkısı ve virüsün daha az direnç gösterebileceği etki mekanizması gibi faktörler önemlidir [17].

III. ANTİVİRAL MEDİKAL BİTKİLER

Antik çağlardan bu yana tedavi amaçlı geleneksel tıptan faydalanılmaktadır ve güçlü tedavi edici etkileri ile çeşitli bitkiler bu amaçla kullanılmıştır. Ayrıca bu bitkilerin çoğu olası viral kaynaklı hastalıklar tedavisinde de önemli yol almada etkin olmuştur. Bitkilerde antiviral aktivitenin araştırıldığı çalışmalarda ekstraksiyon şekli, bitkide bulunan fitokimyasalın veya etkisi belirlenmek istenen etken maddenin elde edilmesinde önem arz etmektedir (Tablo 1). Bu amaçla en sık kullanılan ekstraksiyon solventleri su ve metanoldür. Bunları etanol ve hidroalkolik ekstraksiyon takip etmektedir [18]. Şimdiye kadar çalışılan bazı antiviral bitki ekstraktları ve bunlardan izole edilen alkaloidler, terpenler, fenolikler, glikozitler, organosülfür bileşikleri, vitaminler, çoklu doymamış yağ asitleri, kinonlar, laktoferrin, lignanlar, tanenler ve proteinler gibi çeşitli fitokimyasallar ile ilgili temel bulgular Tablo 1’de bir arada sunulmuştur. Tablo da yer alan ekstraktlar hücre kültüründe test edilmiş ve bazılarında da in vivo olarak da incelenmiştir. [19], [20], [21], [22].

Çay bitkisinin (*Camellia sinensis*)’den elde edilen epigallokateşin-3-gallatin HBV virüsüne karşı etkili olduğu ve dört farklı kekik türü (*Thymus carmanicus*, *Thymus daenensis*, *Thymus kotschyanus*, *Thymus vulgaris*) ekstraktlarının HIV virüsüne karşı antiviral aktivite gösterdiği tespit edilmiştir [23] (Tablo 1). Halk arasında çokça tüketilen zerdeçal (*Curcuma longa*) ekstraktının antiviral aktiviteye sahip olduğu (Tablo 1) ve HSV grubu virüsler üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Biyoaktif özellikleriyle beslenmede önemli yer alan incir (*Ficus carica*) meyvesi, papatyagiller familyasına ait olan *Dittrichia viscosa*, zambak (*Lilium candidum*) ve nane (*Mentha pulegium*) bitkilerinde HSV virüslerine karşı etkileri incelenmiş ve bir viral ajan olan asiklovire yakın antiviral aktivite gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 1). Bunların dışında Melisa (*Melissa officinalis*) ekstraktı HSV grubu virüslerde, zeytin (*Olea europaea*), Aloe vera, Ginseng (*Panax notoginseng*) ve karahindiba (*Taraxacum officinale*) ekstraktlarında influenza virüsleri üzerinde aktif olduğu belirtilmiştir.

Tablo 1 de belirtilen bitkilerin dışında antiviral medikal bitkiler içerisinde üzerinde pek çok araştırmaların olduğu bitkilerden birisi kara mürverdir (*Sambucus nigra*). Özellikle antiviral ve bağışıklık güçlendirici amaçlarla sıklıkla kullanılmaktadır. *S. nigra* bitkisinde bulunan biyoaktif fitokimyasalların, çeşitli virüslerin dış yüzeyinde bulunan hemaglütinin proteininin etkisini ortadan kaldırdığı tespit edilmiştir. Virüsler, hemaglütinin aktivitesi ortadan kalktığı zaman, hücre yüzeyine tutunamaz ve viral giriş engellendiği için replikasyona başlayamazlar [24, 25]. *S. nigra*’nın in vitro olarak, antiviral ilaca dirençli suşlarında bile HSV’yi önemli ölçüde inhibe ettiği gösterilmiştir [26]. Meyan kökü (*Glycyrrhiza glabra*)’nın içerdiği triterpen saponinlerin, HBV’nin yüzey antijeninin membran transportunu azalttığı, HIV üzerinde ise hücre füzyonunu inhibe ettiği belirtilmiştir [27]. Ekinezya (*Echinacea purpurea*)’nın antiviral etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada influenza virüsünün viral replikasyonunu maksimum seviyede inhibe ettiği ve güçlü bir antiviral ilaç olan oseltamivir (influenza tedavisinde kullanılan antiviral ilaç) ile karşılaştırıldığında, ekinezya bitkisinin ilaca yakın seviyelerde etkili olduğu bildirilmiştir [28].

Tablo 1. Bazı bitki ekstraktlarının antiviral özellikleri

Virüs	Bitkiler	Ekstraksiyon çözeltisi	Kaynak
HSV-1 & HSV-2	<i>Aloe vera</i>	Gliserin ekstrakt	[29]
	<i>Euphorbia spinidens</i>	Metanol extract	
	<i>Curcuma longa</i>	Sulu ekstrakt (Curcumin)	
	<i>Hyssopus officinalis</i>	Methanol ekstrakt	
	<i>Securigera securidaca</i>	Methanol ekstrakt	
	<i>Capparis spinosa</i>	Metanol ekstrakt	[30]
	<i>Cyperus rotundus</i>	Hidroalkolik ekstrakt	[14]
	<i>Dittrichia viscosa</i>	Sulu ekstrakt	[31]
	<i>Ficus benjamina</i>	Ethanol ekstrakt (Rutin&Kaempferol)	[32]
	<i>Ficus carica</i>	Sulu ekstrakt	[33]
	<i>Lilium candidum</i>	Ethanol ekstrakt	[32]
	<i>Melissa officinalis</i>	Sulu ekstrakt	[34]
	<i>Mentha pulegium</i>	Methanol ekstrakt	[35]
	<i>Moringa peregrina</i>	Hidroalkolik ekstrakt	[14]
	<i>Tamarix nilotica</i>		
	<i>Quercus brantii</i> L Acorn.	Ethanol ekstrakt	[36]
	<i>Quercus persica</i>	Hidroalkolik ekstrakt	[36]
	<i>Sanguisorba minor</i>	Sulu ekstrakt	[31]
	<i>Zataria multiflora</i>	Methanol ekstrakt (Rosmarinik asit)	[37]
	<i>Brassicaceae spp., Allium spp.,</i>	Sulu ekstrakt	[38]
HBV	<i>Camellia sinensis</i>	Sulu ekstrakt (Epigallokateşin-3-gallat)	[39]
	<i>Phyllanthus acidus</i>	Sulu ekstrakt	[40]
	<i>Phyllanthus emblica</i>	Sulu ekstrakt	[40]
HIV-1 & HIV-2	<i>Cassine xylocarpa</i>	Sulu ekstrakt (Triterpenoidler)	[41]
	<i>Cistus incanus</i>	Polifenolce zengin ekstrakt	[42]
	<i>Daphne gnidium</i>	Hidroalkolik ekstrakt	[41]
	<i>Euphorbia hirta</i>	Sulu/metanol ekstrakt	[43]

	<i>Leucosium vernum</i>	Methanol ekstrakt	[44]
	<i>Prunella vulgaris</i>	Sulu ekstrakt	[45]
	<i>Thymus carmanicus</i>		[46]
	<i>Thymus daenensis</i>	Methanol ekstrakt	
	<i>Thymus kotschyanus</i>		
	<i>Thymus vulgaris</i>		
	<i>Tuberaria lignosa</i>	Sulu ekstrakt	[47]
	<i>Artocarpus integrifolia</i>	Sulu ekstrakt	[20]
	<i>Diospyros kaki</i>	Sulu ekstrakt (flavonol, luteolin, apigenin)	
	<i>Myristica fragrans</i>	Sulu ekstrakt	
	<i>Panax ginseng</i>	Methanol ekstrakt (Epigallokateşin gallat)	
HCR3	<i>Spondias lutea</i>	Sulu ekstrakt	
	<i>Vitis labrusca</i>	Methanol ekstrakt (Resveratrol)	
	<i>Vitis macrocarpon</i>	Methanol ekstrakt (Proantosiyanidin)	
	<i>Glycyrrhiza uralensis</i>	Methanol ekstrakt	
	<i>Olea europaea</i>	Hekzan ekstrakt	[48]
	<i>Panax notoginseng</i>	Sulu ekstrakt	[21]
	<i>Salacia reticulata</i>	Sulu ekstrakt	[22]
Influenza	<i>Taraxacum officinale</i>	Sulu ekstrakt	[47]
	<i>Achillea fragrantissima</i>	Hidro-alkolik ekstrakt	[14]
	<i>Globularia arabica</i>		
POLIO	<i>Solanum nigrum</i>	Methanol ve kloroform ekstrakt	[49]
	<i>Taraxacum officinale</i>	Methanol ekstrakt	[50]
HCV	<i>Punica granatum</i>	Methanol ekstrakt	[51]
HHV-3	<i>Punica granatum</i>	Methanol ekstrakt	

Bitkilerin, ikincil metabolik faaliyetleri sonucunda gelişen, besin olarak tüketilemeyen ancak besin gibi insan sağlığı için yararlı etkilerde bulunan biyoaktif bileşiklerin ‘fitokimyasalların’ [52] (fenolik bileşikler, tanenler, saponinler, karotenoidler, kumarinler, tokoferoller, terpenler, izotiyosiyanatlar, sülfidler, sülforofanlar, terpenoidler, alkaloidler, flavonoidler, fitosteroller, fitoestrogenler ve indoller) [53] bazı virüsler üzerinde antiviral etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle viral enfeksiyonların tedavisinde bitkiler doğal bir kaynak olduğundan birçok araştırmanın konusu olmaktadır. Antiviral aktiviteye sahip bileşikler birçok bitkide bulunabilmektedir, örneğin, rutin, farklı bitkilerde yaygın olan bir flavonoid glikozittir ve influenza virüsü [54], HSV-1, HSV-2 [55] ile parainfluenza-3 virüsüne [56] karşı etkilidir (Tablo 2). Literatürde mevcut olan araştırmalar, çok sayıda flavonoidin etkili antiviral aktiviteye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Flavonoidlerin yanı sıra, bitkiler tarafından üretilen antibiyotikler olarak kabul edilen fitoaleksinler antiviral etkiye sahiptir [17].

Sebze ve meyvelerde bol miktarda bulunan mirisetin ve elajik asit üzerine yapılan in vivo hücre kültürü çalışmalarında ise oseltamivire (influenza A ve influenza B'yi tedavi etmek ve önlemek için kullanılan antiviral bir ilaç) dirençli bir suş da dahil olmak üzere, farklı influenza virüsünün alt tiplerine karşı etkin olduğu bildirilmiştir [57]. Apigenin, flavon sınıfının bir aglikonudur ve bitkilerde doğal bulunan bir renk maddesidir. Maydanoz, soğan, portakal, çay, papatya ve bazı baharatlar başta olmak üzere bir çok meyve ve sebze apigenin içermektedir. Yapılan araştırmalar bu fitokimyasalın enterovirüs-71 [58], Coxsacki virüs (el, ayak ve ağız hastalığı virüsü) [59], HCV [60], Afrika domuz vebası virüsü (ASFV) [61] ve influenza A virüsüne [62] karşı geniş antiviral aktivitelere sahip olduğu belirtilmiştir. Bitkilerde bol miktarda bulunan fitokimyasallardan olan kuarsetin birçok virüsün çoğalmasını azaltabilmektedir: Yüksek derecede patojenik influenza virüsü [63], rinovirüs [64], dang virüsü tip-2 [65], HSV-1 [66], poliovirüs [67], adenovirüs [68], Epstein-Barr virüsü [69], solunum sinsityal virüsü (RSV) [70] ve HCV [71] bu virüsler arasında sayılmaktadır. Sithisarn ve ark. [62] bitki kaynaklı 22 farklı flavonoidin antiviral özellikleri üzerine yapmış olduğu bir çalışmada apigenin, baicalin, biyokanin, kaempferol, luteolin, naringenin fitokimyasallarının kuş gribi H5N1 virüsü üzerinde nükleoprotein üretimini engelleyerek etkili olduğu belirtilmiştir [62].

Bir flavonoid glikozit olan baicalinin enterovirüs [72], dang virüsü (DENV) [73], solunum sinsityal virüsü (RSV) [74], Newcastle hastalığı virüsü [75], HIV [72] ve hepatit B virüsü (HBV) [76] de dahil olmak üzere çok çeşitli virüslere karşı farklı mekanizmalarla antiviral etkisinin olduğu bildirilmiştir. Baicalinin ve genisteinin insan sitomegalovirüsüne karşı antiviral aktivitesinin araştırıldığı bir çalışmada genisteinin birincil etki mekanizmasının doğrudan protein işlevini bloke ederek enfeksiyonun önüne geçtiği belirtilmiştir [77]. Fenolik bileşiklerin önemli bir grubunu oluşturan lignanlar HBV ve influenza (tip-A)'nın viral replikasyon döngüsünü inhibe ettiği görülmüştür [78]. Yapılan araştırmalarla antioksidan, antimikrobiyal, antidiyabet, antikanser ve antiinflamatuvar özellikleri bilinen [79], [80] nar kabuğunun (*Punica granatum L.*) antiviral (HHV-3; Varisella zoster virüs) etkinliğinin araştırıldığı bir çalışmada *P. granatum*'un standart bir antiviral ilaç olan asiklovir'e yakın aktivite gösterdiği belirtilmiştir [51].

Bitkiler, fenolik bileşiklerin yanında terpenoidler, organosülfür bileşikleri, vitaminler, çoklu doymamış yağ asitleri, kinonlar, laktoferrin, lignanlar, tanenler gibi çeşitli önemli bileşenlere de sahiptirler [81]. İzoprenoidler olarak da adlandırılan terpenoidler, beş karbonlu izopren birimlerinden türetilen, doğal olarak oluşan fitokimyasalların büyük ve çeşitli bir sınıfıdır. Akut solunum sendromu ile ilişkili koronavirüs (SARS-CoV) aktivitesine karşı etkinliği taranan 220'den fazla terpenoid sitopatojenik etki göstererek, anti-SARS-CoV aktivitesine sahip biyoaktif bileşikler olarak belirtilmiştir [82]. SARS-CoV virüsü üzerinde etkisi araştırılan diğer bir flavonoid ise luteolindir. Luteolin virüsün konakçı hücreye girişini engelleyerek antiviral etkisini göstermiştir [83]. Oleanolik asit (soğan, dut, zeytin yaprağı) ve ursolik asit (alıç, gilaboru) gibi bitkilerde bolca bulunan triterpenoidlerin HCV'ye karşı etkili olduğu [84] ve enterovirüs 71 replikasyonunu inhibe edebildiği rapor edilmiştir [85] (Tablo 2).

Brassicaceae (Turpgiller) ve *Allium* ailesinin tüm bitkileri organosülfür bileşikler yönünden zengin birer antiviral (HSV üzerinde) ajan olarak değerlendirilmektedir. Yapılan bir çalışmada sarımsağın (*Allium sativum*) yaygın kullanımının İnfluenza tedavisi yapılan grubun iyileşme süresinin daha kısa olduğu belirlenmiştir [86]. Astani ve ark. [34]'in yaptıkları çalışmada HSV viral enfeksiyon gösteren hastaların tedavisinde melisa çayı (*Melissa officinalis*) tüketen grubun ilaçların neden olduğu yan etkileri göstermediği ve tedaviyi desteklediği, Wölbling ve ark. [87] ise melisa tüketiminin HSV tedavi süresinde önemli derecede azalttığını rapor etmişlerdir [87]. Diğer taraftan C vitaminin bağışıklık sistemini koruyarak bulaşıcı hastalıklara karşı koruyucu ve tedavide sürecin pozitif ilerlemesini sağladığı bildirilmiştir. E vitamini (tokoferolün metil türevleri) takviyesinin kronik hepatit B tedavisinde etkili olduğu çalışmalarda yer almıştır [88]. Fitoöstrojen sınıfında yer alan oksidatif stres üzerinde pozitif etkisi olan lignanların HIV ve HSV virüslerine karşı in vitro inhibisyon göstermiştir. Bir lignan olan Nordihidroguaiaretik asitin antiviral aktivitesinin önemli seviyelerde olduğu literatürde yer almıştır [89].

Tablo 2. Bitkilerde Bulunan Antiviral Fitokimyasallar

Fitokimyasal	Virüs	Kaynak
Rutin	HSV-1	[56]
	HSV-2	
	Parainfluenza-3	
Mirisetin	İnfluenza A/B	[57]
Apigenin	Enterovirüs-71	[58]
	Coxsacki virüs	[59]
	HCV	[60]
	ASFV	[61]
	İnfluenza A	[62]
	H5N1	[62]
Baiselin	H5N1	[90]
	Enterovirüs	[73]
	DENV	[74]
	RSV	[75]
	Newcastle hastalığı virüsü	[72]
		[76]

	HIV	[77]
	HBV	[77]
	CMV	
Biyokanin	H5N1	[62]
Kaempferol	H5N1	
Luteolin	H5N1 SARS-CoV	[20,62]
Naringenin	H5N1	[7, 62]
Oleanolik Asit, Ursolik Asit	HCV Enterovirüs 71	[84, 85]
Lignan	HBV İnfluenza A	[89]
Terpenoidler	SARS-CoV	[82]

IV. ANTİVİRAL FİTOKİMYASALLARIN ETKİ MEKANİZMALARI

Farklı fitokimyasalların antiviral etki mekanizmalarının olduğu farklı çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Örneğin kuarsetinin NS5A (yapısal olmayan protein 5A) aracılı viral IRES (iç ribozom giriş bölgesi) translasyonunda yer alan strese maruz kalmaya yanıt olarak hücreler tarafından üretilen bazı ısı şok proteinlerinin (HSP'ler) aktivitesini sınırlandırarak, HCV virüsünü inhibe etme yeteneği bildirilmiştir (Tablo 3) [71]. Ayrıca subgenomik HCV RNA replikon hücre sisteminde HCV NS3 proteazının ve HCV replikasyonunun inhibisyonunu sağladığı belirtilmiştir. [70]. Başka bir çalışmada kuarsetinin rinovirüs patogenezinin çeşitli aşamalarını, yani endositoz, viral genom transkripsiyonu ve protein sentezini inhibe edebildiği de rapor edilmiştir [64]. Ayrıca kuarsetinin, dang virüsü tip-2 replikasyonunu azalttığı, ancak viral bağlanmayı azaltmadığı, daha spesifik bir etki tarzına sahip olduğu gösterilmiştir (Tablo 3) [65]. Rauscher murin lösemi virüsü (RLV) ve HIV virüsleri üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise kuarsetin, mirisetin, kuarsetagetin ve baicalenin ters transkriptazı etkin bir şekilde inhibe ettiği fakat farklı DNA polimeraz enzimlerinin inhibisyonu üzerine etkili olduğu savunulmuştur. Metil-kuarsetin poliovirüs replikasyonu üzerinde seçici inhibisyon göstermiştir [91].

Flavonoidlerin viral replikasyon üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, teaflavin, iridoidler, fenilpropanoid glikozitler, kumarinler, morin, galangin, balsalin, kuarsetin, izokuarsetin ve farklı yapıdaki flavon türlerinin RNA sentezini tıkayarak HIV-inhibitör aktivite göstermişlerdir. Erken HIV yaşam döngüsünü inhibe eden alkaloidler [92] aynı zamanda tip-1 HSV'nin viral DNA polimeraz aktivitesinde engellenmiştir [93]. Çoğunlukla sarı ve turuncu sebzelerde bulunan lutein ve önemli bir karotenoid olan zeaksantin HIV sebebiyle oluşan oksidatif stresi azaltarak metabolizmanın iyileşme sürecinde olumlu etkileri rapor edilmiştir [94]. Ferulik asit, gallik asit ve kurkuminin replikasyon üzerine etkisi incelenmiş ve HIV replikasyonunu engellediği [95], apigeninin virüsün aktivasyonuna müdahale ettiği, tanenlerin ise hücre füzyonunu ve gp41 altı sarmal demet oluşumunu engelleyerek HIV üzerinde güçlü inhibitör aktivite gösterdiği rapor edilmiştir. Viral (HIV-1) giriş inhibisyonunda baicalinin etkili olduğu bildirilmiştir [96]. Rosmarinik asitinde herpes grubu virüslere karşı yapılan in vivo çalışmalarında etkin olduğu bildirilmiştir [97]. Lyu ve ark. [98] 18 flavonoid üzerinde Herpes grubu virüsler ile yaptıkları çalışmada galangin, kaempferol, Epigallokateşin Gallat (EGCG), Epikateşin (ECG) ve Epigallokateşin (EGC)'in antiherpetik etkiyi plak indirgeme ve viral verimi düşürme mekanizmaları ile açıklamışlardır. Aynı zamanda EGCG, ECG ve EGC viral RNA'yı baskılayarak İnfluenza virüsü üzerinde etkili olmuştur [98]. Tanenlerin HIV virüsünün sarmal demet oluşumunu engellediği, elagitannelerin (Casuarinin, Eugeniin) ise HSV grubu ve influenza virüsleri üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Vitaminlerden C vitamininin viral bulaşıda immün yanıtı artırabildiği ve bulaşıcı hastalıklara karşı koruma sağlayabileceği, bunun yanında E vitamini ve türevlerinin (tokoferolün metil türevleri ve tokotrienollerin) takviyesinin kronik hepatit B tedavisinde etkili olduğu çalışmalarda yer almıştır [99].

Tablo 3. Anviral Fitokimyasalların Etki Mekanizmaları

Fitokimyasal	Virüs	Etki Mekanizması	Kaynak
Kuarsetin	İnfluenza	Viral çoğalmayı baskılama	[63]
	HSV-1		[66]
	Poliovirüs		[67]
	Adenovirüs		[66]
	EBV		[68]
	RSV		[69]
	Rinovirüs	Endositoz, viral genom transkripsiyonu ve protein sentezi inhibisyonu	[64]
	DENV	Viral replikasyonu azaltma	[65]
	HCV	Viral replikasyon ve HSP aktivitesini sınırlandırmak	[70], [71]
Kuarsetin ve mirisetin, kurasetagetin, baisalein	RLV, HIV	Ters transkriptaz ve DNA polimeraz enzim inhibisyonu	[38]
Metil-kuarsetin	Poliovirüs	Viral replikasyonda seçici inhibisyon	[91]
teaflavin, iridoidler, fenilpropanoid glikozitler, kumarinler, morin, galangin, baisalin, kuarsetin, izokuarsetin	HIV	RNA sentezini engelleyerek viral inhibisyon	[92]

A. ANTİVİRAL FİTOKİMYASALLARIN TAŞINIM SİSTEMLERİ

Medikal bitkilerin kimyasal yapılarının zengin oluşundan dolayı, yeni ve de etkinliği yüksek ilaç formülizasyonlarının geliştirilmesi, farmakolojinin önemli bir araştırma alanıdır [7]. Nanoteknoloji ve bunun yanında biyoteknoloji alanındaki araştırmaların artması, farmasötik teknoloji uygulamaları ile yeni ilaç taşıma sistemlerinin gelişmesine yol açmaktadır. Böylece “Farmasötik nanoteknoloji” ile yeni ilaç taşıma sistemleri geliştirilmiş ve bilime kazandırılmıştır [85].

Antiviral bitki ajanlar için fitozomlar, nanopartiküller, hidrojeller, mikroküreler, transferozomlar ve etozomlar, kendi kendine mikroemülsifiye edici (SMEDDS) ve kendi kendine nanoemülsifiye edici (SNEDDS) gibi ilaç taşıma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [59] (Tablo 4). Antiviral aktivite teknolojisinde eskiden bu yana kullanılan fitokimyasal ilaç formülizasyonları yerine, bahsi geçen teknolojiler tercih edilmektedir, çünkü hem güvenli hem de artırılmış çözünürlük, oral absorpsiyon, sistemik biyoyaralanım gibi özellikleri kazandırmakta ve bu şekilde daha etkin antiviral aktivite sağlanmaktadır. Yine de, antiviral bitkisel ilaç taşıma konusunda çok az sayıda çalışma yapılmıştır, bu nedenle bilinen antiviral aktiviteye sahip fito-ilaçların taşıma sistemini iyileştirmek için farklı çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır [100].

Fitozom ilaç taşıma sisteminde; fosfolipidlerin hem suyu hem yağı seven yapısal özelliklerinden yararlanarak suda çözünür maddelerin lipofilik membrandan geçişi artırılmakta ve böylece biyoyaralanım artmaktadır. Nanopartiküller taşıma sistemlerinin partikül boyutları 50-1000 nm olup, otoklavda sterilize edilebilen, kontrollü ve sürekli salınım yapabilen fiziksel stabiliteleri yüksek taşıyıcılardır. Mikroküreler ilaç taşıma sistemleri çapları birkaç µm den mm boyutuna kadar değişebilen, etkin maddenin içinde homojen bir şekilde dağıtıldığı, katı küresel ve monolitik matris yapıda partiküllerdir [101]. Transferozomlar stratum corneumu (üst derinin sürekli aşınan,

boynuzlaşmış en üst katmanı) geçebilen ilaç taşıyıcı sistemidir. Etozomlar ve transferzomlar etken maddeleri daha altta yer alan dokulara taşınması için uygulamaları olan ilaç taşınım sistemleri arasında yer almaktadır [102]. Kendiliğinden emülsifiye olabilen sistemler yağ, sürfaktan, yardımcı çözücü/yardımcı sürfaktan ve ilaç bileşenlerinden oluşan sistemlerdir. Gastrointestinal sıvılar gibi sulu ortamlarda seyreltilmeleri sonucunda, gastrointestinal ortamın hareketinin sağladığı hafif çalkalanma ile mikroemülsiyon damlacıkları oluşmaktadır. Bu formülasyonlar damlacık boyutlarına göre iki grup altında toplanabilirler; 50-300 nm aralığında damlacık boyutuna sahip olan kendiliğinden emülsifiye olabilen sistemlere kendiliğinden nanoemülsifiye olabilen sistemler (SNEEDS), 50 nm ve altında şeffaf görünümlü sistemlere ise kendiliğinden mikro emülsifiye olabilen sistemler (SMEDDS) denilmektedir [103].

Fitokimyasalların antiviral etkinliklerinin araştırıldığı çalışmalarda, birden çok ilaç taşınım sisteminin kullanıldığı görülmüştür. Tablo 4’ de görüldüğü gibi mirisetinin SNEEDS, nanojel, nanosüspansiyon, cokristal ve nanoenkapsülasyon gibi metotlar kullanılarak antiviral özelliği belirlenmiş, HIV, RLV ve İnfluenza virüsleri üzerinde etkili oldukları gösterilmiştir (Tablo 2). Baicalin, kuarsetin, kurkumin, naringenin, honokiol ve oleanolik asitin nanopartikül metodu kullanılarak yapılan çalışmalarda, antiviral etkiye sahip olduğu ve hepsinin hepatit grubu virüsler üzerinde aktif olduğu görülmüştür (Tablo 4). Mirisetinin SNEEDS yöntemi ile biyoyararlılığının araştırıldığı bir çalışmada serbest mirisetine kıyasla SNEEDS ile formülize edilmiş mirisetinin antiviral absorpsiyonunun daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Yapılan bu in vivo çalışmada hayvan plazma seviyelerinde mirisetin SNEEDS yüklü partiküllerinin daha hızlı ve etkin antiviral ajan oldukları gösterilmiştir. Kim ve ark. [100] yapmış oldukları bir çalışmada apigeninin antiviral biyoyararlılığını artırmak için farklı yağ-su emülsiyon tekniği kullanmışlardır. Yağ içinde su emülsiyonunun, ölçülen plazma seviyelerinde, farmakokinetik özelliklerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir [100].

Tablo 4. Antiviral fitokimyasallar için uygulanan farklı taşınım sistemleri [7, 17, 51, 99]

Fitokimyasal	Virüsler	Uygulanan sistem/metod
Mirisetin	HIV, RLV, influenza	SNEEDS, nanojel, mixed misel, nanosüspansiyon, cokristal, nanoenkapsülasyon
Apigenin	Enterovirüs 71, FMDV, HCV, ASFV, influenza A	Su/yağ emülsiyonu, yağ/su mikroemülsiyonu, solid sipersiyon, mixed misel, fosfolipid fitozom, pellet, SMEDDS
Baisalin	İnfluenza, NDV, enterovirus 71, DENV, RSV, HIV, HBV	Lipozom, mixed misel, polimerik misel, SNEEDS, nanoemülsiyon, inklizyon kompleks, solid dispersiyon, nanopartiküller, nanokristal, SMEDDS
Kuarsetin	JEV, influenza A, EBV, MAYV, RV, HCV	Nanokristal, nanopartiküller, fitozom, nanolipozom, mixed misel, SNEEDS, nanopartikül, nanoemülsiyon, nanosüspansiyon
Kurkumin	Influenza, RSV, HBV, HCV, ZIKV, CHIKV, norovirus, HIV, HPV, CMV, EV71, DENV type-2	Mixed misel, nanopartikül, solid dispersiyon, SNEEDS, SMEDDS, lipid taşıyıcı, kopolimerik misel, eksozom
Naringenin	DENV, HCV	SNEEDS, solid dispersiyon, nanopartikül, lipozom, nanosüspansiyon, siklodekstrin kompleks
Honokiol	DENV, HCV	İnklüzyon kompleks, konjuge misel, nanopartikül
Oleanolik asit	Akut ve kronik hepatitler	SMEDDS, nanopartikül, nanosüspansiyon, SNEEDS

HIV Human İmmunodeficiency Virus, RLV Rhesus Lymphocryptovirus, HCV Hepatitis C Virus, ASFV African Swine Fever Virus, NDV Newcastle Disease Virus, DENV Dengue Virus, RSV Respiratory Syncytial Virus, HBV Hepatitis B Virus, JEV Japanese Encephalitis Virus, EBV Epstein–Barr Virus, MAYV Mayaro Virus, RV Rhinovirus, CHIKV Chikungunya Virus, HPV Human Papilloma Virus, HSV Herpes Simplex Virus, ZIKV Zika Virus, CMV Cytomegalovirus, EV Enterovirus, SNEEDS Self-Nanoemulsifying Drug Delivery System, SMEDDS Self-Microemulsifying Drug Delivery System

V. SONUÇ

Bitkisel kaynakların biyoaktif içeriklerinin önemi yapılan birçok çalışmada yer almış ve hala çalışmalarında devam ettiği bir alandır. Antiviral medikal bitkiler insan sağlığını tehdit eden ciddi salgınlara sebebiyet veren birçok virüsle mücadelede, farklı etki mekanizmaları ile antiviral aktivite göstermektedir. Yapılan araştırmalarda bitki fitokimyasallarının viral enfeksiyonların gerek direkt tedavi sürecinde yer aldığı, gerekse destek tedavisinde rol aldıkları görülmüştür. Akıllı farmasötik nanoteknolojiler ile ilaçları hedeflenen hücre içi bölgelere taşıyabilecek ve spesifik moleküllere yanıt olarak ilaçları serbest bırakabilecek stratejiler, şimdiye kadar yapılan farklı araştırmalar da rapor edilmiştir. Fitokimyasalların antiviral etki gösterdikleri mekanizmalar hakkında yapılacak çok yönlü araştırmalar ile hem bitkiye özgü optimum koşullar belirlenebilecek hem de başarılı ve hedefe özgü ilaç uygulama sistemlerinin geliştirilmesine olanak sağlanacaktır. Bununla birlikte, bu fitokimyasalların gerçekten viral hastalıkların tedavisinde kullanılabilmesi için daha fazla detaylı araştırmaya ihtiyaç vardır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] R. Gasparini, D. Amicizia, P.L. Lai ve D. Panatto, "Clinical and socioeconomic impact of seasonal and pandemic influenza in adults and the elderly," *Human Vaccines and Immunotherapeutics*, c. 8, s. 1, ss. 21-28, 2012.
- [2] L. Nováková, J. Pavlík, L. Chrenková, O. Martinec ve L. Červený, "Current antiviral drugs and their analysis in biological materials–Part II: Antivirals against hepatitis and HIV viruses," *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, c. 147, ss. 378-399, 2018.
- [3] C.C. Lai, Y. H. Liu, C.Y. Wang, Y.H. Wang, S.C. Hsueh, M.Y. Yen, W.C. Ko ve P.R. Hsueh, "Asymptomatic carrier state, acute respiratory disease, and pneumonia due to severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARSCoV-2): Facts and myths," *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, c. 53, ss. 404-412, 2020.
- [4] J. Sun, W.T. He, L. Wang, A. Lai, X. Ji, X. Zhai, G. Li, M. A. Suchard, J. Tian, J. Zhou, M. Veit ve S. Su, "COVID-19: epidemiology, evolution, and cross-disciplinary perspectives," *Trends in Molecular Medicine*, c. 26, s. 5, ss. 483-495, 2020.
- [5] O. Sağdıç, S. Kayacan, E. Dertli ve M. Arıcı, "Gıda güvenliği açısından COVID-19 etmeni SARS-CoV-2'nin değerlendirilmesi ve korunma yöntemleri," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 18, ss. 927-933, 2020.
- [6] A.K. Dubey, T.J. Jaisankar ve D.M. Thappa, "Clinical and morphological characteristics of herpes zoster in south India," *Indian Journal of Dermatology*, c. 50 s. 4, ss. 203-213, 2005.
- [7] S. Ben-Shabat, L. Yarmolinsky, D. Porat ve A. Dahan, "Antiviral effect of phytochemicals from medicinal plants: Applications and drug delivery strategies" *Drug Delivery and Translational Research*, c. 10, ss. 354-367, 2019.
- [8] E. De Clercq ve G. Li, "Approved antiviral drugs over the past 50 years," *Clinical Microbiology Reviews*, c. 29 s. 3, ss. 695-747, 2016.
- [9] J. Johari, A. Kianmehr, M.R. Mustafa, S. Abubakar ve K. Zandi, "Antiviral activity of baicalein and quercetin against the Japanese encephalitis virüs" *International Journal of Molecular Sciences*, c. 13, s. 12, ss. 16785-16795, 2012.

- [10] A. Küçük ve Y. Yıldırım, "Antiviral İlaçlar," *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, c. 30, s. 1, ss. 100-108, 2019.
- [11] C.L. Lai, E. Gane, Y.F. Liaw, C.W. Hsu, S. Thongsawat, Y. Wang ve N.V. Naoumov, "Telbivudine versus lamivudine in patients with chronic hepatitis B," *New England Journal of Medicine*, c. 357 s. 25, ss. 2576-2588, 2007.
- [12] A. Kamali ve M. Holodniy, "Influenza treatment and prophylaxis with neuraminidase inhibitors: a review," *Infection and Drug Resistance*, c. 6, ss. 187-198, 2013.
- [13] A. Sancho-Ruiz, J. Sheldon ve V. Soriano, "Telbivudine: a new option for the treatment of chronic hepatitis B," *Expert Opinion on Biological Therapy*, c. 7, ss. 751-761, 2007.
- [14] M.M. Soltan ve A.K. Zaki, "Antiviral screening of forty-two Egyptian medicinal plants," *Journal of Ethnopharmacology*, c. 126 s. 1, ss. 102-107, 2009.
- [15] S. Brijesh, P. Daswani, P. Tetali, N. Antia ve T. Birdi, "Studies on the antidiarrhoeal activity of Aegle marmelos unripe fruit: Validating its traditional usage," *BMC Complementary and Alternative Medicine*, c. 9, s.1, ss. 47-59, 2009.
- [16] M. Gunjan, T.W. Naing, R.S. Saini, A. Ahmad, J.R. Naidu ve I. Kumar, "Marketing trends and future prospects of herbal medicine in the treatment of various disease". *World Journal of Pharmaceutical Research*, c. 4, ss. 132-155, 2015.
- [17] D. Biswas, S. Nandy, A. Mukherjee, D.K. Pandey ve A. Dey, "Moringa oleifera Lam. and derived phytochemicals as promising antiviral agents: A review," *South African Journal of Botany*, c. 129, ss. 272-282, 2020.
- [18] R. Naithani, L.C. Huma, L. E. Holland, D. Shukla, D.L. McCormick ve R.G. Mehta, "Moriarty, R.M. Antiviral activity of phytochemicals: a comprehensive review," *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, c. 8, s. 11, ss. 1106-1133, 2008.
- [19] K. Droebner, C. Ehrhardt, A. Poetter, S. Ludwig ve O. Planz, "CYSTUS052, a polyphenol-rich plant extract, exerts anti-influenza virus activity in mice" *Antiviral Research*, c. 76 s. 1, ss.1-10, 2007.
- [20] M.M. Alfajaro, H.J. Kim, J.G. Park, E.H. Ryu, J.Y. Kim, Y.J. Jeong ve H.J. Kwon, "Anti-rotaviral effects of Glycyrrhiza uralensis extract in piglets with rotavirus diarrhea," *Virology Journal*, c. 9, s. 1, ss. 310-315, 2012.
- [21] J.G. Choi, Y.H. Jin, H. Lee, T.W. Oh, N.H. Yim, W.K. Cho ve J.Y. Ma, "Protective effect of panax notoginseng root water extract against influenza A virus infection by enhancing antiviral interferon-mediated immune responses and natural killer cell activity," *Frontiers in Immunology*, c. 8, ss. 1542, 2017.
- [22] G. A. Romero-Pérez, M. Egashira, Y. Harada, T. Tsuruta, Y. Oda, F. Ueda ve R. Inoue, "Orally administered Salacia reticulata extract reduces H1N1 influenza clinical symptoms in murine lung tissues putatively due to enhanced natural killer cell activity," *Frontiers in Immunology*, c. 7, ss. 115-119, 2016.
- [23] G. Melikian, F. Mmiro, C. Ndugwa, R. Perry ve J. B. Jackson, "Garrett, E., Semba, R.D. Relation of vitamin A and carotenoid status to growth failure and mortality among Ugandan infants with human immunodeficiency virus," *Nutrition*, c. 17 s. 7-8, ss. 567-572, 2001.

- [24] Z. Zakay-Rones, E. Thom, T. Wollan ve J. Wadstein, "Randomized study of the efficacy and safety of oral elderberry extract in the treatment of influenza A and B virus infections," *Journal of International Medical Research*, c. 32 s. 2, ss.132-140, 2004.
- [25] Z. Zakay-Rones, N. Varsano, M. Zlotnik, O. Manor, L. Regev, M. Schlesinger ve M. Mumcuoglu, "Inhibition of several strains of influenza virus in vitro and reduction of symptoms by an elderberry extract (*Sambucus nigra L.*) during an outbreak of influenza B Panama," *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, c. 1, s. 4, ss. 361-369, 1995.
- [26] A.M. Morag, M. Mumcuoglu, T. Baybikov, M. Schelsinger ve Z. Zakay-Rones, "Inhibition of sensitive and acyclovir-resistant HSV-1 strains by an elderberry extract in vitro," *Z Phytother*, c. 25, ss. 97-98, 1997.
- [27] C. Fiore, M. Eisenhut, R. Krausse, E. Ragazzi, D. Pellati, D. Armanini ve J. Bielenberg, "Antiviral effects of *Glycyrrhiza species*," *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, c. 22, s. 2, ss. 141-148, 2008.
- [28] K. Rauš, S. Pleschka, P. Klein, R. Schoop ve P. Fisher, "Effect of an Echinacea-based hot drink versus oseltamivir in influenza treatment: a randomized, double-blind, double-dummy, multicenter, noninferiority clinical trial," *Current Therapeutic Research*, c. 77, ss. 66-72, 2015.
- [29] M.T. Moradi, M. Rafieian-Kopaei ve A. Karimi, "A review study on the effect of Iranian herbal medicines against in vitro replication of herpes simplex virüs," *Avicenna Journal of Phytomedicine*, c. 6, s. 5, ss. 506-512, 2016.
- [30] S.K. Lam ve T.B. Ng, "A protein with antiproliferative, antifungal and HIV-1 reverse transcriptase inhibitory activities from caper (*Capparis spinosa*) seeds," *Phytomedicine*, c. 16, s. 5, ss. 444-450, 2009.
- [31] M.J. Abad, J.A. Guerra, P. Bermejo, A. Irurzun ve L. Carrasco, "Search for antiviral activity in higher plant extracts" *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, c. 14 s. 8, ss. 604-607, 2000.
- [32] L. Yarmolinsky, M. Huleihel, M. Zaccai ve S. Ben-Shabat, "Potent antiviral flavone glycosides from *Ficus benjamina* leaves," *Fitoterapia*, c. 83 s. 2, ss. 362-367, 2012.
- [33] G. Wang, H. Wang, Y. Song, C. Jia, Z. Wang ve H. Xu, "Studies on anti-HSV effect of *Ficus carica* leaves" *Journal of Chinese Medicinal Materials*, c. 27 s. 10, ss. 754-756, 2004.
- [34] A. Astani, J. Reichling ve P. Schnitzler, "*Melissa officinalis* extract inhibits attachment of herpes simplex virus in vitro," *Chemotherapy*, c. 58, s. 1, ss. 70-77, 2012.
- [35] M. Parsania, M.B. Rezaee, S.H. Monavari, K. Jaimand, S.M. Mousavi-Jazayeri, M. Razazian ve M.H. Nadjarha, "Antiviral screening of four plant extracts against acyclovir resistant herpes simplex virus type-1," *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, c. 30, s. 4, ss. 1407-1411, 2017.
- [36] A. Karimi, M. Rafieian-Kopaei, M.T. Moradi ve S. Alidadi, "Anti-Herpes Simplex Virus Type-1 Activity and Phenolic Content of Crude Ethanol Extract and Four Corresponding Fractions of *Quercus brantii L* Acorn," *Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, c. 22, s. 3, ss. 455-461, 2017.

- [37] A.M. Arabzadeh, M. Ansari-Dogaheh, F. Sharififar, M. Shakibaie ve M. Heidarbeigi, "Anti herpes simplex-1 activity of a standard extract of *Zataria multiflora* Boiss.," *Pakistan Journal of Biological Sciences*, c. 16, s. 4, ss. 180-184, 2013.
- [38] H. Nakane ve K. Ono, "Differential inhibitory effects of some catechin derivatives on the activities of human immunodeficiency virus reverse transcriptase and cellular deoxyribonucleic and ribonucleic acid polymerases" *Biochemistry*, c. 29, s. 11, ss. 2841-2845, 1990.
- [39] M. Karamese, S. Aydogdu, S. A. Karamese, U. Altoparlak ve C. Gundogdu, "Preventive effects of a major component of green tea, epigallocatechin-3-gallate, on hepatitis-B virus DNA replication" *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, c. 16, ss. 4199-4202, 2015.
- [40] J.J. Lv, S. Yu, Y.F. Wang, D. Wang, H.T. Zhu, R.R. Cheng ve Y.J. Zhang, "Anti-hepatitis B virus norbisabolane sesquiterpenoids from *Phyllanthus acidus* and the establishment of their absolute configurations using theoretical calculations," *The Journal of Organic Chemistry*, c. 79, s. 12, ss. 5432-5447, 2014.
- [41] O. Callies, L. M. Bedoya, M. Beltrán, A. Muñoz, P. O. Calderón, A. A. Osorio ve I.L. Bazzocchi, "Isolation, structural modification, and HIV inhibition of pentacyclic lupane-type triterpenoids from *Cassine xylocarpa* and *Maytenus cuzcoina*," *Journal of Natural Products*, c. 78, s. 5, ss. 1045-1055, 2015.
- [42] S. Rebensburg, M. Helfer, M. Schneider, H. Koppensteiner, J. Eberle, M. Schindler ve R. Brack-Werner, "Potent in vitro antiviral activity of *Cistus incanus* extract against HIV and Filoviruses targets viral envelope proteins," *Scientific Reports*, c. 6, ss. 20394, 2016.
- [43] A. Gyuris, L. Szlavik, J. Minarovits, A. Vasas, J. Molnar ve J. Hohmann, "Antiviral activities of extracts of *Euphorbia hirta* L. against HIV-1, HIV-2 and SIVmac251," *in Vivo*, c. 23, s. 3, ss. 429-432, 2009.
- [44] L. Szlavik, Á. Gyuris, J. Minárovits, P. Forgo, J. Molnár ve J. Hohmann, "Alkaloids from *Leucojum vernum* and antiretroviral activity of Amaryllidaceae alkaloids," *Planta Medica*, c. 70, s. 9, ss. 871-873, 2004.
- [45] C. Oh, J. Price, M.A. Brindley, M. P. Widrechner, L. Qu, J.A. McCoy ve W. Maury, "Inhibition of HIV-1 infection by aqueous extracts of *Prunella vulgaris* L." *Virology Journal*, c. 8, s. 1, ss. 188-198, 2011.
- [46] M.S. Farsani, M. Behbahani ve H.Z. Isfahani, "The effect of root, shoot and seed extracts of the Iranian *Thymus* L.(family: *Lamiaceae*) species on HIV-1 replication and CD4 expression" *Cell Journal (Yakhteh)*, c. 18, s. 2, ss. 255-261, 2016.
- [47] L.M. Bedoya, M.J. Abad, S. Sánchez-Palomino, J. Alcami ve P. Bermejo, "Ellagitannins from *Tuberaria lignosa* as entry inhibitors of HIV," *Phytomedicine*, c. 17, s. 1, ss. 69-74, 2010.
- [48] A.H.A. Najjari, Z. Rajabi, M.V. Marandi ve G. Dehghan, "The effect of the hexanic extracts of fig (*Ficus carica*) and olive (*Olea europaea*) fruit and nanoparticles of selenium on the immunogenicity of the inactivated avian influenza virus subtype H9N2," *In Veterinary Research Forum*, c. 6, s. 3, ss. 227-231, 2015.
- [49] T. Javed, U.A. Ashfaq, S. Riaz, S. Rehman ve S. Riazuddin, "In-vitro antiviral activity of *Solanum nigrum* against Hepatitis C Virus" *Virology Journal*, c. 8 s. 1, ss. 26-32, 2011.

- [50] S. Rehman, B. Ijaz, N. Fatima, S. A. Muhammad ve S. Riazuddin, "Therapeutic potential of *Taraxacum officinale* against HCV NS5B polymerase: *In-vitro* and *In silico* study," *Biomedicine and Pharmacotherapy*, c. 83, ss. 881-891, 2016.
- [51] D. Angamuthu, I. Purushothaman, S. Kothandan ve R. Swaminathan, "Antiviral study on *Punica granatum L.*, *Momordica charantia L.*, *Andrographis paniculata* Nees, and *Melia azedarach L.*, to Human Herpes Virus-3," *European Journal of Integrative Medicine*, c. 28, ss. 98-108, 2019.
- [52] F. Visioli, C. Galli, E. Plasmati, S. Viappiani, A. Hernandez, C. Colombo ve A. Sala, "Olive phenol hydroxytyrosol prevents passive smoking-induced oxidative stress," *Circulation*, c. 102 s. 18, ss. 2169-2171, 2000.
- [53] A.F. Fidan, ve Y. Dündar, "*Yucca schidigera* ve içerdiği saponinler ile fenolik bileşiklerinin, hipokolesterolemik ve antioksidan etkileri," *Lalahan Enstitü Dergisi*, c. 47 s. 2, ss. 31-39, 2007.
- [54] Y. Yuan, J.M. Tian, J. Xiao, Q. Shao ve J.M. Gao, "Bioactive metabolites isolated from *Penicillium sp.* YY-20, the endophytic fungus from *Ginkgo biloba*." *Natural Product Research*, c. 28, s. 4, ss. 278-281, 2014.
- [55] J. Guo, E.X. Shang, J.A. Duan, Y. Tang ve D. Qian, "Determination of ligustilide in the brains of freely moving rats using microdialysis coupled with ultra performance liquid chromatography/mass spectrometry," *Fitoterapia*, c. 82, s. 3, ss. 441-445, 2011.
- [56] D.D. Orhan, B. Özçelik, S. Özgen ve F. Ergun, "Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of some flavonoids," *Microbiological Research*, c. 165, s. 6, ss. 496-504, 2010.
- [57] S. Park, J.I. Kim, I. Lee, S. Lee, M.W. Hwang, J.Y. Bae ve M.S. Park, "*Aronia melanocarpa* and its components demonstrate antiviral activity against influenza viruses," *Biochemical and Biophysical Research Communications*, cc. 440, s. 1, ss. 14-19, 2013.
- [58] W. Zhang, H. Qiao, Y. Lv, J. Wang, X. Chen, Y. Hou ve E. Li, "Apigenin inhibits enterovirus-71 infection by disrupting viral RNA association with trans-acting factors," *PloS One*, c. 9, s. 10, ss. 1-9, 2014.
- [59] S. Qian, W. Fan, P. Qian, D. Zhang, Y. Wei, H. Chen ve X. Li, "Apigenin restricts FMDV infection and inhibits viral IRES driven translational activity," *Viruses*, c. 7, s. 4, ss. 1613-1626, 2015.
- [60] C. Shibata, M. Ohno, M. Otsuka, T. Kishikawa, K. Goto, R. Muroyama ve K. Koike, "The flavonoid apigenin inhibits hepatitis C virus replication by decreasing mature microRNA122 levels," *Virology*, c. 462, ss. 42-48, 2014.
- [61] A. Hakobyan, E. Arabyan, A. Avetisyan, L. Abroyan, L. Hakobyan ve H. Zakaryan, "Apigenin inhibits African swine fever virus infection in vitro," *Archives of Virology*, c. 161 s. 12, ss. 3445-3453, 2016.
- [62] P. Sithisarn, M. Michaelis, M. Schubert-Zsilavec ve J. Cinatl Jr, "Differential antiviral and anti-inflammatory mechanisms of the flavonoids biochanin A and baicalein in H5N1 influenza A virus-infected cells," *Antiviral Research*, c. 97, s. 1, ss. 41-48, 2013.
- [63] W. Wu, R. Li, X. Li, J. He, S. Jiang, S. Liu ve J. Yang, "Quercetin as an antiviral agent inhibits influenza A virus (IAV) entry," *Viruses*, c. 8, s. 1, ss. 6-24, 2016.

- [64] S. Ganesan, A.N. Faris, A.T. Comstock, Q. Wang, S. Nanua, M.B. Hershenson ve U.S. Sajjan, "Quercetin inhibits rhinovirus replication *in vitro* and *in vivo*" *Antiviral research*, c. 94, s. 3, ss. 258-271, 2012.
- [65] K. Zandi, B.T. Teoh, S.S. Sam, P.F. Wong, M.R. Mustafa ve S. AbuBakar, "Antiviral activity of four types of bioflavonoid against dengue virus type-2," *Virology Journal*, c. 8, s. 1, ss. 560-571, 2011.
- [66] L.C. Chiang, W. Chiang, M.C. Liu ve C.C. Lin, "*In vitro* antiviral activities of *Caesalpinia pulcherrima* and its related flavonoids," *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, c. 52, s. 2, ss. 194-198, 2003.
- [67] N. Neznanov, A. Kondratova, K.M. Chumakov, L. Neznanova, R. Kondratov, A.K. Banerjee ve A. V. Gudkov, "Quercetinase pirin makes poliovirus replication resistant to flavonoid quercetin," *DNA and Cell Biology*, c. 27, s. 4, ss. 191-198, 2008.
- [68] M. Lee, M. Son, E. Ryu, Y.S. Shin, J.G. Kim, B.W. Kang ve H. Kang, "Quercetin-induced apoptosis prevents EBV infection," *Oncotarget*, c. 6, s. 14, ss. 12603- 12624, 2015.
- [69] Y.L. Li, K.M. Li, M.X. Su, K.T. Leung, Y.W. Chen ve Y.W. Zhang, "Studies on antiviral constituents in stems and leaves of *Pithecellobium clypearia*," *China Journal of Chinese Materia Medica*, c. 31, s. 5, ss. 397-400, 2006.
- [70] L. Bachmetov, M. Gal-Tanamy, A. Shapira, M. Vorobeychik, T., Giterman-Galam, P. Sathiyamoorthy ve R. Zemel, "Suppression of hepatitis C virus by the flavonoid quercetin is mediated by inhibition of NS3 protease activity," *Journal of Viral Hepatitis*, c. 19, s. 2, ss. 81-88, 2012.
- [71] O. Gonzalez, V. Fontanes, S. Raychaudhuri, R. Loo, J. Loo, V. Arumugaswami ve S.W. French, "The heat shock protein inhibitor Quercetin attenuates hepatitis C virus production," *Hepatology*, c. 50, s. 6, ss. 1756-1764, 2009.
- [72] B.Q. Li, T. Fu, Y. Dongyan, J.A. Mikovits, F.W. Ruscetti ve J.M. Wang, "Flavonoid baicalin inhibits HIV-1 infection at the level of viral entry," *Biochemical and Biophysical Research Communications*, c. 276, s. 2, ss. 534-538, 2000.
- [73] E. Moghaddam, B.T. Teoh, S.S. Sam, R. Lani, P. Hassandarvish, Z. Chik ve K. Zandi, "Baicalin, a metabolite of baicalein with antiviral activity against dengue virus," *Scientific Reports*, c. 4, ss. 5452-5460, 2014.
- [74] H. Shi, K. Ren, B. Lv, W. Zhang, Y. Zhao, R.X. Tan ve E. Li, "Baicalin from *Scutellaria baicalensis* blocks respiratory syncytial virus (RSV) infection and reduces inflammatory cell infiltration and lung injury in mice," *Scientific Reports*, c. 6, ss. 35851-35863, 2016.
- [75] Y. Jia, R. Xu, Y. Hu, T. Zhu, T. Ma, H. Wu ve L. Hu, "Anti-NDV activity of baicalin from a traditional Chinese medicine *in vitro*," *Journal of Veterinary Medical Science*, c. 15, ss. 572-593, 2016.
- [76] H. Huang, W. Zhou, H. Zhu, P. Zhou ve X. Shi, "Baicalin benefits the anti-HBV therapy via inhibiting HBV viral RNAs," *Toxicology and Applied Pharmacology*, c. 323, ss. 36-43, 2017.
- [77] D.L. Evers, C.F. Chao, X. Wang, Z. Zhang, S. M. Huong ve E.S. Huang, "Human cytomegalovirus-inhibitory flavonoids: studies on antiviral activity and mechanism of action," *Antiviral Research*, c. 68, s. 3, ss. 124-134, 2005.

- [78] B.S. Konigheim, M.E. Goleniowski ve M.S. Contigiani, "Cytotoxicity and antiviral activity of a lignan extracted from *Larrea divaricata*," *Drug Design Reviews-Online*, c. 2, s. 1, ss. 81-83, 2005.
- [79] T. Demir, Ö. Akpınar, H. Kara ve H. Güngör, "Nar (*Punica granatum L.*) kabuğunun *in vitro* antidiyabetik, antienflamatuar, sitotoksik, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi," *Academic Food Journal*, c. 17, s. 1, ss. 61-71, 2019.
- [80] T. Demir, Ö. Akpınar, H. Kara ve H. Güngör, "Nar kabuğundan antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteye sahip fenolik bileşiklerin ekstraksiyon koşullarının optimizasyonu," *Gıda*, c. 44, s. 2, ss. 369-382, 2019.
- [81] M. Huleihel, V. Ishanu, J. Tal ve S.M. Arad, "Antiviral effect of red microalgal polysaccharides on Herpes simplex and Varicella zoster viruses," *Journal of Applied Phycology*, c. 13, s. 2, ss. 127-134, 2001.
- [82] C.C. Wen, Y.H. Kuo, J.T. Jan, P.H. Liang, S.Y. Wang, H.G. Liu ve C.C. Hou, "Specific plant terpenoids and lignoids possess potent antiviral activities against severe acute respiratory syndrome coronavirus," *Journal of Medicinal Chemistry*, c. 50, s. 17, ss. 4087-4095, 2007.
- [83] J.M.R. Bettega, H. Teixeira, V.L. Bassani, C.R.M. Barardi ve C.M.O. Simões, "Evaluation of the antiherpetic activity of standardized extracts of *Achyrocline satureioides*," *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, c. 18, s. 10, ss. 819-823, 2004.
- [84] L. Kong, S. Li, Q. Liao, Y. Zhang, R. Sun, X. Zhu ve Y. Zhu, "Oleanolic acid and ursolic acid: novel hepatitis C virus antivirals that inhibit NS5B activity," *Antiviral Research*, c. 98, s. 1, ss. 44-53, 2013.
- [85] C H. Zhao, J. Xu, Y.Q. Zhang, L.X. Zhao ve B. Feng, "Inhibition of human enterovirus 71 replication by pentacyclic triterpenes and their novel synthetic derivatives," *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, c. 62, s. 8, ss. 764-771, 2014.
- [86] P. Josling, "Preventing the common cold with a garlic supplement: a double-blind, placebo-controlled survey," *Advances in Therapy*, c. 18, s. 4, ss. 189-193, 2001.
- [87] R.H. Wölbling ve K. Leonhardt, "Local therapy of herpes simplex with dried extract from *Melissa officinalis*," *Phytomedicine*, c. 1, s. 1, ss. 25-31, 1994.
- [88] P.J. Houghton, T.Z. Woldemariam, A.I. Khan, A. Burke ve N. Mahmood, "Antiviral activity of natural and semi-synthetic chromone alkaloids" *Antiviral Research*, c. 25, s. 3, ss. 235-244, 1994.
- [89] B.S. Konigheim, M.E. Goleniowski ve M.S. Contigiani, "Cytotoxicity and antiviral activity of a lignan extracted from *Larrea divaricata*," *Drug Design Reviews-Online*, c. 2, s. 1, ss. 81-83, 2005.
- [90] X. Li, Y. Liu, T. Wu, Y. Jin, J. Cheng, C. Wan ve W. Shi, "The antiviral effect of baicalin on enterovirus 71 *in vitro*," *Viruses*, c. 7, s. 8, ss. 4756-4771, 2015.
- [91] J.L. Castrillo ve L.U.I.S. Carrasco, "Action of 3-methylquercetin on poliovirus RNA replication," *Journal of Virology*, c. 61, s. 10, ss. 3319-3321, 1987.
- [92] J.B. McMahan, M.J. Currens, R.J. Gulakowski, R.W. Buckheit, C. Lackman-Smith, Y. F. Hallock ve M.R. Boyd, "Michellamine B, a novel plant alkaloid, inhibits human immunodeficiency virus-

induced cell killing by at least two distinct mechanisms” *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, c. 39, s. 2, ss. 484-488, 1995.

[93] J. Renard-Nozaki, T. Kim, Y. Imakura, M. Kihara ve S. Kobayashi, “Effect of alkaloids isolated from *Amaryllidaceae* on herpes simplex virüs,” *Research in Virology*, c. 140, ss. 115-128, 1989.

[94] I. Dikici, I. Mehmetoglu, N. Dikici, M. Bitirgen ve S. Kurban, “Investigation of oxidative stress and some antioxidants in patients with acute and chronic viral hepatitis B and the effect of interferon- α treatment,” *Clinical Biochemistry*, c. 38, s. 12, ss. 1141-1144, 2005.

[95] J. Olivero-Verbel ve L. Pacheco-Londoño, “Structure-activity relationships for the anti-HIV activity of flavonoids,” *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, c. 42, s. 5, ss. 1241-1246, 2002.

[96] H. Fortin, S. Tomasi, P. Jaccard, V. Robin ve J. Boustie, “A Prenyloxycoumarin from *Psiadia dentata*,” *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, c. 49, s. 5, ss. 619-621, 2001.

[97] M. Wink, “Potential of DNA Intercalating Alkaloids and Other Plant Secondary Metabolites against SARS-CoV-2 Causing COVID-19,” *Diversity*, c. 12, s. 5, ss. 175-185, 2020.

[98] S.Y. Lyu, J.Y. Rhim ve W.B. Park, “Antiherpetic activities of flavonoids against herpes simplex virus type 1 (HSV-1) and type 2 (HSV-2) *in vitro*,” *Archives of Pharmacal Research*, c. 28, s. 11, ss. 1293-1301, 2005.

[99] R. Naithani, R.G. Mehta, D. Shukla, S.N. Chanderekera ve R.M. Moriarty, “Antiviral activity of phytochemicals: a current perspective. In Dietary Components and Immune Function,” Humana Press, Totowa, NJ, pp. 421-468, 2010.

[100] B.K. Kim, A.R. Cho ve D.J. Park, “Enhancing oral bioavailability using preparations of apigenin-loaded W/O/W emulsions: *In vitro* and *in vivo* evaluations,” *Food Chemistry*, c. 206, ss. 85-91, 2016.

[101] A. Seyfoddin ve R. Al-Kassas, “Development of solid lipid nanoparticles and nanostructured lipid carriers for improving ocular delivery of acyclovir” *Drug Development and Industrial Pharmacy*, c. 39, s. 4, ss. 508-519, 2013.

[102] A. Gürbüz, S. Güngör ve M.S. Erdal, “Deriye ilaç uygulanması için transetozomların formülasyonu ve *in vitro* karakterizasyonu,” *Sağlık Bilimlerinde İleri Araştırmalar Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 51-59, 2019.

[103] R.N. Gürsoy ve Ö. Çevik, “Kendiliğinden emülsifiye olabilen ilaç taşıyıcı sistemler ve farmasötik alanda uygulamaları,” *Hacettepe Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi*, c. 2, ss. 151-170, 2011.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bazı K ve Ca Bileşikleri İçin Kütle Zayıflatma Katsayısı, Toplam Elektronik Tesir Kesiti, Toplam Atomik Tesir Kesiti, Etkin Atom Numarası, Etkin Elektron Yoğunluğu ve Kerma Ölçümü

 Saniye TEKEREK

^a Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Türkiye, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: saniyetekerek@ksu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.867478

ÖZ

Bu makalede bazı K ve Ca bileşiklerinin deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayısı geçirgenlik yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanan kütle zayıflatma katsayısı verileri kullanılarak toplam elektronik tesir kesiti, atomik tesir kesiti, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve Kerma parametreleri elde edildi. Bu radyasyon zayıflatma parametreleri dar ışın deney geometrisi kullanarak elde edildi. Bu çalışmada ölçümler Am-241 kaynağından 59.543 keV'de yüksek çözünürlüklü bir Si (Li) detektörü kullanılarak yapılmıştır. Teorik kütle zayıflatma katsayısı WinXCOM data programı ile hesaplanmıştır. Mevcut çalışma, seçilen bileşiklerin gama zayıflatma özelliklerini içermektedir. Gama zayıflatma parametreleri, seçilen tüm bileşikler için ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kütle zayıflatma Katsayısı, Etkin atom numarası, Elektron yoğunluğu, Kerma

Measurement of Mass Attenuation Coefficient, Total Electronic Cross-section, Total Atomic Cross-section, Effective Atomic Numbers, Effective Electron Densities and Kerma for Some K and Ca Compounds

ABSTRACT

In this manuscript is calculated the experimental and theoretical mass attenuation coefficient some K and Ca compounds by using transmission method. Also the total electronic cross section, atomic cross section, effective atomic number, effective electron density and Kerma parameters were obtained using the calculated mass attenuation coefficient data. These radiation attenuation parameters were obtained using the values calculated attenuation with the narrow beam experimental geometry. In this study, measurements were made using a high resolution Si (Li) detector at 59,543 keV from the Am-241 source. The theoretical mass attenuation coefficient were calculated from the WinXCOM data programme. The current study involves the gamma attenuation properties of selected compounds. The gamma attenuation parameters are studied in detail for all selected compounds.

Keywords: Mass attenuationco efficient, Effective atomic number, Electron density, Kerma

I. GİRİŞ

Nükleer teknolojideki gelişmeler sonucunda çekirdek kaynaklı veya çekirdek kaynaklı olmayan radyasyonların kullanımları geniş bir alana yayılmıştır. Nükleer enerjinin çeşitli alanlarda reaktörlerde, hastanelerin radyasyon onkolojisi ve radyoloji bölümlerinde, nükleer savaş tehlikesine karşı sığınaklarda, radyoaktif atıkların saklanması, radyasyon ve radyasyondan korunma olayları oldukça önem kazanmıştır. Radyoaktif ışınlar ve parçacıklar dokuya zarar verir ve kanserojen etki gösterirler. Radyasyona maruz kalan ve radyasyonlu ortamda çalışan personelin korunması amacıyla çeşitli korunma yöntemleri kullanılmaktadır. Radyasyon zırlama radyoloji, onkoloji, nükleer görüntüleme, nükleer santraller gibi birçok alanda kullanılan korunma yöntemlerinden biridir.

Onkoloji, koruyucu tıp, gama ışını floresans çalışmaları ve tomografi uygulamalarından dolayı kütle zayıflatma katsayıları, toplam atomik ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluklarının teorik sonuçlarının yanı sıra deneysel değerlerinin tespit edilmesi kritik öneme sahiptir. Etkin atom numarası ve elektron yoğunluğu gibi foton etkileşim parametrelerinin doğru değerleri, medikal fizikte düzeltme değeri olarak ve hedef materyalle foton etkileşimi hakkında kesin bilgi vermek için gereklidir [1]. Bilgisayarlı tomografi (CT) tarayıcılarda yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmek için etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunlukları bilgisi gereklidir [2]. Son yıllarda radyoterapi uygulamalarında ve medikal görüntülemede elektron yoğunluğunun kullanımı ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır [3,4].

Yüksek enerjili fotonun soğurulması olayı etkileşime girilen malzemenin yoğunluk ve atomik özellikleri ile ilgilidir. Gama ışını koruma etkisi, malzemelerin fiziksel özellikleri, kütle zayıflatma katsayıları, atomik ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom ve elektron yoğunluklarının bilinmesiyle mümkün olmaktadır [5].

Radyasyon maddeyle etkileşime girdiğinde malzemede bazı değişikliklere sebep olabilir. Etkileşim sonucunda malzemenin özelliğine göre radyasyonun enerjisinde azalma söz konusu olabilmektedir. Zırlama olayında alternatif maddelerin incelenmesi gerekmektedir. Radyasyon zırlama maddesi olarak kullanılan farklı madde ve bileşiklerin kütle zayıflatma katsayılarının hesaplanması bu malzemelerin radyasyona karşı koruyucu zırh olup olamayacağı hakkında ön bilgi vermektedir. Malzemelerin birbiri ile karşılaştırılması için kütle zayıflatma katsayısı bilgisinin kullanılması uygun bulunmaktadır [6].

Teknolojik ve tıbbi uygulamalarda kimyasal element ve bileşik malzemelerin radyasyon tepkisini karakterize etmek için etkin atom numarası parametresinin bilinmesi gerekmektedir. Radyoterapi ve dozimetri için soğurulan doz ile birlikte tıbbi görüntülemede gelen radyasyon şiddetinin azalması dikkate alınmaktadır. Bileşik gibi çoklu element yapıdaki malzemelerin kütle zayıflatma katsayısı, etkin atom numarası gibi atomik büyüklüğün ölçümü, uzay fiziğinde, astronomide, nükleer fizikte, nükleer silah yapımında, jeolojide, plazma fiziğinde, uydu yapımında ve pek çok diğer radyasyon uygulamalarında önemlidir. Kütle zayıflatma katsayısının hesaplanması materyal kalınlığını belirlemek içinde kullanılan bir yöntemdir [5].

Hedef canlıya verilecek tedavi edici radyasyon dozunun hesaplanmasında, ortam içinde ilerlemesinin tanımlanmasında kütle zayıflatma katsayısı en önemli parametrelerden biridir. Literatürde bu parametrenin belirlenmesi için çok sayıda çalışma yapılmıştır [7-10]. Bazı organik ve inorganik maddelerin, canlı dokuların, alaşımların, polimerlerin, camların, çeşitli bileşiklerin radyasyon zayıflatma özellikleri kütle zayıflatma katsayıları, etkin atom ve elektron numaraları deneysel ve teorik olarak hesaplanmıştır [13-23]. keV düzeyindeki fotonlar radyasyon biyolojisinde, tıbbi teşhis ve tedavide kullanıldıkları için araştırılması gerekli görülen bir enerji değeridir [11]. Etkin atom numarası (Z_{eff}) ilgilenilen enerji için bir element yerine bir kompozit malzeme seçilerek alternatif malzeme kullanımı için olanak sağlamaktadır [12].

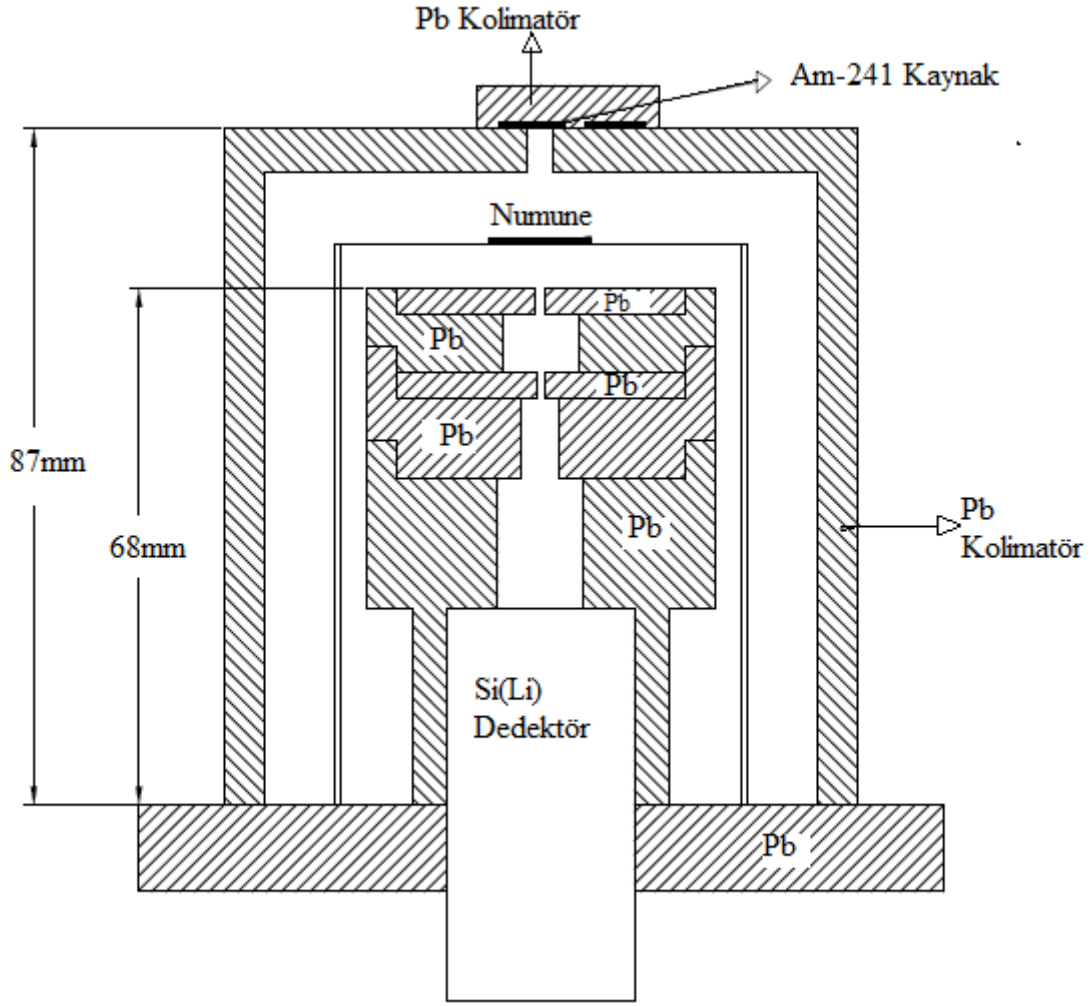
Bu çalışmada çeşitli açılardan önemli olan bazı bileşiklerin toplam atomik tesir kesiti, toplam moleküler tesir kesiti, elektronik tesir kesiti, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve Kerma değerleri 59,543 keV enerji de deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan çoklu element maddeleri K ve Ca elementlerinin bazı bileşiklerinden oluşmaktadır.

II. MATERYEL VE METOD

Organizmanın normal fizyolojik fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli olan K ve Ca elementleri esansiyel elementler olarak adlandırılırlar. Esansiyel elementler olmadan organizma yaşam döngüsünü tamamlayamaz veya normal gelişimini gerçekleştiremez [24]. K ve Ca esansiyel elementleri oksijen taşınması, hormonal aktivitelerin düzenlenmesi, serbest radikallerin etkisiz hale getirilmesi gibi birçok önemli biyolojik fonksiyonun gerçekleştirilmesinde rol oynamaktadır [25]. Alkali metal olan K, toprak alkali metal olan Ca elementlerinin bazı bileşiklerinin etkin atom numaraları, gama ışını geçirgenlik spektrumlarının değerlendirilmesine dayalı olan bir metotla belirlenmiştir. Lineer zayıflatma katsayısı, kütle zayıflatma katsayısı, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve Kerma değerleri hesap edilirken bu yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları farklı bileşiklerin atom ve elektron sayılarının, kütle zayıflatma katsayılarının molekül yapısına ve molekül ağırlığına göre nasıl değiştiğinin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada örneklerin radyasyon zayıflatma özelliklerinin incelenmesi için Am-241 radyoizotop halka kaynağı kullanılmıştır. 200 mesh'lik elekten elenen örnekler Myler filme homojen bir şekilde dağıtılıp ve Am-241 kaynaktan yayımlanan gama fotonun ne kadarını soğurduğunu tespit edebilmek için geçirgenlik deneyi yapılmıştır.

Bu makale çalışmasında kütle zayıflatma katsayıları ve etkin atom numarasının belirlenmesi için radyasyon zayıflatma ve geçirgenlik deney geometrisi kurulmuştur. Kütle zayıflatma katsayılarını ölçmek için kullanılan geçirgenlik deney geometrisi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Örnekte geçen ışınların dedektör tarafından net sayılabilmesi için uygun deney geometrisinin belirlenmesi çok önemlidir. Net şiddette sayım elde edilmesini sağlamak için uyarıcı-malzeme, malzeme-sayaç arası uzaklıklar en iyi şekilde ayarlanmıştır. Kaynaktan gelen ışınlar uygun bir kolimatör kullanılarak paralel bir demet halinde dedektör penceresine düşecek şekilde kolime edilmiştir. 3 kısımdan oluşan Pb kolimatör uzunluğu 68 mm'dir. Radyoaktif kaynaktan yayımlanan radyasyondan korunmak için radyoaktif kaynak 4 cm kalınlıkta 87 mm uzunluğa sahip kurşun koruyucuya yerleştirilmiştir. Kurşun koruyucuya sabitlenmiş olan radyoaktif kaynak ve koruyucu kolimatör zırh dedektörü çevreleyecek genişliktedir.



Şekil 1. Geçirgenlik deney geometrisinin şematik gösterimi

İncelenen bileşikler enerjisi 59,543 keV olan Am-241 kaynak kullanılarak ölçümler alınmıştır. Bileşiğe gelen foton şiddeti (I) ve bileşikten geçen foton şiddeti (I_0) bileşiğin absorbladığı foton şiddetinin hesaplanması için gerekli olan deneysel verilerdir. Malzemeden geçen ışınların şiddetinin sayılması için ayırma gücü 5,9 keV'de 155eV olan Si(Li) yarı iletken katihal dedektörü kullanılmıştır.

A. GEÇİRGENLİK METODU İLE ETKİN ATOM NUMARASI VE ELEKTRON YOĞUNLUĞUNUN BULUNMASI

Geçirgenlik olayı foton enerjisine bağlı olarak gama ışınlarının madde ile etkileşmesi sonucunda maddedeki elementlere bağlı olarak etkin atom numarasını değişime uğratar [26]. Toplam kütle zayıflatma katsayısı Denklem (1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{\pi r^2}{m} \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (1)$$

Denklem (1)'de yer alan, (I_0) kaynaktan gelen foton şiddeti, (I) bileşikten geçen foton şiddeti, ρ bileşik yoğunluğu, m kütle (g) ve r yarıçap (cm) dir.

Bileşikler için karışım kuralını kullanarak kütle zayıflatma katsayıları hesaplanır. Denklem (2) kullanılarak toplam atomik tesir kesiti (σ_{ta}) hesaplanmıştır [27].

$$\sigma_{ta} = \frac{1}{N_A \sum n_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_c \sum_i n_i A_i \quad (2)$$

$\sum_i n_i A_i$ molekül ağırlığı, A_i atom ağırlığı, n_i bileşiği oluşturan atomlarının sayısını, N_A Avogadro sayısıdır. Formül (2)'de σ_{ta} toplam atomik tesir kesiti, n_i bileşikteki toplam atom sayısıdır.

Bileşiğe ait toplam atomik tesir kesiti ve kütle zayıflatma katsayısı değerleri ile elektronik tesir kesiti belirlenmiştir. Toplam elektronik tesir kesiti (σ_{te}) Formül (3) kullanılarak hesaplanmıştır [27].

$$\sigma_{te} = \frac{1}{N_A} \sum_i f_i \frac{A_i}{Z_i} \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_i; \quad f_i = \left(\frac{n_i}{\sum_i n_i} \right) \quad (3)$$

A_i bileşiği oluşturan i elementin atom ağırlığı, Z_i i elementinin atom numarası, f_i i elementine ait bolluk kesridir. n_i , i elementinin atom sayısı, $\sum_i n_i$ toplam atom sayısıdır.

Toplam atomik tesir kesiti ve elektronik tesir kesitlerinin birbirine oranı etkin atom numarasıdır. Formül (4) kullanılarak etkin atom numarası (Z_{eff}) hesap edilmiştir [28].

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_{ta}}{\sigma_{te}} \quad (4)$$

Etkin elektron yoğunluğu (N_{eff}) Formül (5) kullanılarak hesaplanmıştır [29].

$$N_{eff} = \frac{N_A n_{tot} Z_{eff}}{\sum_i n_i A_i} \quad (5)$$

Formül (5)'de $\sum_i n_i A_i$ molekül ağırlığı, n_{tot} toplam atom sayısı, N_A Avogadro sayısı, Z_{eff} etkin atom numarasıdır.

Hava ortamında Kerma değeri Formül (6) kullanılarak hesaplanmıştır [30].

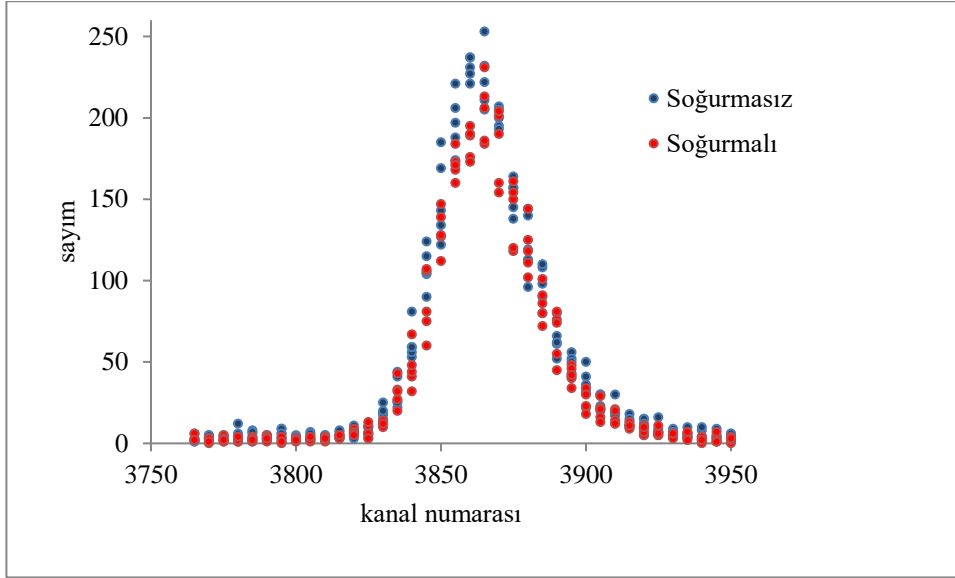
$$Kerma = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{bil.}}{\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{hava}} \quad (6)$$

$\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{bil.}$ bileşik kütle zayıflatma katsayısı, $\left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{hava}$ hava kütle zayıflatma katsayısıdır.

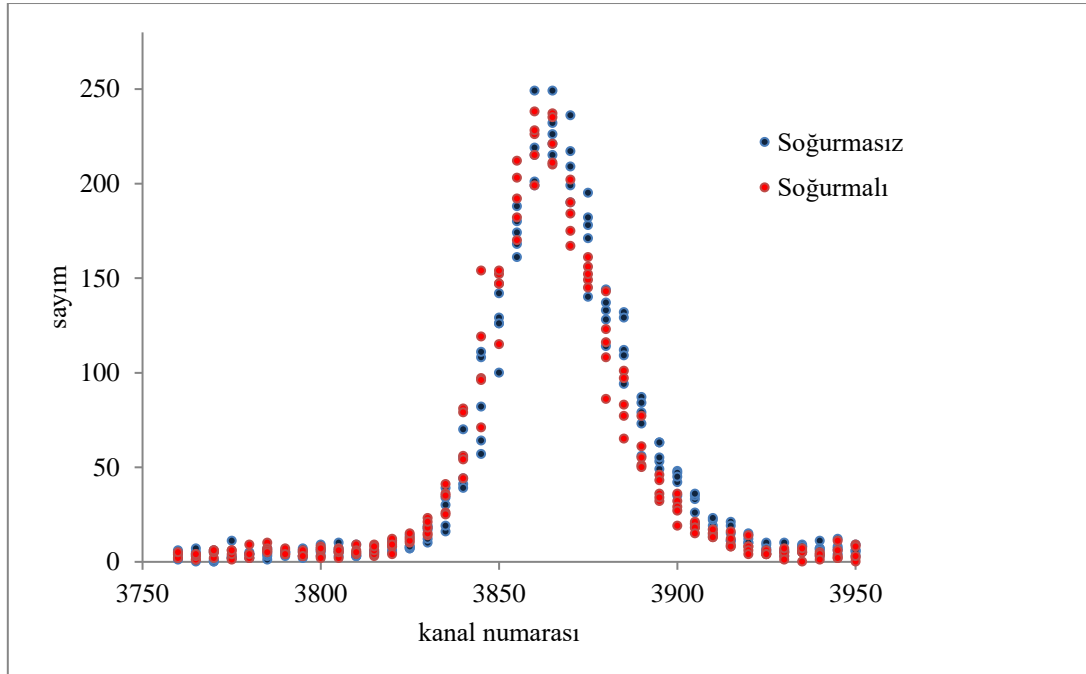
III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada K ve Ca elementlerine ait bazı bileşikler için 59,543 keV enerjide kütle zayıflatma katsayıları deneysel yöntemlerle ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Bileşiklerin kütle zayıflatma katsayılarının belirlenmesinde en önemli aşamalardan biri malzemelerin uygun deney geometrisinde radyasyon zayıflatma ölçümlerinin yapılmasıdır. Bu ölçümler, direkt geçirgenlik yöntemine göre geçirgenlik deney geometrisi kullanılarak yapılmıştır. Hesaplanan kütle zayıflatma katsayısı değerleri kullanılarak toplam moleküler, atomik, elektronik tesir kesiti, etkin atom numarası, etkin elektron yoğunluğu ve Kerma deneysel değerleri hesaplanmıştır. Bileşiklerin kütle zayıflatma katsayıları, toplam molekül, atomik ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğu gibi parametrelerin bilinmesi onların karakteristik özelliklerinin anlaşılabilmesi için oldukça önemlidir. Bu atomik parametrelerin teorik değerlerinin hesaplanabilmesi için WinXCOM programı kullanılmıştır.

Bu program yardımıyla hesaplanan teorik değerler ile deneysel değerler kıyaslanmıştır. Deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayıları, atomik, moleküler ve elektronik tesir kesitleri, etkin atom numarası, bileşiklerin etkin elektron yoğunluğu ve Kerma sonuçları Tablo 1-6'da listelenmiştir. K ve Ca elementlerine ait bileşikler arasında en iyi kütle zayıflatma katsayısına sahip olan KF ve $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ bileşiğine ait radyasyon soğurmalı ve soğurmasız şiddet grafikleri Şekil 2-3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ bileşiğine ait soğurmalı ve soğurmasız şiddet grafiği



Şekil 3. KF bileşiğine ait soğurmalı ve soğurmasız şiddet grafiği

Tablo 1. K bileşikleri için Kütle zayıflatma katsayısı, Etkin atom numarasının deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	μ/ρ (cm^2/gr)		Z_{eff}	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
K		0,577		19
KF	0,471	0,451	17,162	16,445
KSCN	0,414	0,415	14,754	14,811
K ₂ CO ₃	0,395	0,408	14,078	14,560
K ₂ S ₂ O ₇	0,390	0,365	14,801	13,864
KNO ₃	0,331	0,339	6,669	6,840
KHSO ₄	0,305	0,355	10,737	12,482
KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	0,296	0,264	7,226	6,447

Tablo 2. Ca bileşikleri için Kütle zayıflatma katsayısı, Etkin atom numarasının deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	μ/ρ (cm^2/gr)		Z_{eff}	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
Ca		0,669		20
CaCl ₂ .H ₂ O	0,674	0,482	1,979	1,414
CaF ₂	0,328	0,437	11,908	15,843
CaSO ₄ .2H ₂ O	0,295	0,346	8,800	10,331
Ca(OH) ₂	0,272	0,453	7,298	12,165
Ca(PH ₂ O ₂) ₂	0,248	0,366	7,488	11,030

Tablo 3. K bileşikleri için Toplam moleküler tesir kesiti, Toplam atomik tesir kesitinin deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	σ_{tm} ($10^{-23} cm^2/molekül$)		σ_{ta} ($10^{-23} cm^2/atom$)	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
KF	4,549	4,359	2,274	2,179
KSCN	6,687	6,713	1,671	1,678
K ₂ CO ₃	9,068	9,378	1,511	1,563
K ₂ S ₂ O ₇	16,484	15,441	1,498	1,403
KNO ₃	5,559	5,702	1,111	1,140
KHSO ₄	6,907	8,029	0,986	1,147
KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	23,396	20,874	0,487	0,434

Tablo 4. Ca bileşikleri için Toplam moleküler tesir kesit, Toplam atomik tesir kesitinin deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	σ_{tm} ($10^{-23} cm^2/molekül$)		σ_{ta} ($10^{-23} cm^2/atom$)	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
CaCl ₂ .H ₂ O	14,461	10,330	2,410	1,721
CaF ₂	4,265	5,675	1,421	1,891
CaSO ₄ .2H ₂ O	8,448	9,918	0,704	0,826

Ca(OH) ₂	3,350	5,584	0,670	1,116
Ca(PH ₂ O ₂) ₂	7,030	10,355	0,639	0,941

Tablo 5. K bileşiğine ait teorik ve deneysel Toplam elektronik tesir kesiti ve Etkin elektron yoğunluğunun deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	σ_{te} ($10^{-23} cm^2/elektron$)		N_{eff} ($10^{+23} elektron/gram$)	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
KNO ₃	0,166	0,166	1,985	2,036
KF	0,132	0,132	3,556	3,408
KSCN	0,113	0,113	3,656	3,670
K ₂ CO ₃	0,107	0,107	3,679	3,805
K ₂ S ₂ O ₇	0,101	0,101	3,858	3,609
KHSO ₄	0,091	0,091	3,323	3,862
KAl(SO ₄) ₂ .12H ₂ O	0,067	0,067	4,401	3,927

Tablo 6. Ca bileşiğine ait teorik ve deneysel Toplam elektronik tesir kesiti ve Etkin elektron yoğunluğunun deneysel ve teorik değerleri

Bileşik	σ_{te} ($10^{-23} cm^2/elektron$)		N_{eff} ($10^{+23} elektron/gram$)	
	Deneysel	Teorik	Deneysel	Teorik
CaSO ₄ .2H ₂ O	0,080	0,080	3,692	4,335
Ca(OH) ₂	0,091	0,091	2,965	4,942
Ca(PH ₂ O ₂) ₂	0,085	0,085	2,916	4,295
CaF ₂	0,119	0,119	2,754	3,664
CaCl ₂ .H ₂ O	1,217	1,217	0,554	0,396

Tesir kesiti sonucunda gözlenen deneysel ve teorik değerlerdeki farklılıklar hata sınırları içerisinde uyumlu olmasına rağmen bazı değerlerde sapmalar gözlenmiştir. Bu sapmalar karışım kuralı kullanılırken molekül içi etkileşimlerin yok sayılması olduğu varsayılmaktadır.

Elektronik konfigürasyonu Potasyum 3p⁶ 4s¹, Kalsiyum 3p⁶ 4s² olan K ve Ca elementlerinin bileşiklerinde kütle zayıflatma katsayısı arttıkça toplam atomik tesir kesitinde ve etkin atom numarası değerlerinde genellikle bir artış gözlenmiştir. Bu artış K ve Ca bileşiklerini oluşturan diğer ligand elementlerin atom numaralarının artmasıyla açıklanabilir. K periyodik tabloda 1A grubu elementi alkali metaldir ve Ca, 2A grubu toprak alkali metal özellikleri gösterirler. K bileşikleri için elde edilen sonuçlar saf K için elde edilen sonuç ile karşılaştırıldığında, μ/ρ için % 18,37-% 48,70 arasında değerler aldığı gözlenmiştir. Atom numarası 19 olan K elementinin etkin atom numarasındaki minimum ve maksimum değişim sırasıyla % 9,67 ile -F ve % 64,9 ile -NO₃ ligand grubuna sahip olan bileşiklerde gözlenmiştir. Ca bileşikleri için elde edilen sonuçlar saf Ca için elde edilen sonuç ile karşılaştırıldığında, μ/ρ için % 0,74-% 62,92 arasında değerler aldığı gözlenmiştir. Atom numarası 20 olan Ca elementinin bileşiklerinde etkin atom numarasındaki minimum ve maksimum değişim sırasıyla % 40 ile -F₂ ve % 90 ile -Cl₂.H₂O ligand grubuna sahip olan bileşiklerde gözlenmiştir. Ca elementinin bileşikleri arasında en fazla değişim halojenlerle yaptığı bileşiklerde gözlenmiştir. Bunun sebebi, halojenlerin atom numarasının artmasıyla Ca elementinin dış tabaka elektronlarının halojenin coulomb alanından daha fazla etkilenmesinden dolayı olduğu düşünülmektedir.

Bileşiği oluşturan elementlerin atomik ağırlığının artmasıyla bileşiğin Z_{eff} değerinde bir artış olduğu gözlemlendi. Etkin atom numarasına bağlı olarak elektron yoğunluğunun değerleri de bileşiği oluşturan elementlerin atom numarasına bağlıdır. Genel olarak küçük atom numaralı elementlerden oluşan bileşiklerin etkin elektron yoğunluğunun daha küçük değerler aldığı gözlemlenmiştir.

Bileşiklerin kütle zayıflatma katsayısı arttıkça Kerma değerinde de bir artış olduğu gözlemlenmiştir. K bileşikleri için elde edilen sonuçlar saf K için elde edilen sonuç ile karşılaştırıldığında, Kerma için % 18,40-% 48,73 arasında değiştiği gözlenmiştir. Ca bileşikleri için elde edilen sonuçlar saf Ca için elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, Kerma için % 0,78-% 62,91 arasında değerler aldığı gözlenmiştir.

Bileşiklerin kütle zayıflatma katsayılarının teorik hesaplamalarında kullanılan karışım kuralı, molekül oluşturulan atomlar arasındaki kimyasal etkileşimleri göz ardı eder. Molekül içerisindeki atomlar birbirlerinden bağımsız değil, onlarla etkileşim içerisindeyler. Dolayısıyla bağımsız atomlara ait kütle zayıflatma katsayısı ile bileşiğe ait molekül içerisindeki atomların kütle zayıflatma katsayısı değerleri arasında farklılık olması beklenen bir sonuçtur. Deneyler sonucunda elde edilen kütle zayıflatma katsayısı ile karışım kuralı kullanılarak elde edilen teorik kütle zayıflatma katsayısı arasındaki farklılığın sebebi karışım kuralının kimyasal etkileşimleri göz ardı etmesinden kaynaklı olabilir. Bu durumda çalışmamızdaki deneysel sonuçlarla teorik sonuçlar arasındaki farklılıkları açıklayan bir durumdur. Aynı zamanda tablolar incelendiğinde 59,543 keV enerjide elde edilen deneysel ve teorik kütle zayıflatma katsayısı değerleri arasındaki farkın çoklu atom içeren bileşiklerde genellikle daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bileşiği oluşturan elementlerin sayısı arttıkça kütle zayıflatma katsayısındaki teorik ve deneysel sonuçlardaki farkın arttığı gözlenmektedir. Bileşiği oluşturan merkez atomun atom numarasının artması ile moleküler ve atomik tesir kesitlerinde genellikle artış gözlenmiştir. Elde edilen veriler analiz edildiğinde bileşik içindeki element sayısının artmasıyla deneysel toplam atomik tesir kesitinin, toplam elektronik tesir kesitinin ve etkin atom numarasının sayısal olarak azalma gösterdiği, buna karşın etkin elektron yoğunluğunun artış gösterdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda bileşik içindeki element sayısının azalması etkin atom numarasında artışa, etkin elektron yoğunluğunda azalışa sebep olduğu düşünülmektedir.

IV. SONUC

K ve Ca elementlerine ait bileşiklerinin kütle zayıflatma katsayı değerlerinin merkez atomun atom numarasının büyümesiyle artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bileşikler üzerinde kimyasal etki bileşiği oluşturan elementlerin valans elektron yapılarında meydana gelen değişimden dolayı olur. Kimyasal etkiler, bileşiğin kimyasal bağının durumuna bağlı olarak ve valans elektronlarına göre yorumlanmaktadır. Maddenin moleküler bağı, kimyasal ve kristal yapısı gama ışını zayıflatma ihtimallerini etkiler. Atomların elektronları kendine doğru çekme gücü elektronegatiflik olarak tanımlanır. Elektronegatiflik, bir atomun bileşik yapma isteğine ait bir özelliktir. Yüksek enerjili ışın etkisi ile tüm bu büyüklüklerde bazı değişimler meydana geldiği düşünülmektedir.

K ve Ca bileşiklerinin kütle zayıflatma katsayısı μ/ρ , moleküler tesir kesiti σ_{tm} , atomik tesir kesiti σ_{ta} , elektronik tesir kesiti σ_{te} , etkin atom numarasının Z_{eff} , etkin elektron yoğunluğu N_{eff} , Kerma (K) parametrelerinin tıp alanında, endüstride, eczacılık alanında, ziraai olarak, koruyucu tıp, gama ışını floresans çalışmaları ve tomografi uygulamalarında kullanılmalarından dolayı bu parametrelerin teorik sonuçlarının yanı sıra uygulamalı olarak deneysel değerlerinin tespit edilmesi de önemlidir. Bu çalışma bundan sonraki araştırmacılara referans teşkil eden bir çalışma niteliğine sahip olmasından dolayı bu makalede çalışılan bileşiklerden elde edilen değerler daha sonra yapılacak olan çalışmalarda referans olarak kullanılabilir.

V. KAYNAKLAR

[1] E. Dellow. "Dose determination at keV X-ray qualities using different protocols", Yüksek Lisans Tezi. Tıbbi Fizik Programı, Tıbbi Radyasyon Fiziği Klinik Bilimleri, Lund University, 2008.

- [2] V. Shivaramu, R. Kumar, L. Rijasekaran ve N. Ramamurthy, "Effective atomic numbers for photon energy absorption of some low-Z substances of dosimetric interest", *Radiation Physics and Chemistry*, c. 62, ss. 371-377, 2001.
- [3] N. Kanematsu, T. İnaniwa ve Y. Koba, "Relationship between electron density and effective densities of body tissues for stopping, scattering and nuclear interactions of proton and ion beams", *National Institute of Radiological Sciences, Medical Physics*, c. 39, s. 2, ss. 1016-1020, 2012.
- [4] J. Seco ve P. M. Evans, "Assessing the effect of electron density in photon dose calculations", *Medical Physics*, c. 33, ss. 540, 2006.
- [5] I. Han ve L. Demir, "Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic and electron numbers for Cr, Fe and Ni alloys at different energies", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B.*, c. 267, ss. 3-8, 2009.
- [6] G. F. Knoll, "*Radiation Detection and Measurement*," University of Michigan, John Wiley & Sons, Inc. New York, 2002, ss. 830.
- [7] J. H. Hubbell, "Photon mass attenuation and energy-absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV", *International Journal of Applied Radiations and Isotopes*, c. 33, ss. 1269-1290, 1982.
- [8] J. H. Hubbell ve S. M. Seltzer, "Tables of X-ray mass attenuation coefficients and mass energy-absorption coefficients 1 keV to 20 MeV for elements Z=1 to 92 and 48 additional substances of dosimetric interest", *National Institute of Standards and Physics Laboratory, NISTIR*, ss. 5632, 1995.
- [9] L. Gerward, N. Guilbert, K. B. Jensen ve H. Levring, "X-ray absorption in matter Reengineering XCOM", *Radiation Physics and Chemistry*, c. 60, ss. 23-24, 2001.
- [10] C. T. Chantler, "Theoretical form factor, attenuation and scattering tabulation for Z=1-92 from E=1-10 eV to E=0.4-1.0 MeV," *J. Phys. Chem.*, c. 24, ss. 71-643, 1995.
- [11] J. H. Hubbell, "Review of photon interaction cross section data in the medical and biological context," *Physics in Medicine & Biology*, c. 44, 1999.
- [12] G. J. Hine, "The effective atomic numbers of materials for various gamma interactions, Secondary electron emission and effective atomic numbers," *Physical Review*, c. 85, ss. 725-737, 1952.
- [13] V. Manjunathaguru ve T. K. Umesh, "Effective atomic numbers and electron densities of some biologically important compounds containing H, C, N and O in the energy range 145-1330 keV", *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics*, c. 39, s. 18, ss. 3969-3981, 2006.
- [14] U. Çevik, E. Bacaksız, N. Damla ve A. Çelik, "Effective atomic numbers and electron densities for CdSe and CdTe semiconductors", *Radiation Measurements*, c. 43, s. 8, ss. 1437-1442, 2008.
- [15] M. Kurudirek, M. Büyükyıldız ve Y. Özdemir, "Effective atomic number study of various alloys for total photon interaction in the energy region of 1 keV-100 GeV", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated*. c. 613, s. 2, ss. 251-256, 2010.
- [16] B. Rudraswamy, N. Dhananjaya ve H. C. Manjunatha, "Measurement of absorbed dose rate of gamma radiation for lead compounds", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipmen*, c. 619, s. 1-3, ss. 171-173, 2010.


- [17] M. Kurudirek, “Bazı çoklu element yapıdaki maddelerin foton etkileşimi, foton enerji soğurması, foton kuvvetlendirme faktörü ve hızlı nötron azaltma tesir kesitleri açısından incelenmesi,” Doktora tezi, Fizik, Fen BilimleriEnstitüsü, Atatürk Üniversitesi Erzurum, Türkiye, 2011.
- [18] H. C. Manjunatha ve B. Rudraswamy, “Study of effective atomic number and electron density for tissues from human organs in the energy range of 1 keV100 GeV”, *Health Physics*, c. 104, s. 2, ss. 158-162, 2013.
- [19] I. Han, M. Aygün, L. Demir ve Y. Şahin, “Determination of effective atomic numbers for 3d transition metal alloys with a new semi-empirical approach,” *Annals of Nuclear Energy*, c. 39, s. 1, ss. 56-61, 2012.
- [20] K. S. Mann, J. Singla, V. Kumar ve G. S. Sidhu, “Investigation of mass attenuation coefficients and exposure building factors of some low-Z building materials,” *Annals of Nuclear Energy*, c. 4, ss. 157-166, 2012.
- [21] M. L. Taylor, R. L. Smith, F. Dossing ve R. D. Franich, “Robust calculation of effective atomic numbers:the auto-Zeff software”, *Medical Physics*, c. 39, s. 4, ss. 1769-1778, 2012.
- [22] N. Küçük, M. Çakır ve N. A. Isıtman, “Mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities for some polymers”, *Radiation Protection Dosimetry*, c. 153, s. 1, ss. 127-134, 2013.
- [23] A. Un ve F. Demir, “Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron numbers for heavy-weight and normal weight concretes”, *Applied Radiation and Isotopes*, c. 80, ss. 73-77, 2013.
- [24] Y. Zheng, X. K. Li, Y. Wang ve L. Cai, “The role of zinc, copper and iron in the pathogenesis of diabetes and diabetic complications: Therapeutic effects by chelators”, *Hemoglobin*, c. 32, s. 1-2, ss. 135-145, 2008.
- [25] P. J. Parsons ve F. Barbosa, “Atomic spectrometry and trends in clinical laboratory medicine”, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, c. 62, s. 9, ss. 92-1003, 2007.
- [26] F. D. Jackson ve D. J. Hawkes, “X-Ray attenuation coefficients of elements and mixtures”, *Physics Reports*, c. 70, s. 3, ss. 169-233, 1981.
- [27] M. P. Singh, B. S. Sandhu ve B. Singh “Measurement of effective atomic number of composite materials using scattering of γ -rays”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A*, c.580, ss. 50-53, 2007.
- [28] K. Singh, H. Singh, V. Sharma, R. Nathuram, A. Khanna, R. Kumar, S. S. Bhatti ve H. S. Sahota, “Gamma-ray attenuation coefficients in bismuth borate glasses,” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, c. 194, ss. 1-6, 2002.
- [29] S. R. Manohara, S. M. Hanagodimath, K. S. Thind ve L. Gerward, “On the effective atomic number: a comprehensive set of formulas for all types of materials” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, c. 266, ss. 3906–3912, 2008.
- [30] V. P. Singh, M .E. Medhat, N. M. Badiger ve A. Z. M. S. Rahman, “Radiation shielding effectiveness of newly developed superconductors,” *Radiation Physics and Chemistry*, c. 106, ss. 175-183, 2015.



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Derleme Makalesi

Günlük Yaşamda Kimyasal Madde Maruziyeti ve İnsan Sağlığına Etkileri

 Arzu ÖZTÜRK^{a,*}

^a Kimya Teknolojileri Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, Türkiye

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

DOI:10.29130/dubited.848711

ÖZ

Günlük hayatta tüketilen pek çok gıda, kozmetik ve tekstil ürünü ile yapım ve üretim aşamalarında kullanılan binlerce kimyasal maddeye maruz kalınmaktadır. Bu kimyasal maddelerin çoğunluğu sağlık açısından yeterince araştırılmış ve etkileri ortaya konmuş değildir. Üreticilerin yaklaşımı “zararlı olduğu kanıtlanmadıkça kullanımı uygundur” görüşüdür ki, bu oldukça risk teşkil eden bir yaklaşımdır. İşlem gören bir üründeki kullanılan kimyasal maddeler, eser miktarlarda buldukları için toksik etki göstermeyebilir. Ancak paketli ve işlenmiş gıda ürünleri, kozmetikler, giysiler gibi pek çok yoldan bu kimyasal maddelere maruz kalındığında vücuda alınan miktar artmakta ve toksik etki görülebilmektedir. Gıda üretim aşamalarında kullanılan pestisitler, hormonlar ve gübreler, işlenmiş gıdalarda yer alan boyalar, akrilamid, nitrozaminler, fitalatlar ve şeker olarak sunulan aspartam, TiO₂, kozmetik ürünlerde ve giysilerin üretiminde de karşımıza çıkmaktadır. Bugün yaygın görülen alerji, otoimmün hastalıklar, kanser gibi pek çok hastalık artık bu kimyasallar ile ilişkilendirilmektedir. Bu çalışma ile gıda, kozmetik ve tekstil ürünlerinde kullanılan zararlı kimyasalların insan sağlığına etkileri değerlendirilmiştir. Bu sayede literatürde tek tek ele alınan zararlı kimyasalların etkileri holistik bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çevre ve insan sağlığı, Kimyasal atıklar, Toksik maddeler

Chemical Exposure in Everyday Life and Human Health Effects

ABSTRACT

Many food, cosmetics and textile products consumed in daily life are exposed to thousands of chemicals. Most of these chemicals have not been sufficiently studied and their effects have not been demonstrated in terms of health. The manufacturer's approach is that "it is appropriate to use unless proven harmful", which is a highly risky approach. Chemical substances used in a treated product may not have a toxic effect since they are present in trace amounts. However, when exposed to these chemicals in many ways such as packaged and processed food products, cosmetics, clothing, the amount taken into the body increases and toxic effects can be seen. Pesticides, hormones and fertilizers used in food production stages, dyes, acrylamide, nitrosamines, phthalates, aspartame and TiO₂ in processed foods, are also encountered in cosmetics and clothing production. Many diseases such as allergies, autoimmune diseases, cancer, which are common today, are now associated with these chemicals. In this study, the effects of harmful chemicals used in food, cosmetics and textile products on human health were evaluated. In this way, the effects of harmful chemicals, which are handled one by one in the literature, have been addressed with a holistic approach.

Keywords: Environment and human health, Chemical waste, Toxic substance

I. GİRİŞ

Kentleşme, endüstrileşme ve teknolojideki gelişmelerle birlikte ortaya çıkan modern yaşam tarzı, tüm kaynakları ve hayatı sunuş şekliyle insanoğlunu hem fiziksel hem de ruhsal bozukluklar ile karşı karşıya getirmektedir. Soluduğumuz hava, içtiğimiz su hızla kirlenirken, beslendiğimiz gıdalar bir silaha dönüşerek hastalıkların artmasına ve çeşitlenmesine sebep olmuş, yaşamımızı tehdit etmeye başlamıştır. Hayatın her alanında kullanılan ürünler, tekstil ürünlerinden, gıdaya, deterjanlardan, kozmetik ürünlere pek çok eşya doğa, toprak, ve insan bedeni ile uyumlu değildir. Pet şişelerin dönüşümünden üretilen tekstil ürünleri, gıdadeterjanlar, kozmetik ürünler ve ilaçlar ile maruz kaldığımız kimyasal kirlilik, sağlıklı bir neslin oluşmasına neden olmaktadır. Yaşam tarzındaki dönüşüm tüm canlılarla birlikte artık insan yaşamını da tehdit eder hale gelmiş, teknolojinin gelişimi, ruhsal ve bedensel sağlık problemlerinin artması, yeni hastalıkların türemesi insanı kısır bir döngüye (hastalık üret ↔ tedavi bul) hapsedmiştir.

Sanayi devrimi ve teknolojik gelişmelerin artması ile öncelikli olarak gıdalar endüstrileşmeye başlamıştır. Bir zamanlar tarım ülkesi olarak nitelendirilen Türkiye, 1950'lerde başlayan yoğun bir köyden kente göçe maruz kalmıştır. Gelişen teknoloji tarım işçisine ihtiyacı azaltmış, sanayileşme ise işsiz kalan köylüyü kente göçe yönlendirmiştir [1]. 1950'de şehirlerdeki nüfus, toplam nüfusun %18.1'ünü oluştururken, 2000 yılında bu rakam % 65'e ulaşmıştır [2]. 2014 yılı itibariyle ise bu rakam % 90 iken, 2016'da % 92'ye yükselmiştir [3,4]. Bu kaygı verici artış pek çok problemi beraberinde getirmiştir. Şehirli nüfusun artmasıyla insanın doğaya müdahalesi artmaya başlamış, bu durum çevre sorunlarının da artmasına neden olmuştur. Daha çok üretmek daha çok tüketimi, daha çok kar etmek duygusu ise doğanın katledilmesi sonucunu beraberinde getirmiştir. Tarım arazisi amacıyla ormanların yok edilmesi, yol yapımı için dağların patlayıcılarla sökülüp denizlerin doldurulması, elektrik üretmek için akarsu yataklarının yerinin değiştirilmesi, pestisitler ile bitkilerin genetiğinin değişimi yaşadığımız dünyayı geri dönüşümü mümkün olmayan sorunların kucağına bırakmıştır [5]. Nüfusun artmasına karşılık tarım ve çiftçiliğin azalması mevcut üretim alanlarından daha fazla verim alma kaygısıyla sonuçlanmıştır. Bu da aşırı derecede pestisit, hormon ve gübre kullanımının yolunu açmış GDO'lu ürünlere merhaba dememize sebep olmuştur. Pestisitlerin az bir kısmı amaca hizmet ederken çoğunluğu toprakta birikmekte, havada partiküller tarafından adsorbe edilerek rüzgarlar ile uzun mesafelere ulaşabilmekte, yüzeysel sulara yayılmakta ya da yeraltı suyuna sızmaktadır[6].

Çevrenin kirlenmesi sadece bitkileri değil hayvanları da etkilemektedir. Çevre kirliliğine neden olan tüm toksik maddeler hayvanların yağ dokularında birikmekte, hayvansal gıdalarla birlikte insan vücuduna ulaşabilmektedir. Artık hızla yaygınlaşan pek çok hastalığın (kanser, parkinson, alzheimer ve otoimmün hastalıklar vb.) nedenleri arasında çevre kirlenmelerinin ve toksik maddelerin olduğunu bilinmektedir [7].

Gıda, kozmetik ve tekstil gibi temel ihtiyaçların karşılandığı alanlarda karşımıza çıkan toksik maddeler, temas sonrası deri yoluyla emilen, inhalasyon (solunum) ve ağız yoluyla alınarak, canlılarda akut, kronik hasarlara hatta ölüme neden olan kimyasallardır [8]. Bir döngüye dönüşerek insan, çevre ve diğer canlılar üçgeninde hayatımızı çevrelemiş durumda olan tüm bu toksik kimyasal maddelere erişimimiz pek çok kaynaktan olmaktadır. "Paketli gıda" olarak ifade edilen işlenmiş gıdalarda kullanılan kimyasal maddeler aynı zamanda günlük yaşamın bir parçası haline gelen diş macunu, krem, şampuan gibi en temel kozmetik ürünler ile vücuda girmekte ve vücudun tolere edebildiği miktar böylelikle aşılmaktadır. Sıklıkla kullanılan bir kimyasal madde gıdada koruyucu, kozmetikte parlaticı, deterjanda beyazlatıcı, tekstilde renk sabitleyici olarak karşımıza çıkabilmektedir. Bu gıdalar, deterjanlar ve giysiler her gün kullanıldığında maruz kalınan kimyasallar otoimmün hastalıklar, kanser, diyabet gibi tedavisi zor hastalıklara sebebiyet vermektedir. Beslenme, giyim, eğitim gibi mutlak ihtiyaçlarımız içerisinde yerini çoktan almış teknolojik yenilikler bir yandan sağlığımızın bozulmasına sebep olurken bir yandan da yeni bağımlılıklara yol açmaktadır. Kimyasal maddeler, hayatımızı kolaylaştırmakla, teknolojiyi daha etkili kullanmamızı sağlamakla birlikte aynı zamanda ciddi, bazen geri dönüşü olmayan zararlar verebilmektedir.

Bu kadar geniş bir alanda maruz kaldığımız kimyasal maddelerin birbirleriyle etkileşiminin tanımlanması, analiz edilmesi ve sonuçlarının değerlendirilmesi oldukça güç olmakla birlikte mutlaka yapılması gereklidir. Günümüzde yaygın bakış açısı “bir ürünün veya içeriğinde yer alan zararlı kimyasal maddelerin zararı kanıtlanmadıkça kullanılmasında sakınca yoktur” görüşüdür. Oysa olması gereken özellikle gıda ve kozmetikte kullanılan kimyasal maddelere karşı “zararsız olduğu bilimsel olarak kanıtlanana kadar kullanılmamalıdır” olmalıdır ve şüpheci bir yaklaşım sergilenmelidir. Bilim insanlarının modern yaşamın getirdiği yıkıcı etkileri ortaya koymak için artık ellerini taşın altına koymaları gerekmektedir. Ayrıca aile ve toplum sağlığının korunması adına kitlesel farkındalığın artırılması, bireylerin bilinçlendirilmesi son derece önemlidir.

Bu çalışma yaşamın temel ihtiyaçları olan, bilinçsizce kullandığımız, sorgulamaksızın hayatımızda yer verdiğimiz gıda, kozmetik ve tekstil ürünlerinde insan sağlığını tehdit eden, pek çok hastalığa neden olan toksik maddeler ve bunların etkilerine değinerek insan ve çevre sağlığını korumak adına farkındalık oluşturmayı amaçlamaktadır.

II. GIDALARDA YER ALAN ZARARLI KİMYASAL MADDELER

Sağlığın temelinde güvenilir besinlere ulaşabilme ve temiz suya erişim vardır. Güvenilir besin, rafta kaldığı sürece fiziksel, kimyasal ve biyolojik riskleri taşımayan besinlerdir. Endüstriyel ve işlenmiş gıdalar beslenmemizin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Zamanın kısıtlı olduğu yoğun iş ve ev hayatında hazır gıdaya talep ister istemez artmaktadır. Ayrıca ekonomik nedenler de toplumun her kesiminin temiz ve güvenilir gıdaya erişimini imkânsız kılmaktadır. Bu da nasıl üretildiğini ve ne içerdiğini bilmediğimiz gıdalar ile beslenmemize ve zararlı kimyasallara maruz kalmamıza neden olmaktadır. Besinlerdeki zararlı kimyasal maddeler, tarımve veteriner ilaçları, hormonlar, gübreler, paketlemede kullanılan plastik ürünlere kadar pek çok nedenle besinlerde bulunabilmektedir [9].

Bugün maalesef temiz ve saf gıdaya ulaşabilmek artık mümkün değildir. Organik etiketli tarım ilacı, hormon gibi kimyasal maddeler kullanılmadan üretilen doğal ürünler dahi toprak ve havadan kirlenmeye maruz kalmaktadır.

Gıdalarda bulunan kimyasal maddeler (Tablo 1.) birden fazla çeşitlilik göstermekle birlikte çoğunlukla eser miktarlarda bulunmaktadır. Ancak bazı kimyasallar oldukça toksiktir ve uzun süreli maruziyette ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedirler. Bugün en temiz ve saf besin olarak görülen anne sütü bile artık bu özelliğini yitirmiş durumdadır. Birçok ülkede konuyla ilgili araştırmalar yapılmıştır. Özellikle İran, Kazakistan, Çin, Malezya gibi ülkelerde anne sütünde yüksek miktarlarda DDT, PCB, HCHs gibi organohalojenli kirleticiler bulunmuştur. Ülkemizde ise Konya şehri kapsamında anne sütünde yapılan HCHs, DDT, PCBs, analizlerinde sırasıyla 22.62, 37.02, 104.95ng/g değerleri tespit edilmiştir [10]. Bu değerler kabul edilebilir sınırlar içerisinde olmakla birlikte uzun vadede ne tür etkiler bıraktığı bilinmemektedir.

Kimyasal maddenin kendisinin toksisitesinden ziyade şimdilerde asıl sorulması gereken soru farklı yollardan maruz kaldığımız yüzlerce farklı kimyasalın birbirleriyle olan etkileşimidir. Örneğin; bazı zararlı kimyasalların birlikte yaratacağı toksisite düzeyi, tek başlarına oluşturacakları toksisitenin toplamından daha yüksek olabilmektedir. Pek çok kimyasal, gıda içerisinde farklı bileşiklere dönüşebilmektedir. Poliklorlubifeniller (PCB)'lerinve Metil civa'nın genellikle birlikte bulunması bu durumu gösteren en iyi örneklerden biridir. Gıdalardaki tek sorun üretim aşamasında ve koruma amaçlı kullanılan kimyasal maddelerin varlığı değildir. Aktif maddenin kendisinin dışında parçalanma ürünleri ve metabolitlerin varlığı, üstelik pek çoğunun analiz edilemeyeşi de oldukça büyük bir sorun teşkil etmektedir [11].

Tablo 1. Gıdalarda bulunan sağlığa zararlı kimyasal maddeler [11]

Kimyasal Tehlike	Kimyasal kirlilik
Tarım ürünlerinde kullanılan kimyasallar	Kimyasal gübreler, Pestisitler, Bitki hormonları, Veteriner ilaçları, Hayvanlarda büyüme amaçlı kullanılan hormonlar
Çevresel ve endüstriyel kirleticiler	Dioksinler, Ağır metaller (kurşun, cıva, kadmiyum vb.) Poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), Poliklorlubifeniller (PCB), Radyoaktif kirleticiler, Organik kimyasallar (benzen),
Doğal toksik maddeler	Mikotoksinler, Bitkisel toksinler, Fikotoksinler
Alerjenler	Gluten içeren tahıl ürünleri, Süt, Yumurta, balık, midye, soya, fıstık, kuru yemiş gibi gıdalar, Kükürt bileşikleri
Ambalaj materyallerinden geçen maddeler	Monomerler, Boyalar (kurşun), fitalatlar, Bisphenol A, Antimon, Perfluorooktanoik asit
İşleme sırasında bulaşan maddeler	Aluminyum, Bakır, Deterjanlar, Yağlama maddeleri
Depolama ve işleme esnasında oluşan maddeler	Isıl işlem sonucu oluşanlar (poliaromatik hidrokarbonlar, akrilamid, furan, nitrozaminler, heterosiklikaromatikaminler, vb.), depolama ve diğer işlemler sırasında oluşanlar (etil karbamat, trans yağ asitleri, benzen, kloropropanoller, lizinoalanin,)
Yasadışı kimyasallar	Gıdalarda izinsiz kullanılan boyalar
Yeni tehditler	Nanopartiküller, GDO'lu gıdalar

Gıda üretim aşamalarında pestisit ve hormonların kullanımı Türk Gıda Kodeksinde belirtilen şekilde sınırlandırılmıştır. Bu tür kimyasalların satışı ruhsatlı zirai ilaç bayilerinde yapılmaktadır ancak kullanımı, gıdalardaki kalıntıları için satış noktalarında herhangi bir takip yapılmamaktadır. Bu tür kimyasallara uzun süre maruziyet pek çok sağlık problemine neden olmaktadır. Özellikle hormonların endokrin sisteme verdiği zararlar ürkütücü düzeydedir. Kısırlık, iktidarsızlık, erkeklerde sperm sayısında azalma, hücrelerin zayıflayarak kansere duyarlı hale gelmesi, vücutta şişme ve yağlanma, ergenlik dönemindeki çocukların gelişiminin etkilenmesi, tetiklenen erken ergenlik vememe büyümesi ve kız çocuklarda puberteprekoks görülmesidir. Kansızlık, düşükler ve en önemlisi kanser oluşumudur. Gelişmekte olan ülkelerde yılda yaklaşık 37000 kanser olgusunun (pankreas kanseri ve lösemi gibi) tarım ilaçlarından kaynaklandığı bildirilmiştir [12].

Üretim aşamasından sonra gıdalar, işleme, paketlenme ve depolama aşamalarında da zararlı kimyasal maddelere maruz kalmaktadırlar. Paketli gıdalar ile alınan özellikle cipslerde ve kızartılmış ürünlerde kullanılan sentetik katı yağ olan olestra kısa vadede ishal karın ağrısı, beden gücünün azalmasına ve kanda karotenoit azalmasına neden olurken, uzun vadede görme bozukluğu, hızlı yaşlanma, prostat, akciğer kanseri gibi hastalıklara neden olmaktadır [12]. Besin değeri yüksek ve çabuk bozulabilir gıdaların paketlenmesi ve ambalajlanmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mikrobiyolojik kontaminasyonun önlenmesi ve raf ömrünün uzatılması için ambalajlama işlemleri sırasında kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Et ve tavuk ürünlerinin paketlenmesinde raf ömrünü uzatmak amaçlı nem tutucu filtrelelere sıklıkla rastlanmaktadır. Bu filtrelerde nem tutucu olarak diatomit kullanılmaktadır. Diatomit genel formülü $SiO_2.nH_2O$ olan, hafif ve kolay ufalanabilen endüstriyel bir kayadır [13]. Filtre malzemesi olarak kullanımının yanı sıra yapı kimyasalı, gübre taşıyıcısı, izolasyon maddesi olarak da yaygın bir kullanım alanı mevcuttur. Sadece gıdalarla değil, diş macunundan, kahve fincanına, gazeteye, oto lâstiğinden ağırcesicilere hatta duvardaki boyaya kadar pek çok yerde karşılaşılan diatomite çok geniş bir kullanım alanında maruz kalmaktayız [14]. Diatomit aslında bir meslek hastalığında etken madde olarak karşımıza çıkmaktadır. DiatomitPnömonokonyozu, silikozis

benzeri bir hastalıktır ve akciğer kanseri, verem gibi akciğere hasar veren hastalıklara neden olmaktadır [15].

Tablo 2. Gıdalarda yaygın bulunan kimyasal maddelerin tespit edilebilen etkileri

Kimyasal Madde	Sağlığa Zararı
Diatomit	Akciğer hastalıkları
Akrilamid	Yumurtalık ve diğer kanserler
Nonilfenoller	Endokrin bozucu, karsinojenik
Bisfenol A	Endokrin bozucu, karsinojenik
Ftalat	Kısırlık, obezite, diyabet
Aspartam	Lösemi, lenfoma, diyabet
Nitrit	Karsinojenik
Olestra	Akciğer ve prostat kanseri

Gıda ambalajlarında oldukça fazla kullanılan plastikler de farklı formlarda pek çok yerde karşımıza çıkmaktadırlar. LDPE ve HDPE'ler en çok tercih edilen gıda ambalajlarından. Film tabakası veya kap olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin, pastörize süt kutularının ve meyve suyu kutularının iç yüzeyi bunlarla kaplanmaktadır. Ayrıca gıda ambalajı olarak kullanıldıklarında yapısına kimyasal maddeler eklenmektedir. Amerika Gıda ve İlaç Yönetimi (FDA) karboksil modifiye, florlanmış ve klorlanmış polietilenleri güvenilir gıda temas yüzeyi olarak sınıflandırmaktadır. Ancak araştırmalar göstermektedir ki HDPE'lerin yapısında yer alan nonilfenoller şişelerden süte geçmekte ve östrojenik (endokrin bozucu) özellikler göstermektedir [16,17].

Gıda katkı maddeleri, gıda ambalajları ve zirai ilaçlarda bulunan bir başka endokrin bozucu madde ise bisfenol A (BFA) ve nonilfenol (NF)'dir. Bu bileşikler vücuda alındığında östrojen hormonu gibi davranmakta bunlar ve bunların parçalanma ürünleri mutajenik, östrojenik, gebelerde teratojenik, karsinojenik veya toksik olabilmektedir. Endokrin bozucu dediğimiz bu maddeler insan ve hayvanlarda hormonal dengeyi bozarak pek çok kalıcı etkiye sebep olmaktadır [18].

Gıdalarla maruz kaldığımız başka bir kirleticide akrilamiddir. Gıda maddeleriyle temasla maruz kalınan poliviniliden klorür reçinelerinin yapısında akrilamid bulunabilmektedir. Ağızdan alınan akrilamid yumurtalık kanserleri ve endometriyum açısından risk artışına yol açtığı ifade edilmektedir ve Grup 2A' da (muhtemelen karsinojenik) yer almaktadır. 2002 yılında İsveç Ulusal Gıda Ajansı kahveden sonra kızarmış, fırınlanmış ve kızartılmış gıdalarda yüksek oranda akrilamidin bulunduğunu tespit etmiştir [17,19,20].

Kirlenen su kaynaklarıyla birlikte musluktan su içmenin neredeyse mümkün olmadığı günümüzde maruz kaldığımız bir başka kirletici de depolietilentereftalat (PET)'dir. Pet şişelerin hammaddesini oluşturmaktadır ve yapılan çalışmalar göstermiştir ki Ftalat, endokrin bozucular arasında yer almaktadır. Obezite, insülin direncinde artış, seks hormonunda azalmaya yol açtığı ve erkek nörolojik gelişimde bozulma meydana getirdiği kanıtlanmıştır [21].

Tüm endokrin bozucular birlikte değerlendirildiğinde hayvanların kromozomlarında telomer kısalması meydana geldiği, östrojene duyarlı meme kanseri hücrelerinin büyümesini uyardıkları ve östrojen bağımlı gen ekspresyonuna sebep oldukları bildirilmiştir. Ayrıca yavaş bir şekilde insan plasentasına geçtiği ve amnion sıvısında yüksek miktarlara ulaştığı, anne sütünde tespit edildiği, sperm motilitesini azalttığı, epigenetik değişikliklere, DNA'da hasara ve yaşa bağlı prostat kanserine yakalanma riskine neden olduğu yapılan araştırmalar ile ortaya konmuştur [22-28].

Obezitenin çağın hastalığı olmasıyla birlikte, diyet ürünlere ilgide oldukça artmıştır. Yapay tatlandırıcılar ise başlı başına bir sorun teşkil etmektedir ve pek çoğunun kanserojen olduğu bildirilmiştir [29]. Gıdalarda kullanılan şeker çoktan yerini mısır-glikoz şurubu, sakarin, aspartam gibi kimyasal maddelere bırakmıştır. Pek çok gıda içeriğinde kullanılan şekerin neden elde edildiği açıkça

yazılmamaktadır. Sofra şekeri olarak ifade ettiğimiz pancardan üretilen şekerinse artık endüstriyel paketli gıdalarda kullanılmadığı bir gerçektir. Hem gıdalarda hem de ilaçlarda özellikle çocuklar için verilen pek çok ilaçta tatlandırıcı olarak karşımıza çıkan aspartamın ciddi sağlık sorunlarına yol açtığı ve 2005'te İngiltere'de yasaklandığı bilinmektedir. Aspartam şekerden 200 kat daha yoğun bir tatlandırıcıdır. Gıda ve ilaçlarda ismi geçmez ve karşımıza E-951 kodu ile çıkar. Vücuda alındıktan sonra metil alkole dönüşür ve dokularda birikir. Bu miktarın çok düşük olduğu iddia edilse de hayvanlarda kansere sebep olduğu kanıtlanmıştır. Uzun süreli aspartama maruz kalan sıçanlarda lösemi ve lenfoma görüldüğü bildirilmiştir [30].

Yalnızca işlem görmüş gıdalarla değil, et ihtiyacının karşılandığı balık, tavuk, büyük/küçükbaş hayvanlar yoluyla da toksik kimyasallara maruz kalınabilmektedir. İşcan ve vd. [31], Sakarya nehrinde yaşayan balıklar üzerinde yaptıkları çalışmalarda nonilfenoller ve balıkların yağ dokusunda kolaylıkla çözünen alkilfenoller tespit etmiş bu maddelerin balıkların karaciğerinde biyokimyasal ve patolojik bozukluklara neden olduğunu da ortaya koymuştur. Gıdaların yanı sıra kozmetikürünlerin, zirai ilaç, tekstil, deterjanveboya üretiminde de karşımıza çıkan bu maddeler maalesef pek çok kaynaktan hayatı kuşatmış görünmektedirler. Bu maddelere tek bir kaynaktan maruz kalmıyor oluşumuz ise en önemli sorun olarak değerlendirilebilir.

Pek çok hastalığa davetiye çıkaran, doktorların şimdilerde uzak durulmasını ısrarla vurguladıkları bir diğer gıda ise işlenmiş et ürünleridir (sucuk, sosis, salam vs.). Amerika Kanser Araştırma Enstitüsü, işlenmiş et ürünlerinde bulunan kimyasal maddelerin değişik organ kanserlerinde özellikle bağırsak kanserinde artışa neden olduğunu bildirmiştir. Günde tüketilen 50 gr işlenmiş etin bağırsak kanseri riskini % 21 artırdığı ifade edilmiştir. Bu ürünlerde antibakteriyel ve renk tutucu olarak sodyum nitrit (E250) veya potasyum nitrit (E249) kullanılmaktadır. Bu katkı maddelerin kansorejen olduğu ile ilgili ciddi kaygılar bulunmakta ve araştırmalar devam etmektedir [32].

Ülkemizde kırmızı et tüketiminin başında sucuk, köfte, salam ve sosis olduğu bildirilmiştir. Çiğ kırmızı et tüketimi ise buna mukabil oldukça düşüktür. Son yıllarda özellikle bu ürünlerde merdiven altı üreticilerin arttığı, üretim prosesinde yer almayan ısıl işlem, kültür ve katkı maddelerinin kullanıldığı belirlenmiştir [33]. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, soframıza gelen endüstriyel, işlenmiş veya tarladan sofraya pek çok gıda ürünü ile ilgili maalesef hiçte hoş olmayan gerçeklerle karşı karşıya kalmaktayız.

III. KOZMETİK ÜRÜNLERDE YER ALAN ZARARLI KİMYASAL MADDELER

Temizlik ve hijyen modern yaşamın ve teknolojinin getirdiği değişimlerle birlikte hayatımızda olmazsa olmaz kavramlar arasında yerini almıştır. Öyle ki deterjanlar olmaksızın temizlik, kozmetik olmaksızın güzellik neredeyse mümkün değil artık. Gereğinden fazla hayatımıza sokulan bu ürünlerin insan ve çevre sağlığına zararları bilinen bir gerçektir. Mevcut yapılan araştırmalar bu ürünlerin hiçte masum olmadıklarını ortaya koymaktadır. Ama gerçek zararın boyutu hakkında ne yazık ki doyurucu bir bilgiye sahip değiliz. Kimyasal maddelerin zararlı etkilerinin ortaya konabilmesi için, yaşamın hangi evresinde ne kadar miktarda ne kadar süre ile kullanıldığı, eş zamanlı hangi maddelerle birlikte alındığı, bu maddelerin birbiriyle etkileşimi ve vücutta kalma süresinin ne olduğu gibi sorulara cevap aranması gerekmektedir.

Kozmetik ürünler çoğunlukla temizlemek, görünüşü güzelleştirmek, kusurları kapatmak ve hoş koku sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu ürünlerin çoğu günlük kullanılan ve uzun süre uygulandığı bölgede kalan ürünlerdir. Bir nemlendirici kremde 6000'ne yakın kimyasal madde kullanılabilir. Kokular, antimikrobiyal ve antioksidanlar, renklendiriciler, güneşten koruyucular, lipid ve sürfaktanlar gibi yüzlerce kimyasala her gün hem deri temasıyla hem de soluyarak maruz kalmaktayız. Kozmetik ürünlere bağlı yaşanan pek çok rahatsızlık ürünün kullanımının kesilmesi ya da değiştirilmesi gibi çözümlerle çözümlenmekte yaşanan çoğu problem

doktora veya üreticiye yansıtılmamaktadır. Bu durum kozmetiklere bağlı problemlerin belirlenmesinde önemli bir engeldir [34].

Kozmetikte kullanılan her ürün şüphesiz kendi bağlamında değerlendirilmekte, toksisite deneyleri ve dermatolojik deneyler buna göre yapılmaktadır. Kullanılan çoğu kimyasal maddenin zararsızlığındaki en önemli etkenin oldukça düşük miktarlarda kullanılıyor olması bilinen bir gerçektir. Ancak burada belirtilen düşük miktar tek ürün üzerinden ifade edilmektedir ve zararlı etkilerin ortaya çıkması çoğunlukla kullanım süresi ve birden fazla ürünün kullanımı ve bunların etkileşimi ile ortaya çıkabilmektedir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalar göstermiştir ki kozmetik ürünlerde sık kullanılan “formaldehit, fitalat, paraben, sodyum lauril sülfat (SLS) ve sodyum lauril eter sülfat (SLES), parafin, benzofenon, etanolamin, 1,4-dioksan, fenilenediamin, rezorsinol, silikon, kömür katranı, alüminyum, kurşun, cıva ve koku gibi kimyasal maddelerin sağlığa ciddi olumsuz etkileri söz konusudur [34, 35, 36, 37]. Bu olumsuz etkilerin başında ise maalesef kanser, kısırlık ve doğum kusurları gelmektedir. Kozmetik ürünlerin kullanımının en riskli olduğu dönemler şüphesiz gebelik ve yeni doğan dönemidir. Gebelik döneminde kadınların yaklaşık %36’sının kozmetik ve makyaj ürünleri kullanımına devam ettiği bildirilmiştir [38], [39].

Gebelikte kullanılan kozmetik ürünlerin ölü doğum, düşük, endokrin ve diğer sistemlerde gelişim hasarına neden olduğu bilinmektedir. Fetüs plasenta yoluyla pek çok maddeye maruz kalabilmektedir. Beslenme ve kozmetik ürünler ile alınan kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), metil cıva (MeHg), arsenik (As) gibi ağır metaller fetüsü etkilemekte, bu maddelere maruziyet doğum sonrası emzirme ile devam edebilmektedir. Pek çok çalışma anne sütünde ağır metal varlığını ortaya koymaktadır [10,40,41].

Birçok kozmetik üründe (tırnak cilası, temizleme losyonları, sabunlar, temizlik maddeleri, saç ürünleri, oda spreyi) bulunabilen fitalatların üreme ve bağışıklık sistemine verdiği zararlar bilinmektedir. Özellikle gebelik döneminde fitalat kullanımının fetüste üreme hücrelerinde anomaliye ve dolayısıyla kısırlığa kadar uzanabilen problemlere neden olduğu bildirilmiştir [42, 44]. Günlük yaşamda kullanılan pek çok ürünün sağlığa zararlı olabileceği bildirilmiştir (Tablo 3). Gebelik dönemi dışında da fitalatmaruziyetinin diyabet, kızlarda erken veya geç pubertal (ergenlik) gelişim, mental gelişim bozuklukları gibi sorunlara yol açtığı bildirilmiştir [43]-[45].

Kozmetik ürünlerde kullanılan pek çok kimyasal madde tüketiciyi etkilemekle birlikte en belirgin zararı uygulayıcılara (güzellik uzmanları, kuaförler) vermektedir. Örneğin saç boyalarında bulunan PPD olarak bilinen parafenilendiamin kozmetik alerjenlerin en önemli nedenlerinden biridir. Solunması ve teması ciddi alerjik kontakt dermatite neden olmaktadır. Bu durum güzellik uzmanları ve estetsiyenler için mesleki risk oluşturmaktadır [34,46].

Tablo 3: Kozmetik Ürünlerde Yer alan toksik bileşenler ve etkileri [37, 47]

İçerik	Ürün	Kullanım Amacı	Toksik Etki
BHA&BHT	Nemlendiriciler	Anti-oksidan	Endokrin bozucu Kanser
Paraben	Vücut Losyonları Bebek Bezleri	Koruyucu	Endokrin bozucu
Parfüm	Kozmetiklerin pek çoğu	Güzel koku	Lenf sisteminin tıkanması Endokrin bozucu
Formaldehit	Oje, saç boyası, kirpik yapıştırıcıları, şampuanlar	Koruyucu	Kanser
Ftalatlar	Kokular parfümler, deodorant ve losyonlar	çözücü	Baş ağrısı, Astım, Dermatit, Endokrin bozucu, Karaciğer/Böbrek/Akciğer hasarı, Kanser

Sodyum Lauril Sülfat (SLS, SLES)	Şampuan, temizleyici, sabun gibi köpüren kozmetikler	Yüzey aktif madde	Göz tahrişi, Depresyon, Karaciğer hasarı, Kanser
Toluen	Oje, saç boyası,	Renklendirici, çözücü	Üreme ve gelişme bozukluğu, Böbrek ve karaciğer hasarı
Oksibenzen	Güneş kremi	UVB koruma	Alerji, Endokrin bozucu, Organ hasarı
Kurşun	Dudak kremi, ruj, saç boyası		Kanser, Nörotoksisite
Civa	Maskara, göz damlaları		Alerji, Beyin hasarı
TiO₂	Güneş kremi, diş macunu	UVB koruma	DNA hasarı

Uluslararası Kansere Araştırma Kurumu (IARC)'nın yaptığı değerlendirmede, kuaförlük mesleği, mesane kanseri risk verileri esas alındığında Grup 2A' da (muhtemelen karsinojenik) yer almaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, insan karsinojeni (Grup 1) olarak kabul edilen orto-toluidin kimyasalının saç boyası ve saç şekillendirici ürünlerde tespit edildiği görülmüştür. Ayrıca saç şekillendirme çözeltileri içerisinde bulunan formaldehit'in (Grup 1) izin verilen sınır değerlerin çok üstünde bulunduğu ortaya konulmuştur [48]. Ülkemizde kimyasal maddeler ile çalışanlar için Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Yönetmeliğinde, Mesleki Maruziyet sınır değerleri verilmiştir. Burada 8 saatlik çalışma süresinde 50 ppm'den fazla o-Toluidine maruz kalınmaması gerektiği bildirilmiştir [49].

Saç boya, sprey ve şekillendiricilerin içinde bulunan o-Toluidin, aynı zamanda tekstil boyalarında ve böcek öldürücülerin veyabani otların içerisinde bulunan karsinojen bir maddedir. Türkiye'de yapılan kozmetik ürün tarama çalışmalarında piyasada bulunan saç boyaları ve kımalarda yapılan spektroskopik analizlerde yüksek oranda o-Toluidin maddesi bulunmuştur [50]. Ayrıca kuaförler üzerinde yapılan bir başka çalışmada da alınan kan örneklerinde yüksek oranda o-Toluidin maddesine rastlanılmıştır [51].

Mesleki risklerin yanı sıra günlük yaşamda rutin temizlik ve kozmetik ürünleri kullananlarda bu toksik maddelere karşı risk altındadır. Hayvan deneylerinden elde edilen kanıtlara dayanılarak Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı ve Ulusal İş Güvenliği ve Sağlık Enstitüsü tarafından insanlar için olası kanserojen olarak sınıflandırılan NanoTiO₂, Avrupa Birliğine bağlı bazı ülkelerce yasaklanması önerilen toksik maddelerdendir [52]. Üstelik bu madde gıdadan kozmetiğe, deterjanlardan ilaç endüstrisine pek çok alanda karşımıza çıkmaktadır. Gıdalarda, kozmetik ürünlerde ve ilaçlarda kaplama malzemesi, koruyucu, renklendirici olarak karşımıza çıkan TiO₂ nanoteknolojik olarak üretilmekte ve güvenli olduğu iddiasıyla neredeyse her üründe kullanılmaktadır. TiO₂ vücudun tanımadığı dolayısıyla vücuttan atılmayan ve dokularda depolanan bir maddedir. Kuvvetli nem tutucu özelliği ile vücudun su dengesini bozmakta, DNA üzerinde hasara neden olabilmekte, kromozomlara zarar vererek gen yapısını bozmaktadır [38]. Diş macunları, ağrıkesiciler, güneş koruyucular, beyazlatma özelliğine sahip deterjanlar gibi pek çok ürünle hayatımıza dahil olmaktadır. Ürünlerin kullanımı sonrası TiO₂ atmosferde yayılmakta ve bulut oluşumuyla havada uzak mesafelere taşınabilmekte sonunda inhalasyon yoluyla tüm canlıları etkileyebilmektedir. Bu parçacıkların beslenme, solunum, ve deri yoluyla vücuda alındığı ve kolaylıkla kana karışabildiği bilinmektedir. Nanopartiküllerin kana karıştıktan sonra vücutta pek çok organı etkileyerek bazı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olabileceği insan sağlığı bakımından zararlı olduğu pek çok çalışmada vurgulanmıştır [52,53].

Kişisel kullanımda yer alan kozmetiklerden en yaygın olanı şüphesiz diş macunlarıdır. Diş çürümelerini engellemek ve ağız sağlığını korumak adına günlük kullanılan diş macunları içeriğinde

pek çok kimyasal madde bulundurmaktadır. En bilineni ise Flor'dür. Dişlerde çürümeyi önlemek amacıyla kullanılan florun günlük 20 mg'dan daha fazla alınmasında florozise (diş minesinde bozulma ve renklenme) neden olduğu, florozisin yaygın görüldüğü yerlerde ise çocuklarda düşük zeka düzeyi gibi mental problemlerin görüldüğü bilinmektedir [54].

Kimyasal maddelerin toksisitelerinin belirlenmesi amacıyla deney hayvanları ile yapılan çalışmalar, daha ziyade tek bir üründen toksik maddeye maruziyet şeklinde yapılmaktadır. Ancak öngörülemeyen veya araştırmalar ile tespit edilemeyen gerçek, yüzlerce hatta binlerce toksik maddeye aynı anda ve uzun süreli gıda, kozmetik, ilaçlar ve tekstil ürünleri yoluyla maruz kalıyor oluşumuz ve bu farklı toksik maddelerin birbirleriyle etkileşiminin insan vücuduna etkilerinin henüz ortaya konmuş olmayışıdır. Günlük hayatta oldukça sık kullandığımız bu ürünlerin zararlarından kaçınmak için tüketici olarak içerik okuma alışkanlığının edinilmesi ve içeriklerde yer alan kimyasal maddelerin ve etkilerinin bilinmesi elzem görünmektedir.

IV. TEKSTİL ÜRÜNLERİNDE YER ALAN ZARARLI KİMYASAL MADDELER

Dünyada ve ülkemizde tekstil, hızla gelişen ve dönüşüm gösteren bir endüstridir. İnsanın en temel ihtiyaçları arasında beslenmeden sonra giyinme ve barınma gelmektedir. Günlük yaşamın her aşamasında giysiden nevresime, perdeden havluya, halıdan döşemelik kumaşa her alanda tekstil ürünlerini kullanmaktayız. Bu ürünler sürekli ihtiyaç duyduğumuz, çoğunlukla 5-10 yıl içerisinde mutlaka yenilediğimiz, üretim döngüsü içeren ürünlerdir. Bu ürünlerin pek çoğu hayatı kolaylaştırmak ve faydalı olmak amacıyla üretilseler de kullanım süreleri bittikten sonra zararlı atıklara dönüşmektedirler. Tekstil ürünlerinin çevresel etkileri, atıkların bertaraf veya geri dönüşümü oldukça önemli olmakla birlikte bu çalışmada iplikten dokumaya tekstil ürünleri üretilirken tercih edilen yöntemler, kullanılan kimyasal maddeler ve bu maddelerin zararları konusuna değinilecektir.

Yaşadığımız yüzyılda modadaki hızlı değişimler, üretilen ürünlerde sezon sayılarının artması, giyim ürünlerine talepte patlama yaşanması, ihtiyaç için değil zevk için giyinme, modası geçen ürünün artık kullanılmaması, kaliteli hammadde kullanımının düşmesine neden olmuştur. Eskimeden ürünlerin kullanımının terkedilmesi özellikle tekstil sektöründe geri dönüşümden elde edilen ucuz hammaddeye talebi artırmıştır. Sadece İngiltere'de 2005-2010 yılları arasında yüksek kaliteli ürünler kullanılmasına rağmen 2 milyon ton tekstil ve hazır giyim tüketimi gerçekleşmiştir. ABD'de ise 2009 yılında 9 milyon ton giyim ve ev tekstili tüketilmiştir. Bu rakamlar nüfusa oranla değerlendirildiğinde israfın boyutları göz önüne serilmektedir. Pek çok sektörde geri dönüşüm oldukça yaygın hale gelmesine rağmen tekstil ve giyim ürünlerinde geri dönüşüm oldukça düşük değerlerde kalmıştır [55]. Giyim ürünlerinde yaşanan bu artış düşük kaliteli hammaddeye de talebi artırmıştır. Neredeyse pek çok giyim ve tekstil ürünü kullan at şeklinde kullanılmakta ödenen ücretler ise kumaştan daha çok tasarıma verilmektedir. Tekstil ürünlerindeki bu dönüşüm sentetik lifleri hayatımıza sokmuştur. Günümüzde kullanılan en önemli sentetik lif polyesterdir. Dünyada toplam polyester üretiminin %50'si Çin'de üretilmektedir ve bu miktardünyada sentetik lif üretiminin %60'ını oluşturmaktadır [56]. Petrokimya esaslı polyesterin yanı sıra plastik şişelerin geri dönüşümü ile de sentetik lifler üretilmekte ve tekstil ürünlerinde kullanılmaktadır.

Bebek giyim ve tekstil sektörü üretimlerin hassas yapıldığını düşündüğümüz bir sektördür. İmkanlar ölçüsünde bebeklerin kullandığı tüm ürünlerin sağlığa uygun olduğunu bilmek ve ona göre seçmek isteriz. Yenidoğanda dahil olmak üzere bebeklerin kullandığı 77 tekstil üründen numuneler alarak (ham tekstiller, bez bebek bezleri, battaniyeler ve giysiler) 1 yıl boyunca analiz edilen bir araştırmanın sonuçları oldukça çarpıcıdır. İncelenen tekstil ürünlerinin %82'sinde BPA'ya rastlandığı ve en çok maruziyetin bebek çoraplarından kaynaklandığı bildirilmiştir [57]. BPA ise epoksi üretiminde kullanılan, polikarbonatplastik şişeler, kişisel bakım ürünleri ambalajlarında kullanılan gıda veya cilt ile alımı sonucuhormonal bozukluklara neden olan bir maddedir [58].

Kullanımı oldukça yaygın, en çok tercih edilen giyim ürünlerinden biri olan kot (denim), üretim aşamalarında kullanılan pek çok zararlı kimyasal ile sektörde araştırılması gereken önemli alanlardan biridir. Kot üretiminde kumlama ile eskitme, çalışanlarda meydana gelen meslek hastalığı (silikozis) nedeniyle 2009 yılında yasaklanmıştır. Oldukça revaçta olan ürünlerin eski gibi görünmesini sağlayan bu yöntemin yerine hızlıca yeni yöntemler konmuştur. Potasyum permanganat (PP) ile ağartma yöntemi oldukça tercih edilen bir yöntemdir ancak yeni araştırmalar da bu kimyasala uzun süre maruziyetin ciddi sorunlara yol açabildiği ifade edilmiştir. Ciltte iritasyon veya yanma, kızarıklık, acı ve kaşınma; gözde zarar veya kalıcı görme kaybı; solunumda nefes borusunda iritasyon; yutulması durumunda mide bulantısı, ishal ve diğer mide-barsak problemlerinin yanı sıra kardiyovasküler kolaps gibi ağır kalp sorunları PP maruziyetinin sonuçlarından bazılarıdır [59].

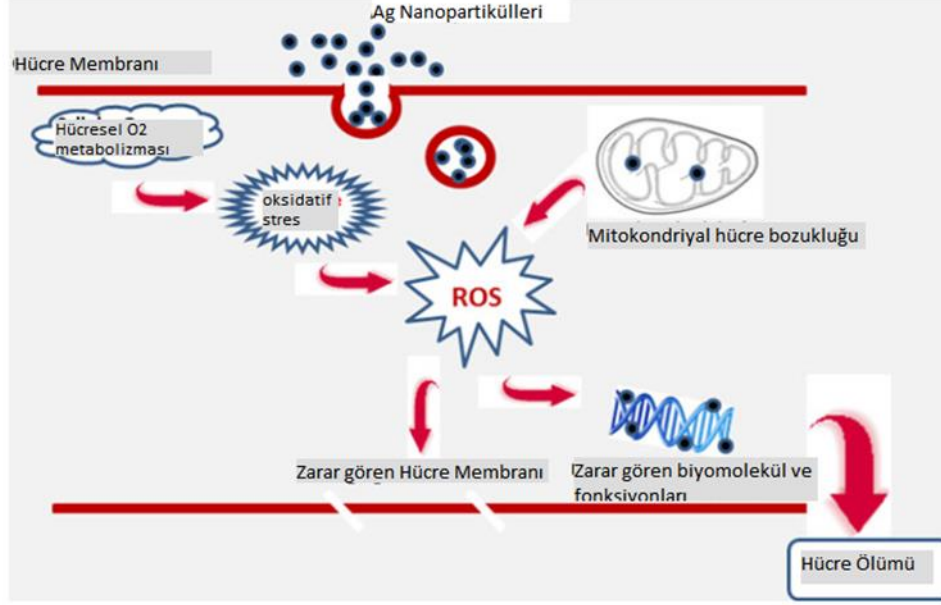
Hammaddeden bağımsız olarak kumaş üretiminde boyama işlemi kaçınılmaz işlemlerden biridir. Giysi üretiminde pek çok boya kullanılmakla birlikte en çok tercih edilen boyalar azo boyar maddelerdir. Azo boyalar giysi ile temas halindeki deriden kolayca emilerek karaciğer ve gastrointestinal sistemde enzimler aracılığıyla aromatik aminlere dönüşür [60]. Aromatik aminler, hipertansiyon, kan şekerinin yükselmesi, migren, damar daralması, solunum problemleri, alerji ve kanser gibi pek çok hastalığa neden olabilmektedirler [60], [61].

Tablo 4. *Tekstil ürünlerinde yer alan toksik bileşenler ve etkileri [57-58]*

İçerik	Ürün	Kullanım Amacı	Toksik Etki
Azoboya	Tüm tekstil ürünleri	boyama	DNA hasarı, mesane kanseri
Formaldehit	Giyim	Kırıksıklık önleyici	Kanser
Bisfenoller (BPA)	Tekstil		Endokrin bozucu
Ftalatlar	Tekstil	Esneklik, yumuşaklık kazandırma	Endokrin bozucu, Karaciğer/Böbrek/Akciğer hasarı, Kanser
Nanopartiküller	Tüm tekstil ürünleri	Antibakteriyel	Akciğer ve DNA hasarı

Son yıllarda pek çok alanda olduğu gibi tekstil sektöründe de nanoteknoloji oldukça yaygınlaşmıştır. Gümüş nanopartiküller (Ag-NP) ile antimikrobiyal özellikte giysilerin üretilmesi, ısı ve basınç ile renk değiştiren böylece nabız, tansiyon ve ateş ölçen ürünler, buruşmazlık, leke tutmazlık, mekanik, kimyasal, fotokimyasal veya termal bozunmalara karşı dayanıklı ev tekstil ürünleri oldukça ilgi çekmekte ve piyasada yer bulmaktadır [62,63].

Bazı çalışmalar Ag-NP'lerin HIV-1 virüsünün konakçıya bağlanmasını inhibe ettiğini göstermiştir [64]. Bu nedenle Ag-NP'lerin özellikle tıbbi malzeme ve koruyucu ekipmanlarda tercih edildiği görülmektedir. Ancak Awasthi ve arkadaşları [65], hamsterlar üzerinde yaptıkları çalışmada, Ag-NP'lerin hücre içinde oksidatif stres oluşturduğu ve bununla birlikte oluşan veren Reaktif Oksijen türlerinin DNA'ya zarar verdiği bunda apoptoza (hücre ölümü) yol açtığı bildirmiştir [65]. Şekil 1'de bu hasar açık bir biçimde verilmiştir.



Şekil 1. Ag-NP'lerin hamster yumurtalık hücreleriyle etkileşimi [65]

Burada bahsedilen kimyasalların yanı sıra, giysiler ve ev tekstil ürünleri ile maruz kaldığımız pek çok toksik kimyasal (epoksitler, krom, nikel, civa, formaldehit, kurşun, pestisitler, fitalatlar vb.) olduğu bilinen bir gerçektir [60], [66]-[68].

Tekstil ürünleri seçiminde güvenilir, çevreye duyarlı üretim yapan firmaların tercih edilmesi, sağlık açısından daha zararsız ve daha az işlem görmüş ürün tercihi, etiket okumada farkındalığın artırılması, maruz kaldığımız kimyasal kirliliğin azaltılmasında yardımcı faktörler olabilir. Teknolojinin gelişmesi ve hayatımıza kattığı yenilikler oldukça cazip görünmekle birlikte kalıcı etkileri uzun zaman sonra ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle 'her yeni çıkan' ürünü hayatımıza alırken biraz sorgulayıcı olmanın sağlığımızı ve benliğimizi korumamıza katkısı olacağı muhakkaktır.

IV. SONUÇ

Gıda, kozmetik ve tekstil ürünlerinde kullanılan kimyasallara maruziyetin, insan sağlığına etkilerini inceleyen bu çalışma, belirtilen sektörlerde kullanılan kimyasalların olumsuz etkilerini ve yol açtığı hastalıkları ortaya koymuştur. Konuyu bütüncül bir yaklaşımla ele almak son yıllarda hızla artış gösteren otoimmün hastalıklar, alerji, lösemi gibi çocukluk çağı hastalıkları ve kanserlerin nedenlerini anlamamızı mümkün kılmaktadır. Hekimliğin temel ilkesi olan "Önce zarar verme" ilkesinden yola çıkarak bireysel olarak "hastalanmamak" üzerine çalışılması gerektiği aşikârdır. Bunu yapabilmek içinse hastalıklara neden olan sebeplerin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada değerlendirilen konuların hepsi başlı başına bir araştırma konusudur. Ancak bu çalışmada birlikte ele alınması günlük yaşamda vazgeçilmez hale gelen ihtiyaç malzemelerinde ki tehlikenin farkına varılmasına sağlamaktır. Bu konuda gelecek araştırmalara ışık tutmak adına aşağıda verilen konular mutlaka araştırılmalıdır.

- Toksik kimyasalların insan vücudunda birikiminin nicel olarak belirlenmesi,
- Bu kimyasalların ne tür reaksiyonlar ve metabolitler (yan ürünler) oluşturduğu ve bu yan ürünlerin toksisite düzeyinin belirlenmesi,
- Tüm bu zararlı kimyasallardan korunma yöntemleri konularıdır.

Günlük yaşamda kullandığımız pek çok üründe yer alan çoğu zaman bilinçsizce maruz kaldığımız kimyasallara mecburiyetin acilen azaltılması gerekmektedir. Doğal, yerli ve daha az toksik ürünlerin üretiminin teşviki, halk sağlığı uzmanları ve Tarım Bakanlığının işbirliği ile bilinç düzeyinin artırılması oldukça önemlidir. Bunun gerçekleşmesi ise talep eden 'farkında' ve 'bilinçli' bireyler ile mümkün olabilecektir. "İnsan nasıl yaşarsa öyle ölür" hakikati aslında gıdanın, giyimin, teknolojinin insan hayatını nasıl dizayn ettiğini bize haber vermektedir. Kendini "insan kalma" savaşının ortasında bulan günümüz insanı gelecekte, bilgiyle zamana uyum sağlayan, doğal kalabilen ve doğanın bir parçası olduğunu unutmayan insan olarak varlığını koruyabilecektir. "İnsan ne yerse o'dur" düşüncesinden yola çıkarak, gıda ile insan varlığına savaş açanlar, kozmetik, ilaç ve teknolojide kullandıkları yöntemlerle işlerini şansa bırakmamışlardır.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Sağlam, "Türkiye'de iç göç olgusu ve kentleşme," *Hacettepe Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları (HÜTAD)*, ss. 33-44, 2006.
- [2] H. Başel, "Türkiye'de nüfus hareketlerinin ve iç göçün nedenleri," *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi*, ss. 515-542, 2007.
- [3] M. Öztürk, B. Topaloğlu, A.Hilton and J. Jongerden, "Rural–Urban Mobilities in Turkey: Socio-spatial Perspectives on Migration and Return Movements," *Journal of Balkan and Near Eastern Studies*, c. 20, s. 5, ss. 513-530, 2018.
- [4] Z.Akyıl, (2020, 30 Eylül). *Nüfusun yüzde 8'i köyde yaşıyor*, [Online]. [Erişim]: <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/nufusun-yuzde-8i-koyde-yasiyor/742904>.
- [5] K. Topal, "Çevre sorunlarının kaynağı olarak nüfus artışı mı. tüketim mi," *Türk İdare Dergisi* s. 470, ss. 133-152, 2011.
- [6] M. E. Aydın ve F. Bedük, "Çevre ve sağlıklı beslenme ilişkisi," *International 2nd. Halal and Healty Food Congress*, Konya, Türkiye, 2013, ss. 359-372.
- [7] A. Ayaz ve M. Yurttagül, *Besinlerdeki Toksik Öğeler-I*, Ankara, Türkiye: Sağlık Bakanlığı Yayınları, 2008, ss. 27-30.
- [8] P. Yılmaz (2020, 27 Aralık). *Tehlikeli kimyasalların sınıflandırılması depolanması kullanımı*, [Online]. Erişim: <https://slideplayer.biz.tr/slide/11336130/>
- [9] A. Ayaz ve M. Yurttagül, *Besinlerdeki Toksik Öğeler-II*, Ankara, Türkiye: Sağlık Bakanlığı Yayınları, 2012, ss. 15-30.
- [10] S. Özcan, A. Tor and M. E. Aydın, "Levels of organohalogenated pollutants in human milk samples from Konya City, Turkey," *Clean – Soil, Air, Water*, vol. 39, no. 10, pp. 978–983, 2011.
- [11] U. Uygun ve H. Köksel, "Gıda güvenliğini tehdit eden kimyasallar," *Gıda Güvenliği Derneği, Ankara*, 2010.
- [12] O. Erkmek, "Gıda kaynaklı tehlikeler ve güvenli gıda üretimi," *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, c. 53, ss. 220-235, 2010.
- [13] H. Çolak, G. Uğurluay, B. Nazlı ve E. B. Bingöl, "Paketlemede kullanılan nem tutucu filtrelerin hindi etinin raf ömrü üzerine etkisi," *İstanbul Üniv. Vet. Fak. Derg.*, c. 37, s. 2, ss. 107-116, 2011.

- [14] A. Uygun, "Diyatomit jeolojisi ve yararlanma olanakları," *Maden Mühendisleri Odası Dergisi*, c. 15, ss. 31–39, 2001.
- [15] İ. Ediz, S. Beyhan ve Ş. Yuvka, "Madencilikte tozlara bağlı meslek hastalıkları," *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, c. 002, ss. 111-120, 2001.
- [16] Y. Ogawa, Y. Kawamura, C. Wakui, M. Mutsuga, T. Nishimura and K. Tanamoto, "Estrogenic activities of chemicals related to food contact plastics and rubbers tested by the yeast two-hybrid assay," *Food Addit Contam*, vol. 23, pp. 422–430, 2006.
- [17] R. Durusoy ve A. O. Karababa, "Plastik gıda ambalajları ve sağlık," *TAF Preventive Medicine Bulletin*, c. 10, s. 1, ss. 87-96, 2011.
- [18] F. Zemheri, C. Uğuz, "Endokrin bozucu kimyasallar: Nonilfenol ve Bisfenol A," *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, c. 30, s. 1, ss. 71-76, 2018.
- [19] J. G. F. Hogervost, L. J. Schouten, E. J. M. Konings, R. A. Goldbohm and P. A. Van den Brandt, "A prospective study of dietary acrylamide intake and the risk of endometrial, ovarian, and breast cancer," *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.*, c. 16, ss. 2304–2311, 2007.
- [20] X. Shao, B. Xu, C. Chen, P. Li and H. Luo, "The function and mechanism of lactic acid bacteria in the reduction of toxic substances in food: a review," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, pp. 1-14, 2021.
- [21] CDC. "Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals," *Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention*, 2009.
- [22] C. Uğuz, M. Erdoğan, A. Sevimli, S. T. Onrat, M. Özdemir, F. Ö. Lenger, E. S. Arıkan, İ. Bayram, M. İşcan, İ. Togan, "Nonilfenol'ün bildiricilerde histopatolojik ve moleküler düzeydeki etkileri," *Türk Biyokimya Dergisi*, c. 29, s. 1, ss. 1-176, 2004.
- [23] A. Vivacqua, A. G. Recchia, G. Fasanella, S. Gabriele and A. V. Carpino Rago, "The food contaminants bisphenol A and 4-nonylphenol act as agonists for estrogen receptor alpha in MCF7 breast cancer cells," *Endocrine.*, c. 22, s. 3, ss. 275-284, 2003.
- [24] B. Balakrishnan, E. Thorstensen, A. Ponnampalam and M. D. Mitchell, "Passage of 4-Nonylphenol across the human placenta," *Placenta*, vol. 32, pp. 788-792, 2011.
- [25] S. Sise and C. Uguz, "Nonylphenol in human breast milk in relation to socio demo-graphic variables, diet, obstetrics histories and lifestyle habits in a Turkish Population," *Iran J Public Health*, vol. 46, no. 4, pp. 491-499, 2017.
- [26] F. Perera and J. Herbstman, "Prenatal environmental exposures, epigenetics and disease," *Reproductive Toxicology*, vol. 31, pp. 363–373, 2011.
- [27] C. Uğuz, O. Varışlı, C. Ağca and Y. Ağca, "Effects of nonylphenol on motion kinetics, acrosome and mitochondrial membrane potential in frozen-thawed bull sperm," *Kafkas Üniv. Vet. Fak. Derg.*, vol. 20, no. 4, pp. 583-590, 2014a.
- [28] C. Uğuz, O. Varışlı, C. Ağca and Y. Ağca "In vitro effects of nonylphenol on motility, mitochondrial, acrosomal and chromatin integrity of ram and boar spermatozoa," *Andrologia*, vol. 3, pp. 1-10, 2014b.
- [29] F. Aykan, (2020, 10 Aralık). *Tatlandırıcılar ve kanser*, [Online]. Erişim: <http://farukaykan.com/tatlandiricilar-ve-kanser/>

- [30] L. Stanley, "Review of data on the food additive aspartame," *External Scientific Report Supporting Publications*. EN. 399, 2013.
- [31] M. İşcan, İ. Togan, F. Severcan, C. Uğuz ve A. Ergüven, "Sakarya Nehri ve Değirmenderesi'nde alkilfenol kirliliği ve nonilfenol'ün alabalıklar (*Onchoryncus Mykiss*) üzerine etkileri," *The Scientific and Technical Research Council of Turkey*, c. 286, 2005.
- [32] F. Gültekin ve S. Akın, "İşlenmiş et ürünleri ve gıda katkı maddeleri," *Journal of Halal Life Style*, c. 1, s. 1, 2019.
- [33] D. Tosun ve N. Demirbaş, "Türkiye'de kırmızı et ve et ürünleri sanayiinde gıda güvenliği sorunları ve öneriler," *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 26, s.1, ss. 93-101, 2012.
- [34] S. Utaş, "Kozmetiklere Bağlı İstenmeyen Reaksiyonlar," *Türkderm*, c. 37, ss. 161-169, 2003.
- [35] Ö. Yaşar ve Ş. Akdeniz, "Kozmetikler ve kişisel bakım ürünlerinin sağlığa olumsuz etkileri ve hemşirenin rolleri: Literatür derleme," *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c.1, s. 3, ss. 118-125, 2020.
- [36] W. F. Bergfeld, D. V. Belsito, J. G. Marks Jr and F. A. Andersen, "Safety of ingredients used in cosmetics," *Journal of the American Academy of Dermatology*, vol. 52, no.1, pp. 125-132, 2005.
- [37] P. Stanly and K. V. Asha, "Cosmetic Toxicity & Its Management-An Ayurvedic Perspective," *Journal of Ayurveda and Integrated Medical Sciences*, vol. 5, no. 5, pp. 297-300, 2020.
- [38] H. Nordeng and G. C. Havnen, "Use of herbal drugs in pregnancy: a survey among 400 Norwegian women," *Pharmacoepidemiology and Drug Safety*, vol. 13, no. 6, pp. 371-380, 2004.
- [39] S. Gülüzar ve H. Özkan, "Kozmetik ürünlerdeki bazı kimyasalların gebe, fetus ve yenidoğan sağlığına etkisi," *Jinekoloji-Obstetrik ve Neonatoloji Tıp Dergisi*, c. 17, s. 3, ss. 473-477, 2020.
- [40] E. Örün, S. S. Yalçın, O. Aykut, G. Orhan, G. K. Morgil, K. Yurdakök and R. Uzun, "Breast milk lead and cadmium levels from suburban areas of Ankara," *Science of the Total Environment*, vol. 409, no. 13, pp. 2467-2472, 2011.
- [41] I. P. Hallen, L. Jorhe, B. J. Lagerkvist and A. Oskarsson, "Lead and cadmium levels in human milk and blood," *Science of the Total Environment*, vol. 166, no. 1-3, pp. 149-155, 1995.
- [42] K. Özkan, M. Ö. Danacı and Z. Çetin, "Interaction of pregnancy physiology and cosmetic products with teratogen effect and personal cleaning and care products," *H.Ü. Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 277-286, 2019.
- [43] Y. Yıldırım, N. Ertaş Onmaz, Z. Gönülalan, H. Hızlısoy, S. Al, C. Candemir Güngör, "Bisfenoller ve fitalatların halk sağlığı üzerine etkileri," *Erciyes Üniv Vet Fak Derg*, c. 17, s. 1, ss. 68-75, 2020.
- [44] S. Kocaöz ve K. Eroğlu, "Kozmetik ürünler ve kadın sağlığı," *TAF Prev Med Bull*, c. 13, s. 5, ss. 413-420, 2014.
- [45] D. Koniecki, R. Wang, R. P. Moody and J. Zhu, "Phtalate in cosmetic and personal care products: concentrations and dermal exposure," *Environmental Research*, vol. 111, pp. 329-336, 2011.

- [46] Y. Kaymak ve F.Tırnaksız,“Kozmetik ürünlere bağlı istenmeyen etkiler,” Gazi Üniversitesi *Mediko Sosyal Sağlık Merkezi, Gazi Üniversitesi Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Teknoloji Anabilim Dalı*, Ankara,2007.
- [47] A. Salih, *Gerçek Tıp*, 48. baskı, İstanbul, Türkiye: Maur Yayıncılık, 2020, ss. 426.
- [48] A. Şüküroğlu Aktaş, S.Burgaz,“Kuaför salonlarındaki kimyasallara mesleki maruziyet ve sağlık riski,” *Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji*, c. 75, s. 2, ss. 195-212, 2018.
- [49] Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik, 2013. (2021, 24 Haziran). [Online] Erişim:<https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18709&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>
- [50] M. Akyüz and Ş. Ata,“Determination of Aromatic Amines in Hair Dye and Henna Samples by Ion-Pair Extraction and Gas Chromatography–Mass Spectrometry,”*Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, vol. 47, no. 1, pp. 68-80, 2008.
- [51] G. M. Johansson, B. A. G. Jönsson and A.Axmon, “Exposure of Hairdressers to Ortho- and Meta-Toluidine in Hair Dyes,” *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 72, pp. 57-63, 2015.
- [51] N. Berik, “Titanyum dioksit ve nano titanyum dioksit kullanımının su ürünlerine olası zararları,”*Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, vol. 1, no. 2, pp. 59-65, 2018.
- [52] P. Hoet, I. Hohlfeld and O. Salata,“Nanoparticles-known and unknown health risks,”*J Nanobiotechnology*, vol. 2, pp.1–15, 2004.
- [53] C. Buzea, II.Pacheco, K. Robbie, “Nanomaterials and Nanoparticles: Sources and Toxicity,” *Biointerphases*, vol. 2, no. 4, pp. 17-71,2007.
- [54] B. Avcı, S. U. Baysal ve G. Gökçay,“Çocuklarda flor kullanımının yarar ve zararlarının değerlendirilmesi,” *Çocuk Dergisi*, c. 9, ss. 8-15, 2009.
- [55] A. Telli, N. Özdil and O. Babaarslan, “PET şişe atıklarının tekstil endüstrisinde değerlendirilmesi ve sürdürülebilirliğe katkısı,” *Tekstil ve Mühendis*, c. 19, s.86, ss. 49-55,2012.
- [56] Ö. E. İşmal ve L. Yıldırım,“Tekstil tasarımında çevre dostu yaklaşımla,”*Akdeniz Sanat Dergisi*,c. 5, s.8, ss. 9-13,2012.
- [57] J.Xue, W.Liu and K.Kannan, “Bisphenols, benzophenones, and bisphenol A diglycidyl ethers in textiles and infant clothing,”*Environmental science & technology*, vol. 51, no. 9, pp. 5279-5286, 2017.
- [58] J. Rovira and J. L. Domingo, “Human health risks due to exposure to inorganic and organic chemicals from textiles: A review,” *Environmental Research*, vol. 168, pp. 62-69, 2019.
- [59] Y. Yasin, “Kotlar Yürümekle Aşınmaz: Kot Ağartmada Yeni Bir Tehlike (Mi?),”*Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi (MSG)*,c.17, s.65, ss. 38-40,2018.
- [60] E. Örün, “Giysiler ve çocuk sağlığı: ne giysin? nasıl yıkansın,” *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, c. 58, s.1, ss. 43-49,2015.
- [61] M. Kızıl ve H. T. Besler, “Heterosiklik aromatik amin oluşumunun önlenmesi veya azaltılması,” *Beslenme ve Diyet Dergisi*, c. 40, s. 2, ss. 191-196,2012.



- [62] Z.Açık ve S.Güven, “Nanoteknoloji, Çevre ve Aile,” *Tüketici Yazuları (III)*, ss. 143, 2012.
- [63] Ş. Celep ve E. Koç, “Nanoteknoloji ve tekstilde uygulama alanları,” *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, c. 7, s.7, ss. 43-52, 2008.
- [64] J. L. Elechiguerra, J. L. Burt, J. R. Morones, A.Camacho-Bragado, X. Ga, Lara, M. J. Yacaman, “Interaction of Silver Nanoparticles with HIV-1,” *Journal of Nanobiotechnology*, vol. 3, no.1, pp. 1-10,2005.
- [65] K. K. Awasthi, A. Awasthi, N. Kumar, P. Roy, K. Awasthi and P. J. John, “Silver Nanoparticle Induced Cytotoxicity, Oxidative Stress, and DNA Damage in CHO Cells,” *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 15, no. 9, pp. 1898, 2013.
- [66] S. Manzoor, M. H. Shah, N. Shaheen, A. Khaliq and M.J affar, “Multivariate analysis of trace metals in textile effluents in relation to soil and groundwater,” *J Hazard Mater.*, vol. 137, pp. 31-37, 2006.
- [67] N. Kurtoğlu ve D. Şenol, “Tekstil ve ekolojiye genel bakış, karsinojen ve allerjik etki yapabilen tekstil kimyasalları,” *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 7, s.1, ss. 26-31,2004.
- [68] F. Balpetek Gündüz ve T. Gülümser, “Tekstil ve konfeksiyon sektöründe ekolojik etiketler,” *Electronic Journal of Vehicle Technologies/Tasit Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 8, s. 2, ss. 48-62, 2014.



Düzce University Journal of Science & Technology

Research Article

An Optimization Approach for a Fresh Food Supply Chain: An Application for the Orange Supply Chain Design in Turkey

 Gürkan Güven GÜNER^{a,*},  Durdu Hakan UTKU^a

^a Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, University of Turkish Aeronautical Association, Ankara, TURKEY

* Corresponding author's e-mail address: gguner@thk.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.790485

ABSTRACT

The optimization of supply chain problems in various industry areas is crucial in terms of controlling the quality of the products and costs during the supply chain processes. Protecting and controlling the quality of the product in the food supply chain processes while minimizing the cost is a difficult and critical problem in the food industry. In this study, an application of a model that integrates the quality of the food in decision-making on distribution and production in a food supply chain is implemented using real-life data in Turkey. The degradation of quality of products in storage or transportation is usually based on the storage temperature, storage time, and other constants such as activation energy. Therefore, prediction for the quality of food products is a complex task because of the dynamics of storage conditions and various product characteristics. A methodological approach is proposed to model the degradation of food quality in this study. The rate of quality degradation of food products is evaluated by the proposed approach. A mixed-integer programming model is developed for the optimization of distribution and production planning. To solve the problem, GAMS (General Algebraic Modeling System) CPLEX solver is used as an optimization tool. The results of the case study shows that the suggested model in this study is implementable to the problem with acceptable solution time. In addition, the suggested model is adaptable for different types of food supply chains. This study aims to develop a methodological approach that can be used as a guide for decision-makers.

Keywords: Food supply chain, optimization, mixed-integer linear programming, food industry

Bir Taze Gıda Tedarik Zinciri için Bir Optimizasyon Yaklaşımı: Türkiye’de Portakal Tedarik Zinciri Tasarımı için Bir Uygulama

ÖZ

Çeşitli endüstri alanlarında tedarik zinciri problemlerinin optimizasyonu, tedarik zinciri işlemleri süresince ürünlerin kalitesini ve maliyetleri kontrol etmek açısından önemlidir. Gıda tedarik zinciri işlemlerinde maliyeti en küçüklerken ürünün kalitesini korumak ve kontrol etmek, gıda endüstrisinde zor ve kritik bir problemdir. Bu çalışmada, bir ürünün kalitesini bir gıda tedarik zincirinde dağıtım ve üretim üzerine karar vermede entegre eden bir modelin Türkiye’deki gerçek hayat verilerinin kullanılmasıyla bir uygulaması yapılmıştır. Depolama ve taşımada ürünlerin kalitesinin bozulması genellikle depolama sıcaklığına, depolama zamanına ve aktivasyon enerjisi gibi başka sabitlere bağlıdır. Bu sebeple, depolama koşullarının dinamiklerinden ve çeşitli ürün karakteristiklerinden dolayı, gıda ürünlerinin kalitesinin tahmini kompleks bir işittir. Bu çalışmada gıda kalitesinin bozulmasını modellemek için metodolojik bir yaklaşım önerilmiştir. Gıda ürünlerinin kalite bozulmasının oranı önerilen yaklaşım ile hesaplanmıştır. Dağıtım ve üretim planlamanın optimizasyonu için bir karma-tam sayılı programlama modeli geliştirilmiştir. Problemi çözmek için GAMS (General Algebraic Modeling System) CPLEX

çözücüsü bir optimizasyon aracı olarak kullanılmıştır. Durum çalışmasının sonuçları bu çalışmada önerilen modelin kabul edilebilir bir çözüm zamanı ile probleme uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca, önerilen model farklı tipteki tedarik zincirlerine uyarlanabilir. Bu çalışma, karar vericiler için bir rehber olarak kullanılabilir bir metodolojik yaklaşımı geliştirmeyi hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Gıda tedarik zinciri, optimizasyon, karma-tam sayılı doğrusal programlama, gıda endüstrisi

I. INTRODUCTION

Although its importance, food supply chain management (SCM) is not underlined in the literature very much. One of the reasons can be the complexity of food SCM's network because of the varied characteristics of products and processes. Because of these characteristics, generally, practicability for integration of supply chain in food SCM is limited [1]. The quality of the product is a significant characteristics to consider during the food SCM [2]. The controlling and protecting operations during the supply chain processes increase the food quality, which can vary according to environmental conditions of transportation and storage [3]. It is stated by the Trienekens and Zuurbier that quality assurance can dominate the distribution and production processes in SCM [4].

In the study of Lütke Entrup et al., mixed-integer linear programming (MILP) models to integrate the shelf life of food production are considered [5]. Considering the product quality control, the product perishability is generally underlined in the literature. The perishability can be a random lifetime and a fixed lifetime. However, the degradation of quality does not need to be considered as a fixed lifetime because of continuously varied environmental conditions.

In this study, the modeling approach for quality degradation and modeling approach for quality in production and distribution are presented. Then, the integration of temperature and quality degradation for the SCM is explained. The remaining sections of the study are the literature review, quality degradation model, mathematical model, case study, and conclusions.

A. LITERATURE REVIEW

Many studies investigate the food SCM problem in the literature. In the study of Sgarbossa and Russo in 2017, it is aimed to provide a methodology for developing new models for closed-loop supply chains [6]. The new models affect the design of the closed-loop supply chain by various sets of logistic providers and resource suppliers. A case study is implemented for a food supply chain in the study. Creating a new sustainable model of the closed-loop supply chain by the use of recover waste from meat processing is the main objective of the study. In the study of Zilberman et al. in 2019, a conceptual system defining the strategies of a company in the food sector for its food supply chain by innovation is presented [7]. The innovating company considers the strategic design of its food supply chain to apply the innovation about the procurement of feedstock, production, and marketing. In the study of Allaoui et al. in 2018, a literature review of operational research techniques to plan sustainable supply chains is presented [8]. A hybrid solution methodology, which includes two stages, is suggested. A selection procedure is implemented by a hybrid multi-criteria decision-making approach. The results obtained from the first stage being used to improve the multi-objective optimization model in the second stage to plan the agro-food supply chain network.

In the study of Grunow et al. in 2011, food quality is integrated into decision making on distribution and production for a food SCM [9]. In the study, a methodologic approach is provided to model the degradation of food quality. This approach is integrated into a MILP model, which is for the planning of distribution and production processes. The suggested model is tested for a case study and results show that the suggested model can be used for the design and distribution planning by considering criteria of

cost and food quality together. In the study of Chang and Aung, it is underlined that the food industry is becoming more customer-oriented and requires faster response times [10]. In the study, the application of traceability as a tool to help in the assurance of food quality and safety. In addition, this is implemented to get consumer confidence. The study shows extensive information on traceability in terms of quality and safety in the food SCM. The study of Manzini and Accorsi shows a cognitive and general system for the assessment of food SCM and logistics [11]. In the study, it is underlined that SCM and logistics have critical importance in the food industry. The purpose of the suggested approach is designing food SCM to increase sustainability, safety, quality, and efficiency of logistics. A case study is implemented in the study to discuss the efficiency of the suggested approach.

In the study of Yu and Nagurney, a network-dependent food SCM model under oligopolistic perishability and competition is suggested [12]. The suggested model considers the deterioration of food during the supply chain processes. It is indicated in the study that the reason for considering food deterioration is increasing food freshness (quality) and safety. It is underlined in the study of Chang and Aung that the food SCM is more difficult and complicated compared to other supply chain types because of the perishability and short shelf-life characteristics of foods [13]. The study indicates that cold SCM or temperature-controlled SCM is very beneficial to control the quality of food products. The study suggests techniques to develop the ability to identify an optimal temperature for multi-commodity refrigerated storage. The implemented simulation tests in the study prove that the outputs of the suggested techniques are more accurate in comparison with conventional techniques. In the study of Diabat et al., a model, which analyses different risks included in a food SCM by interpretive structural modelling (ISM), is created [14]. In the study, the different kinds of risks are determined depended on a literature review and expert opinions in the food industry. The suggested model in the study is validated by a case study. Table 1 summarizes the mentioned studies in the literature according to their methodologies and objectives.

Table 1. Literature summary

Reference	Methodology	Objective
Sgarbossa and Russo, 2017 [6]	Developing new models for closed-loop supply chains	Creating a new sustainable model of the closed-loop supply chain by the use of recover waste from meat processing
Zilberman et al., 2019 [7]	Considering the strategic design of the SCM to apply the innovation about the procurement of feedstock, production, and marketing	Presenting a conceptual system defining the strategies of a company in the food sector for the food supply chain by innovation
Allaoui et al., 2018 [8]	Suggesting a hybrid solution that includes hybrid multi-criteria decision-making approach and multi-objective optimization model.	Planning sustainable supply chains by a literature review of operational research techniques
Grunow et al., 2011 [9]	An MILP model, which is for the planning of distribution and production processes	Modeling the degradation of food quality, which is integrated into decision making on distribution and production for a food SCM, to minimize the total cost for the short-term planning horizon
Chang and Aung, 2014 [10]	Presenting extensive information on traceability in terms of quality and safety in the food SCM	Application of traceability as a tool to help in the assurance of food quality and safety, in addition, to get consumer confidence.
Manzini and Accorsi, 2013 [11]	Presenting a cognitive and general system for the assessment of food SCM and logistics	Designing food SCM to increase sustainability, safety, quality, and efficiency of logistics

Table 2. (cont.) Literature summary

Yu and Nagurney, 2013 [12]	Suggesting a network-dependent food SCM model	Increasing food freshness (quality) and safety by considering food deterioration
Chang and Aung, 2014 [13]	Suggesting cold (or temperature-controlled) SCM techniques	Developing the ability to identify an optimal temperature for multi-commodity refrigerated storage.
Diabat et al., 2012 [14]	Using ISM and determining different kinds of risk depended on a literature review and expert opinions	Analyzing different risks included in a food SCM
This study	Suggesting an extended MILP model, which considers consumers' perspective	Minimizing the total cost in food SCM by the integration of temperature and quality degradation of products for the long-term planning horizon

As it is seen in Table 1, this study contributes the literature by suggesting an extended mixed-integer linear programming model, which considers consumers' perspective and minimize the total cost in food SCM by the integration of temperature and quality degradation of products for the long-term planning horizon.

II. METHODOLOGY

The quality degradation models and suggested mathematical model are discussed in this section of the article.

A. QUALITY DEGRADATION MODEL

The quality degradation models, which are introduced in the study of Grunow et al. [9], are used for the considered food product in this study. For a more detailed discussion about quality degradation models, the referred study [9] can be investigated. The degradation of quality for food products in storage usually depends on storage time t , storage temperature T , and other constants such as gas constant or activation energy. Therefore, it can be evaluated by the following Eq. (1):

$$\frac{dq}{dt} = kq^n \quad (1)$$

In Eq. (1), q , k , and n represent the product's quality, the degradation rate based on environmental factors such as temperature, and power factor (order of the reaction) which is for identifying whether the reaction rate is based on the amount of the product's quality, respectively. In general, the value of n is one or zero for first-order reactions and zero-order reactions, respectively. Therefore, n determines the exponential or linear quality decay. For instance, products such as fish and fresh meat, which the degradation of quality based on microbial growth, the degradation of quality follows the first-order reaction. On the other hand, for food products such as vegetables and fresh fruits, the quality degradation follows a zero-order reaction.

Temperature is a critical factor to control the quality of products. The quality degradation rate k , is dependent on the Arrhenius equation. Eq. (2) represents this equation:

$$k = k_0 \cdot \exp[-E_a / RT] \quad (2)$$

In Eq. (2), k_0 is a constant, E_a is the activation energy, T is the absolute temperature, and R is a gas constant. For zero-order and first-order reactions, the quality of a product based on certain storage periods $i = 1, \dots, m$ can be evaluated by the following Eq. (3) and Eq. (4), respectively.

$$q = q_0 - \sum_{i=1}^m k_i t_i \quad (3)$$

$$q = q_0 \cdot \exp \left[- \sum_{i=1}^m k_i t_i \right] \quad (4)$$

When the Eq. (3) and Eq. (4) are substituted for the Eq. (2), which is for the rate of quality degradation, the quality of a product for first-order and zero-order reactions can be seen in Eq. (5) and Eq. (6), respectively.

$$q = q_0 - \sum_{i=1}^m k_0 t_i \cdot \exp[-E_a / RT_i] \quad (5)$$

$$q = q_0 \cdot \exp \left[- \sum_{i=1}^m k_0 t_i \cdot \exp[-E_a / RT_i] \right] \quad (6)$$

For zero-order reaction, the quality change Δq for a period that has length of τ and temperature level T can be calculated by the following Eq. (7).

$$\Delta q(\tau, T) = -k_0 \tau \cdot \exp[-E_a / RT] \quad (7)$$

The same Eq. (7) results for the first-order reaction.

B. MATHEMATICAL MODEL

The following notation and model formulation is used for the suggested mathematical model, which is developed depending on the study of Grunow et al. [9]. The related model is extended through the consumers' perspective [9]. Therefore, the unit cost of the consumer is also considered for products. The purpose is, defining the real consumption amount for each year by minimizing total consumer costs and satisfying the total demand at the same time. In [9], the flow quantities on arcs (between cities) are exactly equal to the total demand of retailer cities. However, in this study, it can be greater than the total demand.

Indices:

i	node index for storage and production
i, j	index pair for the arc from node i to j
q	index for quality, $q \in Q$
k	temperature index, $k \in \{1, \dots, S\}$
t	time index (year), $t \in \{1 - \omega_{max}, \dots, H\}$

Sets:

R	retailer (demand) cities
D	distribution cities
P	production cities
U	storage and production cities, $U = P \cup D$
N	all nodes, $N = P \cup D \cup R$
A	all arcs
Q	set of all quality levels q , $Q = \{1, \dots, B\}$

$v(i)$	predecessor nodes
$n(i)$	successor nodes

Parameters:

q_{max}	the maximum level of quality
$q_{i,min}$	the minimum level of quality for products in the city i
$p_{i,q,t}$	the production cost of a product in the city i by quality q in t period
$d_{j,t}$	demand of city j in period t
s_i	batch size in the city i
$a_{i,t}$	capacity of production of the city i in t period
$f_{i,j,k}$	transportation cost of a product on arc (i,j) at k temperature (per period)
ω_{max}	maximum lead time of transportation
$g_{i,k}^{(1)}$	cost of cooling for city i at temperature level k (per period)
$g_{i,k}^{(2)}$	cost of storage for unit product in the city i at k temperature (per period)
w_i	cost of waste disposal for unit product that occurs when the quality of product decreases below the needed quality level the in city i
$\Delta q_{i,k}$	degradation of quality for stored products in city i at k temperature (per period)
$u_{i,j}$	the transportation duration on arc (i,j)
$\Delta q_{i,j,k}$	degradation of quality for transported products on arc (i,j) at k temperature
$dist_{i,j}$	distances (km) between cities i and j
$fc_{i,j}$	fuel cost of transportation between city i and j
$cc_{i,t}$	the unit consumer cost for the product in the city i at period t
M	a large positive value

Decision Variables:

$I_{i,q,k,t}$	inventory amount in the city i by q quality and k temperature at the start of t period
$x_{i,j,q,k,t}$	quantities of flow on arcs (i,j) in t period by k temperature and q quality
$y_{i,q,t}$	batch numbers by q quality needed to be manufactured in the city i in t period
$z_{i,k,t}$	binary variable that shows whether the city i has k temperature in t period
$o_{i,j,k,t}$	binary variable shows that whether the equipment of transportation on arc (i,j) has k temperature in t period i
$L_{i,t}$	total consumption amount in the city i at t period
$\Omega_{i,t}$	the waste amount at city i in t period

B. 1. Model Formulation

The distribution and production problem can be formulated as the following:

$$\begin{aligned}
\min. \quad & \sum_{t=1}^H -\omega_{max} \sum_{i \in P} \sum_{q \geq q_{i,min}} p_{i,q,t} s_i y_{i,q,t} + \\
& \sum_{t=1}^H -\omega_{max} \sum_{k=1}^S \sum_{(i,j) \in A} \sum_{q \geq q_{j,min} + \Delta q_{i,j,k}} f_{i,j,k} u_{i,j} x_{i,j,q,k,t} + \\
& \sum_{t=1}^H -\omega_{max} \sum_{k=1}^S \left(\sum_{i \in U} g_{i,k}^{(1)} z_{i,k,t} + \sum_{i \in U} \sum_{q \geq q_{i,min} + \Delta q_{i,k}} g_{i,k}^{(2)} I_{i,q,k,t} \right) + \\
& \sum_{t=1}^H -\omega_{max} \sum_{i \in U} w_i \Omega_{i,t} + \sum_{t=1}^H -\omega_{max} \sum_{i \in R} cc_{i,t} L_{i,t}
\end{aligned} \tag{8}$$

Subject to:

$$\begin{aligned}
\sum_{k=1}^S I_{i,q,k,t+1} &= \sum_{k=1}^S I_{i,q+\Delta q_{i,k},k,t} + s_i y_{i,q,t} - \\
\sum_{k=1}^S \sum_{j \in \{j \in n(i) \mid q \geq q_{j,min} + \Delta q_{i,j,k}\}} x_{i,j,q,k,t}, \quad & \forall i \in P, \quad \forall q \in \\
\{Q \mid q_{i,min} \leq q \leq q_{max}\}, \quad & \forall t \in \{1 - \omega_{max}, \dots, H\}
\end{aligned} \tag{9}$$

$$\sum_{k=1}^S I_{i,q,k,t+1} = \sum_{k=1}^S I_{i,q+\Delta q_{i,k},k,t} + \sum_{k=1}^S \sum_{j \in v(i)} x_{j,i,q+\Delta q_{j,i,k},k,t-u_{j,i}} - \sum_{k=1}^S \sum_{j \in \{j \in n(i) \mid q \geq q_{j,\min} + \Delta q_{i,j,k}\}} x_{i,j,q,k,t}, \quad \forall i \in D, \forall q \in \{Q \mid q_{i,\min} \leq q \leq q_{\max}\}, \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (10)$$

$$\Omega_{i,t} = \sum_{k=1}^S \sum_{q=q_{i,\min}}^{q_{i,\min} + \Delta q_{i,k} - 1} I_{i,q,k,t}, \quad \forall i \in U, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^S \sum_{j \in v(i)} \sum_{q \geq q_{i,\min}} x_{j,i,q+\Delta q_{j,i,k},k,t-u_{j,i}} \geq d_{i,t}, \quad \forall i \in R, \quad \forall t \in \{1, \dots, H\} \quad (12)$$

$$L_{i,t} \geq d_{i,t}, \quad \forall i \in R, \quad \forall t \in \{1, \dots, H\} \quad (13)$$

$$\sum_{q \geq q_{j,\min} + \Delta q_{i,j,k}} x_{i,j,q,k,t} \leq M o_{i,j,k,t}, \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall k \in \{1, \dots, S\}, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (14)$$

$$\sum_{q \geq q_{j,\min} + \Delta q_{i,j,k}} x_{i,j,q,k,t} \geq o_{i,j,k,t}, \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall k \in \{1, \dots, S\}, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^S o_{i,j,k,t} \leq 1, \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (16)$$

$$I_{i,q,k,t} \leq M z_{i,k,t}, \quad \forall i \in U, \forall q \in \{Q \mid q \geq q_{i,\min}\}, \forall k \in \{1, \dots, S\}, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^S z_{i,k,t} = 1, \quad \forall i \in U, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (18)$$

$$\sum_{q \geq q_{i,\min}} s_i y_{i,q,t} \leq a_{i,t}, \quad \forall i \in P, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (19)$$

$$I_{i,q,k,t} \geq 0, \quad \forall i \in U, \forall q \in \{Q \mid q \geq q_{i,\min}\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, S\}, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (20)$$

$$x_{i,j,q,k,t} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall q \in \{Q \mid q \geq q_{i,\min}\}, \quad \forall k \in \{1, \dots, S\}, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (21)$$

$$o_{i,j,k,t} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A, \quad \forall k \in \{1, \dots, S\}, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (22)$$

$$z_{i,k,t} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in U, \quad \forall k \in \{1, \dots, S\}, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (23)$$

$$y_{i,q,t} \geq 0 \text{ and integer}, \quad \forall i \in P, \quad \forall q \in \{Q \mid q \geq q_{i,\min}\}, \quad \forall t \in \{1 - \omega_{\max}, \dots, H\} \quad (24)$$

The objective function (8) of the mathematical model minimizes the total cost, which includes the cost of production, storage, transportation, and cooling. The objective function also minimizes the total cost of consumers in each city for each period compared to the model in the study [9]. Constraints (9) and (10) provide inventory balances for production and distribution cities, respectively. Constraint (11) calculates the waste amount of products, which quality is between certain intervals. In addition, this constraint provides that when the quality is less than a certain level, the inventory is zero. Constraint (12) is for satisfying requirements of quality and demand for retailer cities. The total transported amount of product can be more than the total demand of the retailer city. Constraint (13) satisfies that the total consumption amount should be greater or equal to total demand. Constraints (14), (15), and (16) are for the requirement of transportation equipment and selecting the temperature of the transportation equipment. Constraint (15) also increases the solution efficiency. It provides that binary variables for transportation equipment become zero when there is no flow between corresponding cities. Constraint (17) determines the inventory under different temperatures. Constraint (18) selects only one temperature level for each storage city because the facility in each storage city should be operated at a single temperature level. Therefore, it is required to use the binary variable $z_{i,k,t}$ for the assignment of only

one temperature level k to the storage city i . Constraint (19) is for production capacity. Finally, constraints (20) – (24) are non-negativity and integer constraints.

III. CASE STUDY

The orange supply chain processes in Turkey are considered in this study. A total of 17 production cities of orange and a total of 4 retailers (or demand) cities are considered. There are also 2 distribution cities between production and retailer cities. It is considered that the direct transportations between production and retailer cities are possible. The planning horizon (H), which is the upper limit of time index t , is future 6 years in this study and a one-time period t , in the mathematical model means one year. For this purpose, firstly, the real data of the past 6 years are collected and then, the forecasted values for future 6 years are estimated. These forecasted values are used for the case study. The past unit costs (TL/kg) of orange producers and consumers between years 2014 and 2019 [15] and the forecasted cost values for years between 2020 and 2025 in Turkey are shown in Table 2 and Table 3, respectively. The forecasted values are estimated depending on the past values in Table 2. Because the past cost values approximately have a very consistent and increasing trend except the fall in year 2016 for both costs and there is no seasonality, the forecasted cost values are estimated by a time series trend analysis considering linear trend model in Minitab.

Table 2. Unit cost of orange producer and consumer for different years (TL/kg)

year	2014	2015	2016	2017	2018	2019
producer	0.53	0.67	0.60	0.71	0.80	1.05
consumer	1.78	2.28	2.07	2.79	3.07	4.19

Table 3. Forecasted cost of orange producer and consumer for different years (TL/kg)

year	2020	2021	2022	2023	2024	2025
producer	1.03	1.12	1.21	1.30	1.39	1.47
consumer	4.21	4.64	5.07	5.50	5.94	6.37

Table 4 shows the past total orange (Washington oranges, Yafa oranges and other oranges) production (kg) of 17 producer cities between years 2014 and 2019 [16].

Table 4. Total orange production of cities between 2014 and 2019 (kg)

City	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Adana	390,294,000	410,824,000	435,657,000	407,178,000	416,102,000	370,224,000
Antalya	500,663,000	496,487,000	504,655,000	549,681,000	525,821,000	508,903,000
Artvin	763,000	763,000	666,000	674,000	377,000	347,000
Aydın	55,505,000	55,779,000	53,105,000	55,416,000	61,544,000	61,026,000
Balıkesir	420,000	350,000	350,000	382,000	422,000	228,000
Burdur	13,000	13,000	13,000	15,000	16,000	16,000
Giresun	135,000	132,000	126,000	118,000	101,000	83,000
Hatay	290,220,000	313,767,000	316,019,000	342,187,000	319,026,000	294,602,000
K.maraş	1,066,000	566,000	472,000	510,000	456,000	317,000
Kastamonu	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mersin	276,488,000	276,702,000	275,147,000	284,574,000	288,547,000	215,972,000
Muğla	229,571,000	230,842,000	249,930,000	296,617,000	265,610,000	232,912,000
Ordu	50,000	69,000	77,000	84,000	82,000	72,000
Osmaniye	32,982,000	29,074,000	12,262,000	10,912,000	20,308,000	13,861,000
Rize	570,000	569,000	572,000	638,000	629,000	577,000
Trabzon	378,000	331,000	335,000	369,000	341,000	317,000
İzmir	556,000	529,000	613,000	644,000	617,000	542,000

Table 5 shows the forecasted total orange (Washington oranges, Yafa oranges and other oranges) production (kg) of 17 producer cities between years 2020 and 2025. The forecasted production values are estimated based on the production values in Table 4. The past production values of most of the cities in Table 4 do not have an increasing or decreasing trend and seasonal component in general. Therefore, it is approved to use a non-seasonal autoregressive integrated moving average (ARIMA) model, which is used in time series analysis. The ARIMA parameters p (order of the autoregressive model), d (degree of differencing), and q (order of the moving average model) are determined according to past data of each city. After the comparisons between the results gathered from using different ARIMA parameters, it is approved to use ARIMA(2,0,2) for the most of the cities. The forecasted values are estimated by implementing ARIMA model in RStudio, which is an integrated development environment for R programming language. The more detailed information for the ARIMA models and the time series analyses in the R programming language can be found in the referenced books [17] and [18], respectively.

Table 5. Forecasted total orange production of cities between 2020 and 2025 (kg)

City	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Adana	409,293,465	428,618,706	422,409,176	402,723,111	393,286,518	401,881,296
Antalya	493,588,461	509,884,249	533,084,835	533,793,761	512,567,484	497,301,647
Artvin	372,965	477,430	620,397	736,973	774,454	716,147
Aydın	55,815,515	53,104,442	54,467,463	57,030,277	58,131,944	57,468,104
Balıkesir	547,241	225,833	428,153	392,512	293,178	450,896
Burdur	14,888	13,447	12,665	13,080	14,402	15,711
Giresun	87,145	90,684	93,705	96,283	98,484	100,363
Hatay	299,270,606	321,402,468	334,614,748	323,934,869	303,714,144	298,543,999
K.maraş	365,678	543,405	659,644	684,367	662,043	636,599
Kastamonu	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Mersin	256,504,425	258,402,254	258,491,115	258,495,276	258,495,471	258,495,480
Muğla	225,752,275	259,173,798	285,744,246	269,792,059	234,049,242	227,319,893
Ordu	68,242	67,228	66,707	66,439	66,302	66,231
Osmaniye	13,404,245	22,934,324	23,572,319	19,997,555	17,506,310	17,445,356
Rize	552,986	582,799	626,957	628,453	587,018	557,278
Trabzon	391,424	322,186	329,448	386,382	318,599	338,003
İzmir	547,196	619,611	650,637	594,231	535,745	562,783

The orange consumption per capita in the 2017/2018 and 2018/2019 seasons are 10.8 kg [19] and 13.5 kg [20], respectively, in Turkey. There is 25% increase between the seasons but this increase can be varied for each consecutive year. Because there is not enough data and it is very difficult to forecast the yearly orange consumption per capita, it is assumed that this value is 13.5 kg for the each future 6 year and probable yearly variations are neglected. Multiplying this ratio with the total forecasted population of four retailer cities in Table 7 [21], total forecasted orange demand (kg) of retailer cities for different years is calculated and shown in Table 8. The total forecasted populations of the cities are estimated depending on the past populations in Table 6. Because the past populations approximately have a very consistent and increasing trend and there is no seasonality, the forecasted populations are estimated by a time series trend analysis considering linear trend model in Minitab.

Table 6. Total populations of cities

City	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ankara	5,150,072	5,270,575	5,346,518	5,445,026	5,503,985	5,639,076
İstanbul	14,377,018	14,657,434	14,804,116	15,029,231	15,067,724	15,519,267
İzmir	4,113,072	4,168,415	4,223,545	4,279,677	4,320,519	4,367,251
Bursa	2,787,539	2,842,547	2,901,396	2,936,803	2,994,521	3,056,120

Table 7. Total forecasted populations of cities

City	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ankara	5,716,918	5,809,597	5,902,275	5,994,954	6,087,633	6,180,312
İstanbul	15,625,855	15,830,633	16,035,411	16,240,189	16,444,967	16,649,745
İzmir	4,423,747	4,474,700	4,525,652	4,576,605	4,627,557	4,678,510
Bursa	3,103,244	3,155,651	3,208,058	3,260,464	3,312,871	3,365,278

Table 8. Total forecasted orange demand (kg) of retailer cities for different years

City	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ankara	77,178,393	78,429,559	79,680,712	80,931,879	82,183,045	83,434,212
İstanbul	210,949,042	213,713,545	216,478,048	219,242,551	222,007,054	224,771,557
İzmir	59,720,584	60,408,450	61,096,302	61,784,167	62,472,019	63,159,885
Bursa	41,893,794	42,601,288	43,308,783	44,016,264	44,723,758	45,431,253

Table 9 shows the total forecasted cost (TL) of producing orange in producer cities for different years. It is calculated by multiplying the forecasted producer cost values in Table 3 and the forecasted production amounts in Table 5.

Table 9. Total forecasted cost of producing orange in producer cities for different years (TL)

City	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Adana	421,572,269	480,052,951	511,115,103	523,540,044	546,668,260	590,765,505
Antalya	508,396,115	571,070,359	645,032,650	693,931,889	712,468,803	731,033,421
Artvin	384,154	534,722	750,680	958,065	1,076,491	1,052,736
Aydın	57,489,980	59,476,975	65,905,630	74,139,360	80,803,402	84,478,113
Balıkesir	563,658	252,933	518,065	510,266	407,517	662,817
Burdur	15,335	15,061	15,325	17,004	20,019	23,095
Giresun	89,759	101,566	113,383	125,168	136,893	147,534
Hatay	308,248,724	359,970,764	404,883,845	421,115,330	422,162,660	438,859,679
K.maraş	376,648	608,614	798,169	889,677	920,240	935,801
Kastamonu	1,030	1,120	1,210	1,300	1,390	1,470
Mersin	264,199,558	289,410,524	312,774,249	336,043,859	359,308,705	379,988,356
Muğla	232,524,843	290,274,654	345,750,538	350,729,677	325,328,446	334,160,243
Ordu	70,289	75,295	80,715	86,371	92,160	97,360
Osmaniye	13,806,372	25,686,443	28,522,506	25,996,822	24,333,771	25,644,673
Rize	569,576	652,735	758,618	816,989	815,955	819,199
Trabzon	403,167	360,848	398,632	502,297	442,853	496,864
İzmir	563,612	693,964	787,271	772,500	744,686	827,291

In this study, a retailer city Ankara and a producer city Antalya are considered as two distribution cities. It means that all of the 17 producer cities can transport the products to these cities before transporting them to the target retailer city. However, using these distribution cities is not an obligation. In other words, direct transportations between production and retailer cities can be made also.

Color and firmness are two significant elements for identifying the quality of oranges. Depending on the study of Grunow et al. in 2011, the shelf life decreases from three to two weeks (21 to 14 days) when temperature increases from 7.2 to 10 °C for the peppers [9]. The same study indicates that quality degradation of the vegetables and fresh fruits follow a zero-order reaction (Eq. 1). Therefore, the quality of the shelf life of oranges is a linear function. The orange shelf life is calculated by considering the mentioned information about peppers in the study of Grunow et al. [9]. Therefore, the obtained shelf-life increase for oranges for a unit temperature decrease is $(3-2)/7(10-7.2) = 2.5 \text{ days} / 1 \text{ }^\circ\text{C}$. The quality is affected by storage temperatures in production/distribution centers and transportation temperatures between production and distribution/retailer centers. In this study, the chosen temperatures (k) for the

case study are between 2, 4, 6, 8 or 10 °C. Therefore, the S value, which is the upper limit of the temperature index k , means 10 °C.

In the study of Grunow et al., the planning horizon, which includes the transportation lead time, is 14 days and the considered transportation lead time is 3 days [9]. It is important to determine the quality level to distinguish different temperature levels. In the study of Grunow et al., the quality degradation is integer value per day and the determined quality range is between 600 and 750 for considering a detailed and sufficient scale range [9]. In this study, we try to consider a longer planning horizon. The planning horizon in this study is 6 years and a one-time period t , in the mathematical model means one year. The considered maximum lead time of transportation between cities is 0.0082 years (3 days) in this study.

In this study, decimal quality degradation values are considered and the considered quality range is between 1.6438 and 2.0547. The evaluated shelf life values and quality degradations for each of the determined temperatures are in Table 10.

Table 10. Calculated quality degradation and shelf life for different temperatures

Temperatures (°C)	2	4	6	8	10
Shelf life (days)	34	29	24	19	14
Shelf life (years)	0.09	0.07	0.06	0.05	0.03
Degradation of quality per day (Δq)	11	13	16	20	27
Degradation of quality per year (Δq)	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07

It is important to convert the quality requirements of the retailer cities to quality levels. It is assumed in this study that the quality requirement of Ankara and İstanbul is 85% and the quality requirement of the Bursa and İzmir is 80%. Because the 100% quality means 2.0547 quality level in this study, 85%, and 80% quality requirements mean 1.7464 and 1.6437, respectively. The range of quality values in the model is considered by 0.1 intervals. Therefore, the considered quality values (q) in the model are 1.64, 1.74, 1.84, 1.94 and 2.04. The B value, which is the upper limit of Q (set of all quality levels q), is 1 because there is one quality set in this study. To evaluate relative cooling costs during storage and transportation of oranges, a formula for the coefficient of performance suggested in the study of Wang is considered [22]. Because the cooling cost can be evaluated by considering the thermal characteristics of cooling processes. Therefore, the refrigeration process should be formulated. Eq. (25) shows the calculation of the coefficient of performance (CP) by neglecting energy losses [22].

$$CP = \frac{TL}{TH - TL} \quad (25)$$

In Eq. (25), TL and TH are lower and higher temperatures (measured in Kelvin), respectively. Lower and higher temperatures mean cooling and environment temperatures, respectively. For instance, if $TL = 2$ °C (275 K) and $TH = 20$ °C (293 K), $CP = 15.3$ units. This means that the coolant can absorb 15.3 units of heat for each energy unit. Therefore, higher electrical energy is required for low-temperature levels. However, in real, some other factors such as system or compressor efficiency effect the CP [22]. Therefore, CP can be calculated by the following Eq. (26).

$$CP = \eta_t \left(\frac{TL}{TH - TL} \right) \quad (26)$$

In Eq. (26), η_t means the system efficiency. It is assumed that the value of η_t variates between 50% and 70%. It is expected that η_t is lower for the lower temperatures and by assuming 5% efficiency losses for each two degree decrease, the considered η_t values for 2, 4, 6, 8 and 10 degrees are 50%, 55%, 60%, 65% and 70%, respectively. Therefore, $CP = (15.3)(0.50) = 7.65$ for 2 °C degree. In this study, a fixed unit of electrical energy is assumed to make cooling costs approximately proportional to the consumed amount of energy. It is assumed that electrical energy cost at 2 °C is 1 TL. In this way, the relative

cooling cost at high-temperature levels is evaluated with the multiplication of the cost and CP value. The environment (higher) temperature is considered as 20 °C (293 K). For example, by using $CP = 7.65$ at 2 °C and $CP = (277 \text{ K} / (293 - 277 \text{ K}))(0.55) = (17.3)(0.55) = 9.51$ at 4 °C, the obtained cost ratio is $7.65 / 9.51 = 0.80$. Table 11 shows other calculated cost ratios by using 2 °C as a reference for different temperature levels. The $revc_k$ (relative cooling cost) values are multiplied with distances (km) between cities ($dist_{i,j}$) and added to the fuel cost of transportation ($fc_{i,j}$) to evaluate the cost parameters at different temperature levels ($f_{i,j,k}$). Therefore, $f_{i,j,k} = revc_k dist_{i,j} + fc_{i,j}$.

Table 11. Relative cooling costs for different temperatures

Temperature (°C)	2	4	6	8	10
Relative cooling cost ($revc_k$)	1	0.80	0.64	0.50	0.38

It is assumed in this study that all transportation operations between cities are made by unique middle-sized trucks. It is considered that these trucks consume 20 liters fuel in 100 km (0.2 liters in 1 km). In addition, it is considered that cost of 1 liter fuel is 6.5 TL. Therefore, it is assumed that the fuel cost for 0.2 liter, which means 1 km, is 1.3 TL. Considering this assumption, the fuel cost of transportation ($fc_{i,j}$) is evaluated by multiplying the distance (km) values between cities and 1.3 TL. The fuel cost of transportation ($fc_{i,j}$) between production and retailer cities and related distances (km) [23] ($dist_{i,j}$) are represented in Table 12.

Table 12. Distances (km) and fuel cost of transportation (TL) between cities

	Distances (km)				Fuel cost of transportation (TL)			
	Ankara	İstanbul	Bursa	İzmir	Ankara	İstanbul	Bursa	İzmir
Adana	490	939	839	900	637	1,220.70	1,090.70	1,170
Antalya	544	718	541	444	707.20	933.40	703.30	577.20
Artvin	980	1,301	1,312	1,559	1274	1,691.30	1,705.60	2,026.70
Aydın	598	984	445	126	777.40	1,279.20	578.50	163.80
Balıkesir	535	390	151	176	695.50	507	196.30	228.80
Burdur	422	596	419	374	548.60	774.80	544.70	486.20
Giresun	608	929	940	1,187	790.40	1,207.70	1,222	1,543.10
Hatay	681	1,130	1,030	1,091	885.30	1,469	1,339	1,418.30
Kahramanmaraş	591	1,044	964	1,092	768.30	1,357.20	1,253.20	1,419.60
Kastamonu	243	510	521	822	315.90	663	677.30	1,068.60
Mersin	483	932	831	892	627.90	1,211.60	1,080.30	1,159.60
Muğla	620	783	544	225	806	1,017.90	707.20	292.50
Ordu	564	885	896	1,143	733.20	1,150.50	1,164.80	1,485.90
Osmaniye	577	1,026	926	987	750.10	1,333.80	1,203.80	1,283.10
Rize	819	1,140	1,151	1,398	1,064.70	1482	1,496.30	1,817.40
Trabzon	744	1,065	1,076	1,323	967.20	1,384.50	1,398.80	1,719.90
İzmir	579	564	325	0	752.70	733.20	422.50	0

It is assumed that these mid-size trucks can consume a maximum of 125 km in a day. By this assumption and the distance data in Table 12, the number of periods (year) in which transportation last between cities is evaluated. Table 13 shows the number of periods (year) that transportation last between cities.

Table 13. Number of periods (year), which transportation last between cities

	Ankara	İstanbul	Bursa	İzmir
Adana	0.01	0.02	0.01	0.01
Antalya	0.01	0.01	0.01	0.00
Artvin	0.02	0.02	0.02	0.03
Aydın	0.01	0.02	0.00	0.00
Balıkesir	0.01	0.00	0.00	0.00
Burdur	0.00	0.01	0.00	0.00

Table 13. (cont.) Number of periods (year), which transportation last between cities

Giresun	0.01	0.02	0.02	0.02
Hatay	0.01	0.02	0.02	0.02
Kahramanmaraş	0.01	0.02	0.02	0.02
Kastamonu	0.00	0.01	0.01	0.01
Mersin	0.01	0.02	0.01	0.01
Muğla	0.01	0.01	0.01	0.00
Ordu	0.01	0.01	0.01	0.02
Osmaniye	0.01	0.02	0.02	0.02
Rize	0.01	0.02	0.02	0.03
Trabzon	0.01	0.02	0.02	0.02
İzmir	0.01	0.01	0.00	0.00

It is assumed in this study that the waste disposal cost for unit product is 30 TL for each city. In addition, ten times of the electrical energy cost at each temperature is considered as a daily cost for production and storage for each city.

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

The model is solved in GAMS 24.1.3 by CPLEX solver. The test runs are performed on a 3.20 GHz Intel® Core™ i5-3470 PC (with 4.00 GB RAM). The resulting solution is proven optimal with 1.08 second CPLEX solution time. The mixed integer programming (MIP) solution has 1,539 iterations. The MIP and best possible solution value is 12,141,989,489,863. The absolute and relative gaps are zero. The MIP has a total of 49,189 rows, 6,613 columns. Because the objective value is the cumulative sum of the total cost of supply chain processes of cities and consumers for 6 years, the resulting values are relatively large. Table 14 shows the assigned transportation arcs indicating producer/distributor cities, retailer cities, temperatures and periods for the optimal solution. The assigned arcs are represented by “x” symbols.

Table 14. The assigned transportation arcs

Producer/Distributor	Retailer/Distributor	Temperature	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ankara	İstanbul	8	x				x	x
Ankara	İstanbul	6		x	x			
Ankara	İstanbul	4				x		
Antalya	İstanbul	10	x	x	x	x	x	x
Balıkesir	İstanbul	10	x	x	x	x	x	x
Mersin	İstanbul	10	x	x	x	x	x	x
Adana	Ankara	2	x	x	x	x	x	x
Antalya	Ankara	4	x	x	x	x	x	x
Artvin	Ankara	10	x	x	x	x	x	x
Burdur	Ankara	10				x	x	x
Hatay	Ankara	10	x	x		x	x	
Kahramanmaraş	Ankara	10	x	x	x	x	x	x
Kastamonu	Ankara	10	x	x	x	x	x	x
Giresun	Ankara	10	x	x	x	x	x	x
Ordu	Ankara	10	x	x	x	x	x	x
Rize	Ankara	10	x	x	x	x	x	x
Trabzon	Ankara	10	x	x	x	x	x	x
Balıkesir	Bursa	10	x	x	x	x	x	x
İzmir	Bursa	10	x	x	x	x	x	x
Aydın	İzmir	2	x	x	x	x	x	x
Balıkesir	İzmir	4	x	x	x	x	x	x
Muğla	İzmir	6	x	x	x	x	x	x
İzmir	İzmir	2	x	x	x	x	x	x

From Table 14, it is shown that the temperature mostly has the highest level (10 °C) between cities. It is shown that when the distance decreases, the cooler temperatures are used during transportation. One of the probable reason is the distances between producer and retailer cities are very high. In addition, there are not many distributor cities between them. Because the cooling cost is very dependent on the distance per km, the mentioned reasons prevent the cooler transportation and decrease the food quality. Another probable reason is, besides the suggested mathematical model tries to protect higher quality for products by the constraints, it does not force the model enough. To prevent this situation, the mathematical model can be modified by considering the product quality more. For instance, there can be additional constraints or penalty costs that occur when the product quality decreases in the objective function.

V. CONCLUSIONS

In this study, the orange supply chain processes of cities in Turkey are analyzed for future 6 years period. It is considered that a total of 17 producer, 2 distributor, and 4 retailer cities in the supply chain network. The purpose of the suggested model is minimizing the total costs in the supply chain processes including production, storage, and transportation costs. These costs are considered by cooling costs for different temperatures. In addition, consumer costs are considered and minimized for each city and year in this study. Considering the managerial functions of the food supply chain, it is very significant to minimize all of the probable costs and protecting higher product quality at the same time. The solution methodology suggested in this study considers these purposes. By this way, the cost and product quality elements of the supply chain are integrated and the management operations for the food supply chain become more comprehensive. The decision-makers can use this methodological approach to make complex management tasks easier. The results of the case study validate that the suggested model in this study makes considerable improvement in the results and solution time. In addition, the suggested model is adaptable for different types of food supply chains. It is aimed in this study that the suggested solution approach can be a source of inspiration for related optimization problems.

In future studies, some accepted assumptions to forecast future data can be developed by different approaches. For example, the producer and consumer costs are forecasted by trend analysis using linear trend model. However, to get more realistic data, some other factors such as forecasts about the country economics for future years by the support of experts or other resources can be considered. In addition, the forecasted population of the retailer cities are estimated by the same trend analysis method. However, some factors such as the forecasted population growth rate and internal and external migration of the cities can also be considered. The forecasted production amounts are estimated by the non-seasonal ARIMA model and the optimal parameters are determined for each city. In future studies, different forecasting approaches can be implemented for the sensitivity analysis. Therefore, the forecasted values can be compared and the optimal forecasting technique can be determined. In addition, the forecasts about future production capacities of the cities can also be considered. In this way, the procured outputs for the future years can be more instructive about the real-life problem. A comprehensive simulation experiment can also be implemented to the considered problem to analyze the future production and demand of the cities. Finally, the cooling costs for different temperatures are estimated by assuming different ratios of the system efficiencies and these ratios are multiplied with the *CP* values. However, the cooling costs can be calculated by considering more factors such as mechanical/electrical properties of the cooling equipment effecting the cooling processes to get exact cooling costs for the different temperatures.

VI. REFERENCES

- [1] D.P. Van Donk, R. Akkerman and T. VanderVaart, "Opportunities and realities of supply chain integration: The case of food manufacturers," *British Food Journal*, vol. 110, pp. 218–235, 2018.

- [2] D. Smith and L. Sparks, "Temperature controlled supply chains," in *Food Supply Chain Management*, M.A. Bourlakis and P.W.H. Weightman, Eds., Oxford, U.K.: Blackwell Publishing, 2004, pp. 179–198.
- [3] R. Manzini, R. Accorsi, Z. Ayyad, A. Bendini, M. Bortolini, G. Gamberi, E. Valli and T.G. Toschi, "Sustainability and quality in the food supply chain. A case study of shipment of edible oils," *British Food Journal*, vol. 116, pp. 2069-2090, 2014.
- [4] J. Trienekens and P. Zuurbier, "Quality and safety standards in the food industry, developments and challenges," *International Journal of Production Economics*, vol. 113, pp. 107–122, 2008.
- [5] M. Lütke Entrup, H.O. Günther, P. VanBeek, M. Grunow and T. Seiler, "Mixed-integer linear programming approaches to shelf-life-integrated planning and scheduling in yoghurt production," *International Journal of Production Research*, vol. 43, pp. 5071–5100, 2005.
- [6] F. Sgarbossa and I. Russo, "A proactive model in sustainable food supply chain: Insight from a case study," *International Journal of Production Economics*, vol. 183, pp. 596–606, 2017.
- [7] D. Zilberman, L. Lu and T. Reardon, "Innovation-induced food supply chain design," *Food Policy*, vol. 83, pp. 289–297, 2019.
- [8] H. Allaoui, Y. Guo, A. Choudhary. and J. Bloemhof, "Sustainable agro-food supply chain design using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach," *Computers and Operations Research*, vol. 89, pp. 369–384, 2018.
- [9] A. Rong, R. Akkerman and M. Grunow, "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain," *International Journal of Production Economics*, vol. 131, pp. 421–429, 2011.
- [10] M.M. Aung and Y.S. Chang, "Traceability in a food supply chain: safety and quality perspectives," *Food Control*, vol. 39, pp. 172-184, 2014.
- [11] R. Manzini and R. Accorsi, "The new conceptual framework for food supply chain assessment," *Journal of Food Engineering*, vol. 115, pp. 251-263, 2013.
- [12] M. Yu and A. Nagurney, "Competitive food supply chain networks with application to fresh produce," *European Journal of Operational Research*, vol. 224, pp. 273-282, 2013.
- [13] M.M. Aung and Y.S. Chang, "Temperature management for the quality assurance of a perishable food supply chain," *Food Control*, vol. 40, pp. 198-207, 2014.
- [14] A. Diabat, K. Govindan and V.V. Panicker, "Supply chain risk management and its mitigation in a food industry," *International Journal of Production Research*, vol. 50, pp. 3039-3050, 2012.
- [15] Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, Agricultural Economic and Policy Development Institute. (2020, January). *Tarım Ürünleri Piyasaları* [Online]. Available: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2020Ocak%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/Portakal%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu%202020%20ocak.pdf>
- [16] *Merkezi Dağıtım Sistemi dataset: Concatenated, 2014 to 2019*, TÜİK (Turkish Statistical Institute), Aug. 2020. [Online]. Available: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=104&locale=tr>

- [17] R. H. Shumway and D. S. Stoffer, "Time series regression and ARIMA models," in *Time Series Analysis and Its Applications*, New York, U. S.: Springer, 2000, pp. 89-212.
- [18] P. S. P. Cowpertwait and A. V. Metcalfe, "Non-seasonal ARIMA models," in *Introductory Time Series with R*, New York, U. S.: Springer, 2009, pp. 134-141.
- [19] Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, Agricultural Economic and Policy Development Institute. (2019, July). *Tarım Ürünleri Piyasaları* [Online]. Available: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2019Temmuz%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/2019-Temmuz%20Portakal.pdf>
- [20] Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, Agricultural Economic and Policy Development Institute. (2020, July). *Tarım Ürünleri Piyasaları* [Online]. Available: <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2020Temmuz%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/Portakal,%20Temmuz2020,%20Tar%C4%B1m%20C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu.pdf>
- [21] *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi dataset: Concatenated, 2014 to 2019*, TÜİK (Turkish Statistical Institute), Aug. 2020. [Online]. Available: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059
- [22] S.K. Wang, *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration*, 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2001.
- [23] *Distance Calculator dataset*, Republic of Turkey General Directorate of Highways, Aug. 2020. [Online]. Available: <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Uzakliklar/illerArasiMesafe.aspx>



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Metal Sektöründe İş Kazaları ve İşçiler Üzerindeki Etkileri: Magnezyum Metal Üretim Tesisi Örnek Çalışması

 Abdul Vahap KORKMAZ^{a,*}

^a İnşaat Bölümü, İncehisar MYO, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: avkorkmaz@aku.edu.tr

DOI: DOI: 10.29130/dubited.735819

Öz

Bu çalışmanın amacı, magnezyum üretim proseslerinde, iş sağlığı ve güvenliği risk yönetimine göre Fine Kinney tipi risk analiz yöntemi kullanılarak endüstriyel ölçekte güvenlik risk derecelerini belirlemektir. 2019 yılından itibaren Türkiye’de ve Avrupa’da tek ve birincil magnezyum üretim tesisi olarak faaliyetlerine devam eden işletmede dolomit madeninden Pigdeon metoduyla yılda 15.000 ton magnezyum külçe ve magnezyum alaşımları üretilmektedir. Hafif ve mukavemetli olması nedeniyle ağırlıklı olarak elektronik, uçak, savunma ve otomotiv sanayinde kullanılan magnezyum, günümüz teknolojisi için başta Avrupa olmak üzere Dünya’nın birçok yerinde stratejik ürün olarak kabul edilmektedir. Türkiye’de kurulan Magnezyum Tesisinin tasarım aşamasında dünyadaki en iyi örnekler incelenmiş, farklı teknoloji ve yöntemlerin en güçlü yönleri birleştirilerek hibrit bir teknoloji yaratılmıştır. İş sağlığı ve güvenliğinin üst düzeyde var olabilmesi için dünyadaki örneklerinden farklı olarak mekanizasyon yatırımları yapılmış ve çok daha güvenli bir çalışma ortamı yaratılmıştır. Fakat sektörün ülkemizde yeni, ilk ve tek olması beraberinde tecrübesizlik, acemilik ve iş güvenliği risklerini de beraberinde getirmiştir. Bu amaçla Magnezyum Fabrikasında riskleri tanımlamak, tehlikeleri en aza indirmek ve riskleri derecelendirmek için İşveren vekili, iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi, çalışan temsilcisi, destek elemanları ve iş yeri dışından hizmet alımı yoluyla ortak sağlık güvenlik birimi iş güvenliği uzmanları katılımıyla Fine Kinney metodolojisi kullanılarak risk değerlendirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışma işyeri ziyareti, dolomit ocak işletmesi, hammadde hazırlama, depolama ve nakliye, dolomit öğütme, kalsinasyon, peletleme, redüksiyon, rafinasyon, ünitelerini kapsamaktadır. Magnezyum üretim tesisinde öncelikle olası tüm riskler tanımlanarak sıralanmış, risklerin olasılığı ve şiddeti belirlenmiş ve mevcut değerler kullanılarak risk dereceleri hesaplanmıştır. Risklerin belirlenmesinden sonra güvenlik riski tabloları hazırlanmış ve olası riskler iş güvenliği risk yönetimi sistemi açısından yüksek, orta ve düşük risk derecelerine göre sınıflandırılmıştır. Risk değerlendirmesi sonuçlarına göre en tehlikeli risk bölgesi olarak redüksiyon ve rafinasyon üniteleri belirlenmiştir. Öte yandan, en yüksek risk puanı da hammadde öğütme bölümünde elde edilmiştir. Ocaklar, kırıcı, öğütme ve peletlemenin en yoğun toz, gürültü ve titreşim üreten üniteler olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Magnezyum, Metal, Tehlike, Fine Kinney, İş güvenliği, Risk

Occupational Accidents in Metal Industry and Their Effects on Workers: Magnesium Metal Production Plant Case Study

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the safety risk levels on an industrial scale by using Fine Kinney type risk analysis method in magnesium production processes according to occupational health and safety risk management. Since 2019 in Turkey and in Europe as the sole and primary magnesium production plant Pigdeon

method from dolomite mine continued to operate the business year 15,000 tons of magnesium ingots and magnesium alloys are produced. Magnesium, which is mainly used in electronics, aircraft, defense and automotive industries due to its lightness and strength, is considered as a strategic product in many parts of the world, especially in Europe, for today's technology. Established in Turkey were examined at the design stage of the world's best examples Magnesium Plant, has created a hybrid technology combining the strengths of different technologies and methods. In order for occupational health and safety to exist at a high level, mechanization investments have been made, unlike the examples in the world, and a much safer working environment has been created. However, the fact that the sector is new, first and only in our country has brought along inexperience, inexperience and occupational safety risks. For this purpose, field studies using the Fine Kinney methodology with the participation of employer representative, occupational safety specialist, workplace doctor, employee representative, support staff and out-of-work service procurement from the joint health and safety unit occupational safety experts in order to identify risks, reduce hazards and rate risks in the Magnesium Factory. has been made. The study includes workplace visit, dolomite quarry operation, raw material preparation, storage and transportation, dolomite grinding, calcination, pelletizing, reduction, refining units. At the magnesium production facility, firstly, all possible risks were identified and listed, the probability and severity of the risks were determined and the risk levels were calculated using the existing values. After the identification of the risks, security risk tables were prepared and possible risks were classified according to high, medium and low risk levels in terms of occupational safety risk management system. According to the results of the risk assessment, reduction and refining units were determined as the most dangerous risk area. On the other hand, the highest risk score was obtained in the raw material grinding section. It has been observed that the crusher, raw material, cement grinding and rotary kiln are the most dust, noise and vibration generating units.

Keywords: Magnesium, Metal, Hazard, Fine Kinney, Occupational safety, Risk,

I. GİRİŞ

Günümüz teknolojisindeki yeniliklerle mücadelede risk değerlendirmesi büyük önem taşımaktadır. Magnezyum metal sektörü, üretim süreçlerindeki yeniliklerden kaynaklanan yüksek risk faktörlerini sürekli olarak dikkate alması gereken bir endüstri koludur. Özellikle ülkemizin magnezyum metal madenciliği konusunda yeni yeni bilgi ve deneyime sahip olduğunu ve Avrupa'nın bu konuda hiçbir bilgi ve tecrübeye sahip olmadığını göz ardı edilmemelidir [1].

Dünyadaki magnezyum metal üretiminin %85'i Çin, Avrupa' da ise magnezyum metal üretimi Türkiye dışındaki herhangi bir ülkede üretilmeyip Çin ya da Amerika'dan satın alma yoluyla temin edilmektedir. Bu nedenle 2011 yılında Avrupa, magnezyum metalini kritik hammaddeler listesine dahil etmiştir [1]. Türkiye'de 2017 yılında ilk entegre magnezyum üretiminin başlatılması da ülkemiz ve Avrupa için stratejik öneme sahiptir. Fabrikadaki magnezyum üretimi %99,80-99,95 saflıkta ve her bir külçe magnezyum 8-12 kg ağırlığındadır [1].

Türkiye birincil magnezyum tesisi üretim yöntemi olarak Çin'de yaygın olarak kullanılan Pidgeon prosesini (silikotermik indirgenme) tercih etmiştir. Türkiye'deki magnezyum üretim tesisinde kullanılan proses makineleri ve cihazları Çin'deki tesislerden farklı olarak (maden hazırlama, kalsinasyon, redüksiyon, metalürji tesisleri) birçok yenilik ve iyileştirmeler içermektedir [2]. Hem kurulum hem de proses bazındaki yenilikler, magnezyum tesisine yabancı olan Türk çalışanlar için yeni güvenlik risklerini de beraberinde getirmiştir. Türkiye'deki magnezyum tesisinin kurulum ve ilk devreye alınması aşamalarında Çinli ve Türk işçiler, Çinli işçilerin proses ve iş güvenliği deneyimlerinden faydalanmak amacı ile birlikte çalışmışlardır. Fakat Çinli işçilerin iş güvenliği kültüründen uzak olmaları ve güvenlik disiplinini çalışma hayatlarında yeterince uygulamadıkları için, Türk işçilerin sektörel bazda iş güvenliği konusundaki gelişimleri yaşa, gör ve tecrübe et yaklaşımını geliştirmelerini ve uygulamalarını sağlamıştır.

En son teknoloji ürünü tesislerde bile, çalışanlar yüksek fırınlarda, haddeleme hatlarında ve dökümhanelerde tehlikeli maddelerle günlük temasa girebilirler. Magnezyum metal üretimi ve işleyişi gün boyunca kesintisiz olarak devam etmek zorundadır. Herhangi bir kesinti veya durma ciddi bir

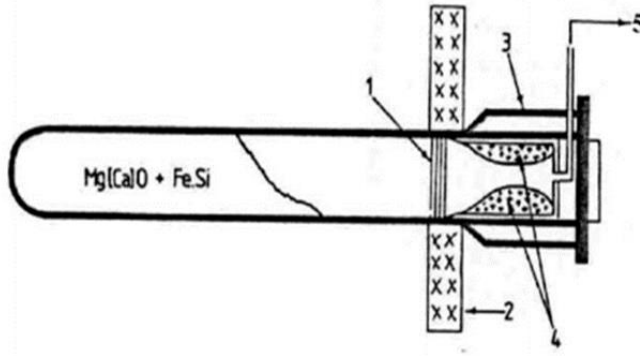
ekonomik kayba sebep olmaktadır. Bazı üretim aşamaları, doğrudan yüksek fırında veya konvertörde nokta kontrolleri gibi makine tabanlı süreçlerle değiştirilememektedir. Bu süreçlerde yer alan kişiler, yılların tecrübesi ve eğitimi sonunda, gerekli iş güvenliği eğitimlerini almış, tehlikeler ve riskler hakkında bilgili ve olası oluşabilecek riskler konusunda öngörülü ve çalışmalarında özel uzmanlık kazanmış kişilerden oluşmaktadır. Buna rağmen tamamı önlenemeyen zehirli ve patlayıcı gazlar ve buharlar, toz parçacıkları ve ısı nedeniyle ortaya çıkan birçok risk göz önüne alındığında, çalışanların her zaman optimum koruma ile çalışmaları ve ek risklerden kaçınmaları gerekmektedir. Bu çalışmada Türkiye’de ve Avrupa’da ilk kez entegre olarak magnezyum metal üretimi gerçekleştirilen tesisin risk değerlendirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Metal sektöründe yapılan iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında 5x5 Matris ve Fine-Kinney yöntemi sıkça kullanılmış ve yapılan karşılaştırmalar iki yöntemden Fine-Kinney yönteminin 5x5 matris yöntemine kıyasla daha hassas sonuçlar verdiği görülmüştür [3]. Bu çalışmada Türkiye’de mevcut sanayi tesislerinin hazırlamış olduğu ve tanımladığı temel riskler haricinde magnezyum metal üretim proseslerine özgü riskler Fine Kinney risk analizi yöntemine göre ortaya konulmuş ve önceliklendirilmiştir. Böylelikle şuan ve gelecekte gerek Avrupa ve gerek Türkiye’de magnezyum metal üretim tesislerinde çalışan ve çalışacak işçiler için ortaya çıkabilecek tehlikeler, riskler, çözüm önerileri ve öngörüler bu çalışma ile ortaya çıkarılmış olunacaktır.

A. MAGNEZYUM PROSESİ

Türkiye’de 2019 yılından itibaren dolomit madeninden Pigdeon metoduyla magnezyum külçe ve magnezyum alaşımları üretilmektedir. Kalsine edilmiş dolomit ve manyezitin Si, Al, CaC₂ ile termal redüksiyonunu keşfeden Pigdeon; kalsine dolomitin, FeSi ile redüksiyonunun ticari açıdan en avantajlı yöntem olduğunu göstermiştir [4].

Türkiye’de ve diğer magnezyum üretimi yapan ülkelerde de genel olarak saf magnezyum metal külçe üretimi için ana hammadde olarak dolomit cevheri kullanılmaktadır. Dolomit cevheri ocaktan çıkartıldıktan sonra kırma eleme tesisinde boyutlandırılarak, 10-30 mm ve 30-50 mm boyutlarındaki malzeme, kalsine edilmek üzere önce 800-950 °C sıcaklıktaki ön ısıtıcı kuleye daha sonra döner fırına beslenmektedir. Döner fırında dolomit cevheri 1250 – 1300 °C sıcaklıklarda kalsine edilerek, elde edilen kalsine dolomit öğütülmek için hammadde silosuna aktarılmaktadır. Kalsine dolomite yaklaşık %16-18 Ferro Silis (FeSi) ve %1-2 Kalsiyum Florit (CaF₂) ilave edilerek değirmende öğütülmektedir. Öğütülen malzemenin 125 micron elek bakiyesi ortalama %10 civarındadır. Öğütülmüş malzeme pelet ünitesine gönderilerek badem şeklinde peletler haline getirilmektedir [5].

Peletlenmiş malzeme ortalama sıcaklığı 1200-1250°C olan redüksiyon fırınlarında bulunan retort tüplerine beslenmektedir (Şekil 1). Bu besleme, redüklenme esnasında gaz fazın retort tüpü içerisinde kovanlara ilerlemesine izin verecek bir sıklıkta olması için, gelberi kürekleri kullanılarak tamamen insan gücüyle yapılmaktadır. Yeterli miktarda pelet beslendikten sonra retort tüplerinin besleme ağızlarına, üzerinde soğutma ceketi de bulunan ürün toplama kovanları takılmaktadır. Retort tüpleri vakum ortamı altında 12 saat boyunca bekletilirken pelet içerisindeki MgO redüklenerek gaz fazda magnezyum haline gelmektedir. Gaz haldeki magnezyum metali retort tüpüne beslenen pelet boşluklarından kovan içine çekilerek, kovandaki soğutma ceketi vasıtasıyla katı halde toplanmaktadır. Kovan içinde elde edilen metal ürün taç magnezyum olup, yaklaşık %95 saflıktadır [5].



Şekil 1. Pidgeon Prosesinde kullanılan retort, 1)Radyasyon kalkanı, 2) Fırın duvarı, 3)Su soğutmalı yoğunlaştırıcı, 4) Taç şekilli kristal magnezyum tanecikleri, 5) Vakum pompası bağlantısı [5].

Retort tüplerinde redüksiyon yoluyla elde edilen taç magnezyum kovanlardan alındıktan sonra geriye %85 civarında redüksiyon cürufu olarak adlandırılan yan ürün elde edilmektedir. Meydana gelen redüksiyon cürufu, sıcak haldeyken taşınabilir paletli bunkerlere alınarak tesisin atık depolama alanında depolanmaktadır. Bu esnada ve daha sonra redüksiyon cürufu üzerinde herhangi bir işlem yapılmamakta olup, elde edilen yan ürün atıl olarak kalmaktadır. Üretilen taç magnezyum ürünler ise saflaştırılmak üzere tesisin rafinasyon ünitesine alınmaktadır [5].

II. METOT

A. RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE RİSK YÖNETİMİ

Magnezyum ve diğer metal endüstrilerinde tehlikeli maruziyete karşı etkili önleme ve koruma sağlamak için, proseslerin, prosedürlerin ve tesislerin planlayıcıları ve geliştiricileri, işçiler ile temsilcileri ve yöneticiler ile İSG uzmanları arasında iş birliği ve uyum olmalıdır. Bu tür bir iş birliği, tesisteki potansiyel tehlikelerin ve risklerin tanımlanmasına ve değerlendirilmesine odaklanmalıdır. Tesiste, ortadan kaldıracak tehlikelere karşı önlemlerin alınmasını sağlamak için veya bu mümkün değilse, en azından mesleki hastalık ve yaralanma potansiyelinin düşürülmesi sağlanmalıdır. Risk değerlendirmesine dahil edilecek konularla ilgili kılavuz, madde, makine ve diğer ekipman üreticilerinden ve tedarikçilerinden temin edilmelidir. Yetkili makam ve harici uzmanlardan daha fazla rehberlik talep edilmelidir. Örneğin; mesleki hijyenistler, yetkin mühendisler ve meslek hekimliği uzmanları. Günlük çalışma uygulamaları hakkında ayrıca işverenlere tesislerinde gelişen uygulamalarda yardımcı olabilecek ve iyileştirme önerileri sunabilecek değerli bilgiler işçilerden ve temsilcilerinden temin edilebilmelidir. Sonuç olarak, tesiste meydana gelebilecek olası tehlikeler etkin bir şekilde kontrol edilse bile, işverenler ve işçilerin risklerle ilgili kararlarından ve eylemlerinden yararlanma ve işçilerin sağlığına potansiyel katkılarının olabileceği göz ardı edilmemelidir [6].

Başarılı bir risk değerlendirmesinin temel adımları aşağıdaki gibidir:

- (i) güvenlik ve sağlığa yönelik riskleri ve bunları kontrol etmek için gerekli önlemleri belirlemek ve ölçmek için süreçleri ve iş faaliyetlerini gözlemlemek.
- (ii) en ciddi olandan başlayarak, gerekli risk kontrol önlemlerini öncelik sırasına göre uygulamak. Uygulama sırasında ve hemen sonrasında, tespit edilen kontrol önlemlerinin yeterli olduğundan emin olmak için alınan önlemlerin etkinliği değerlendirmek.
- (iii) uygulanan risk kontrol önlemlerinin sürdürülmesine dahil olacak tüm kişilere bilgi, talimat ve eğitim olanağı ve katılımlarını sağlamak;
- (iv) uygulanan risk kontrol önlemleri ve eğitim programlarının sürekli etkinliğini periyodik olarak izlemek, gözden geçirmek ve değerlendirmek ve uygunsa, gerekli iyileştirmeleri belirlemek. Özellikle,

süreç ve personeldeki herhangi bir değişikliğin ardından ve tehlikeli durumlar olması durumunda incelemeler yapmak. İncelemede tespit edilen herhangi bir iyileştirmeyi uygulamak
(v) risk değerlendirmesi ve kontrol tedbirlerindeki herhangi bir değişikliğin kaydını tutmak [7].

Risk değerlendirmesine dahil olan kişiler şunlara sahip olmalıdır:

- (i) işyerindeki tehlikeleri ve riskleri etkili bir şekilde tanımlamak ve hastalık ve yaralanma olasılığını ve ciddiyetini değerlendirebilmek için güvenlik ve sağlık ve değerlendirilen süreçler konusunda yeterli eğitim ve deneyim;
- (ii) gerekli risk kontrollerinin uygulanması konusunda bir risk değerlendirmesi yürütme ve işverenlere, işçilere ve onların temsilcilerine tavsiyelerde bulunma yeteneği;
- (iii) uzmanlıklarının sınırlılıkları ve ek tavsiye gerektiğinde yetkili kaynaklardan ne zaman rehberlik ve bilgi isteneceği konusunda farkındalık;
- (iv) bilgi ve becerilerini sürdürmek ve güncellemek için sürekli mesleki gelişim faaliyetlerine katılma istekliliği [8].

Magnezyum fabrikasında risk değerlendirme çalışmaları işveren vekili, iş güvenliği uzmanları ile işyeri hekimleri, işyeri çalışan temsilcileri, İşyeri destek elemanları muhtemel tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgi sahibi çalışanlar ve ekibe destek olmak üzere işyeri dışından ortak sağlık güvenlik birimine bağlı iş güvenliği uzmanları ile ortak çalışmaları sonucu gerçekleştirilmiştir.

Ekip öncelikle ham madde ocaklarından başlayarak, ham madde hazırlama, kalsinasyon, değirmen, peletleme, redüksiyon, rafinasyon, retort ve yardımcı ünitelerde saha denetimleri yapmış daha sonra risk kartları, ramak kala olayları, işçilerin geri bildirimleri ve isg kurul kararları doğrultusunda risk değerlendirmesi çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışma kapsamında tespit edilen temel risklerin dışında magnezyum tesisine ait spesifik ve önemli riskler risk değerlendirme tablosunda (tablo 3) detaylı olarak açıklanmıştır.

B. RİSK METODU İÇİN TEHLİKELERİN TANIMLANMASI

Diğer tüm metal işlerinde olduğu gibi magnezyum metal işlerinde de büyük miktarlarda malzeme, çoğu farklı endüstriyi gölgede bırakan devasa ekipmanlarla işlenir ve taşınır. Metal işleri genellikle minimal da olsa hata kabul etmeyen bir ortamdaki tehlikeleri ele almak için gelişmiş güvenlik ve sağlık programlarına sahiptir. Tehlikeleri kontrol etmek için genellikle iyi mühendislik ve bakım uygulamalarını, güvenli iş prosedürlerini, işçi eğitimini ve kişisel koruyucu ekipman (KKD) kullanımını birleştiren entegre bir yaklaşım gerektirir. Dünya’da ve Türkiye’de magnezyum metal üretim proseslerinin her aşamasında farklı derecelerde ölümcül tehlikelerle yüzleşme ihtimali vardır. Metal işlerinin doğası gereği yapılan işlemler esnasında seçilen güvenlik metodlarının uygulanması neticesinde ölümcül olmayan fakat uzuv kaybı veya sakatlıkla sonuçlanabilecek kazalar ve ağır seyredebilecek hastalıklara maruz kalma durumu çok yüksektir. [9]. Bu nedenle risk değerlendirmesi yapılırken birincil magnezyum üretim tesisinde tehlike ve yüksek öneme sahip riskler (sıcaklık, erimiş metal sıçraması, yüksekte çalışma, ezilme, sıkışma vb.) hem güvenlik, hem de sağlık bakımından yönetmelik ve prosedürleri çerçevesinde ele alınmıştır

Magnezyum üretimi, dikkatli bir yönetime ihtiyaç duyan yapısal tehlikelere sahip süreçleri içerir. Bunlar proses emniyeti, özellikle patlama, yangın, yapısal çökme ve erimiş metaller, yakıtlar ve kimyasal kaynaklı tehlikelerdir. Bu tehlikeleri kontrol etmek için gereken önlemler genellikle karmaşıktır. Süreç güvenliği yönetiminin odağı şirket içindeki insanların korunmasıyla sınırlı olmayıp çevreyi, varlıkları ve çevreleyen topluluğu da kapsamaktadır [10]. Magnezyum üretim tesisi tehlikeye neden olabilecek sınırları belirlenmiş faaliyet veya faaliyetler dizisi aşağıda verilmiştir;

- Erimiş metal, fırından veya potadan aktarıldığında, sıcaklık 800 ° C civarında olacaktır. Bu etkinlik sırasında dökümhane ekipleri erimiş metal sıçraması riski ile karşı karşıya kalabilmektedirler.

- İşleme, doldurma (dökme) veya taşıma sırasında kepçelerden veya iş ekipmanlarından sıcak metal dökülmeleri, sıçramaları veya püskürmeleri
- Nihai bir ürün haline getirilirken sıcak metal ile temas.
- Magnezyum rafinasyon ünitesindeki en büyük güvenlik tehlikelerinden biri nem varlığıdır. Fırın eritme potası, dökme kepçesi veya kum kalıbının kendisinde nem varsa, metalin ısısı nedeniyle nem anında buhara dönüştüğü için yüksek enerjili reaksiyonlara yani patlamalara neden olabilir. Erimiş metal veya cüruf tarafından tutulan su, geniş bir alanda sıcak metal veya malzeme fırlatan patlayıcı kuvvetler oluşturabilir.
- Erimiş magnezyum metaline nemli bir alet temas ettirilmesi şiddetli patlamalara neden olabilir.
- Metal döküm işlerinde mekanik taşımacılık esastır, ancak işçileri potansiyel tehlikelere maruz bırakır. Gezer köprülü vinçler, çelik işlerinin neredeyse tüm alanlarında bulunur. Büyük işlerin çoğu, büyük ölçüde sabit raylı ekipman ve malzeme taşımak için büyük endüstriyel araçların kullanımına dayanır. Beklenmedik vinç hareketleri yaralanmalara ve ölümlere neden olabilir.
- Çalışma ortamına ek olarak yerel egzoz gazlarının da yaydığı zehirli gazlar sonucu duman oluşumu ayrıca bir sağlık riski oluşturmaktadır.
- Makine ve ekipmanlarla güvensiz çalışma ve güvensiz hareketler
- Dökümhanede çalışma esnasında kullanılan kimyasallara maruz kalma, kimyasallarla cilt teması (tahriş edici maddeler (asitler, alkaliler, çözücüler ve duyarlılaştırıcılar);
- Sıcakta çalışma sonucu su kaybı, halsizlik ve bayılma
- Aletler ağır aşınmaya maruz kalır ve yakında tehlikeye girer ve kullanımı tehlikeli olabilir. Mekanizasyon endüstrideki manuel elleçleme miktarını büyük ölçüde azaltmış olsa da, ergonomik zorlamalar hala birçok durumda ortaya çıkabilir ve işçilerin bedenlerine zarar verebilir.
- Metal bantlardaki keskin motorlar veya çapaklar, son işlem, nakliye ve hurda elleçleme işlemlerinde yer alan çalışanlar için deride yırtılma ve delinme tehlikesi oluşturabilir.
- Yabancı cisim batması sonucu göz tehlikeleri, özellikle taşlama, kaynak ve yanma işlemlerinin yapıldığı ham madde elleçleme ve külçe temizleme işlemlerinde görülebilir.
- Büyük miktarlarda gres, yağ ve yağlayıcılar kullanılır ve dökülürse, yürüme veya çalışma yüzeylerinde kolayca kayma tehlikesi oluşturabilirler [11,12].

C. FINE KINNEY YÖNTEMİ

Fine Kinney yöntemi emniyet riski analiz aracı, belirli bir tehlike nedeniyle ortaya çıkan riski hesaplamak için matematiksel bir formül sağlayan sistematik bir metodolojidir. Fine – Kinney'in orijinal versiyonunda önerildiği gibi, geleneksel versiyonunda, olasılık (P), maruziyet ve sonuç parametrelerinin matematiksel çarpımının bir sonucu olarak bir risk skoru (RS) hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu risk puanları, riskleri ortadan kaldırmak veya etkilerini makul bir düzeye indirmek için düzeltici çabalar için öncelikler belirlemek için kullanılmaktadır. Bu basit ve kullanışlı yöntem, küçük ve orta ölçekli işletmeler tarafından tercih edilmekte ve uygulanmaktadır [13]. Bu yöntemle her risk için üç parametre belirlenmelidir:

- Tehlike (S) ile bağlantılı yaralanmanın şiddeti;
- Tehlikeye maruz kalma;
- Maruz kaldığında meydana gelebilecek tehlike olasılığı (P). Bu kavramlar, sayısal bir yöntem haline gelmesi ve sayısal bir risk tahmini yapılabilmesi için işler hale getirilmelidir.

Olasılık; Bir olayın meydana gelme olasılığı veya (matematiksel) şansı olarak açıklanmaktadır. Beklenti, 0,1'den 10'a kadar bir değer atanarak temsil edilmektedir.

P Olasılık

0,1 İmkânsıza yakın / düşünülemez

0,2 Neredeyse hayal edilemez

0,5 Olasılığı çok düşük, ancak düşünülebilir

1 Olası değil, ancak uzun vadede mümkün

3 Sıradışı (ama mümkün)

6 Mümkin
10 Beklenecek

Maruziyet faktörü; bir riskin ortaya çıkabileceği süreyi göstermektedir. Ölçek 0,5 ile 10 arasında değişmektedir.

E Maruziyet
0,5 Çok nadiren (yılda 1 defadan az)
1 Nadiren (yaklaşık yılda 1 kez)
2 Bazen (yaklaşık yılda 1x)
3 Ara sıra (haftalık)
6 Sık sık (günlük)
10 Sürekli (günde birkaç kez)

Önem; faktör şiddeti, bir tehlikeyle bağlantılı olası hasarı, etkileri ve sonuçları göstermektedir. Ölçek 1'den 40'a ulaşmaktadır.

S Önem
1 Hafif etki, hastalık nedeniyle yokluk olmadan yaralanma
3 Önemli, yoklukta yaralanma
7 Yokluk ile şiddetli, kalıcı yaralanma
15 Çok ağır, ölümcül bir zayıf
40 Afet, çok sayıda ölümcül kayıp

Risk endeksi; olası hasarın ciddiyetine, maruz kalma süresine ve bir riskin olasılığına belirli sayısal değerler atfedilerek bir risk endeksi oluşturmaktadır.

Parametrelerin çarpılmasının sonucu risk endeksini tanımlamaktadır. $R = S \times E \times P$

Risk endeksinin beş kategorisi vardır. Bu risk endeksine dayanarak uygun (teknik) önlemler belirlenebilir. Riskler olabildiğince ortadan kaldırılmalı veya azaltılmalıdır (doğası gereği güvenli makine tasarımı ve yapımı).

Ortadan kaldırılamayan risklerle ilgili gerekli koruyucu önlemleri alınmalıdır. Kullanıcılar, benimsenen koruyucu önlemlerin herhangi bir eksikliğinden kaynaklanan artık riskler konusunda bilgilendirilmelidir, herhangi bir özel eğitimin gerekli olup olmadığını belirtmeli ve kişisel koruyucu ekipman ihtiyacı sağlanmalıdır.

Sınıflandırma risk endeksi risk ve önlemler

1. $R = 21$ Hafif risk; kabul edilebilir
2. $21 < R = 71$ Küçük risk; dikkat gerekli
3. $71 < R = 201$ Orta risk; basit önlemler uygulamak
4. $201 < R = 401$ Yüksek risk; hemen büyük önlemler uygulayın
5. $R > 401$ Risk çok yüksek; faaliyetleri / işlemleri durdur [14].

III. MAGNEZYUM METAL ÜRETİM SÜREÇLERİNE ÖZEL ÖNLEME VE KORUMA

A. TEHLİKELER VE SAĞLIK ETKİLERİ

Birincil magnezyum metal endüstrisinin işgücünde işyerinde yaralanmaları ve hastalıkları önlemek için özel önlemlerin seçimi ve uygulanması, temel tehlikelerin ve beklenen yaralanma ve hastalığın

tanınmasına bağlıdır. Magnezyum metal endüstrilerindeki en yaygın yaralanma ve hastalık nedenleri aşağıda açıklanmıştır [15].

- Aynı seviyede kayma, takılma ve düşme;
- Korumasız makineler;
- Yüksekten düşme;
- Düşen nesnelere;
- Mineral yünlere ve liflere maruz kalma;
- Sıcak metal ile temas; sıcak metal sıçraması
- Ateş ve patlama;
- Aşırı sıcak ortam, Sıcak soğuk dengesizliği
- Radyasyon (iyonlaştırıcı olmayan, iyonlaştırıcı);
- Gürültü ve titreşim;
- Kapalı alanlarda çalışmak;
- Solunabilir ortam (gazlar, buharlar, tozlar ve dumanlar);
- Hareketli makineler ve yerinde taşıma;
- Kimyasallarla cilt teması (tahriş edici maddeler (asitler, alkaliler), Çözücüler ve hassaslaştırıcılar);
- Kontrollü ve kontrolsüz enerjiye maruz kalma
- Elektrik yanıkları ve elektrik çarpması;
- Manuel kullanım ve tekrarlayan çalışma

Aşırı gürültü, önemli sosyal ve fizyolojik etkileri olan küresel bir iş sağlığı tehlikesidir. Tüm kaynaklardan gelen yüksek sese maruz kalma, yetişkinlerde başlayan işitme kaybının yaklaşık %20' sini oluştururken, yetişkinlerdeki işitme kaybına neden olan işitme kaybının yüzde 16'sı mesleki gürültüye atfedilmektedir. Gürültüye bağlı işitme kaybı, dünyadaki en ciddi 15. sağlık sorunu olarak kabul edilmektedir.

Gürültüye bağlı işitme kaybı, dünyada önlenebilir en yaygın iş sağlığı durumudur. Gürültüye maruz kalan herkes potansiyel olarak risk altındadır. Gürültü seviyesi ne kadar yüksekse ve bireyler ne kadar uzun süre maruz kalırsa, bundan zarar görme riski de o kadar artmaktadır. Dünya çapında milyonlarca işçi, işitme duyularını riske atan gürültü seviyelerine maruz kalmaktadır. Aşırı gürültü, yalnızca gürültülü işlemlerle uğraşan işçiler için değil, aynı zamanda etrafındakiler için de pek çok olumsuz etkisi olan mesleki bir tehlikedir [16].



Şekil 2. Bilyalı değirmen

Magnezyum üretim tesisinde yaklaşık 20 ton üretim kapasitesine sahip bir bilyalı değirmen (Şekil 2) ile öğütme faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. Kalsine olmuş dolomit madeni, flüorit ve ferrosilis cevheri kompozisyonu bilyalı değirmende öğütülerek 125 mikron altına inceltilmektedir. Malzemenin değirmende öğütülme işleminin çelik bilyalar marifetiyle yapılması nedeniyle ortama yüksek ses dalgaları yayılmaktadırlar.

Tesiste yapılan bilyalı değirmen gürültü ölçüm sonucu (kişisel maruziyet) Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bilyalı değirmen gürültü ölçüm sonucu

Çalışma Yeri	LEX dB(A)	Ppeak dB(C)	En düşük Maruziyet Eylem Değerleri [dB(A)-dB(C)]	En düşük Maruziyet Eylem Değerleri [dB(A)-dB(C)]
Değirmen Saha	78,5	127,5	dB(A)<80 dB(C)]<135	dB(A)<87 dB(C)]<140

6331 Sayılı İş Kanununun 25325 sayılı Gürültü Yönetmeliğın uygulanması bakımından, günlük gürültü maruziyet düzeyleri ve en yüksek ses basıncı yönünden maruziyet sınır değerleri ve maruziyet etkin değerleri, aşağıda verilmiştir;

- 1) Maruziyet sınır değerleri: LEX, 8h = 87 dB (A) ve ppeak = 200 μ Pai 1
- 2) En yüksek maruziyet etkin değerleri: LEX, 8h = 85 dB (A) ve ppeak = 140 μ Paii
- 3) En düşük maruziyet etkin değerleri : LEX, 8h = 80 dB (A) ve ppeak = 112 μ Piii

İşçiyi etkileyen maruziyetin belirlenmesinde, işçinin kullandığı kişisel kulak koruyucularının koruyucu etkisi de dikkate alınarak maruziyet sınır değer uygulanmaktadır. Maruziyet etkin değerlerinde kulak koruyucularının etkisi dikkate alınmamaktadır [17].

Uzmanların çoğu, arka arkaya saatler boyunca 85 dB'den fazla sese maruz kalmanın potansiyel olarak tehlikeli olduğunu savunmaktadırlar. Uzun süreli veya aşırı gürültüye maruz kalmanın, stres, zayıf konsantrasyon, işyerinde üretkenlik kayıpları ve iletişim güçlükleri ve uykusuzluktan kaynaklanan yorgunluktan dolayı kalp ve damar hastalıkları, bilişsel bozukluk gibi daha ciddi sorunlara kadar bir dizi sağlık sorununa (kulak çınlaması ve işitme kaybı) neden olduğu gösterilmiştir. Gürültü kirliliğinin psikolojik etkileri, verimliliği olumsuz yönde etkileyen dikkat dağıtıcı ve rahatsızlıktır. Çalışmalar, daha yüksek frekanslı gürültüye maruz kalma süresinin uzunluğuna bağlı olarak işçi verimliliğinin azaltılabileceğini göstermiştir. Örneğin, düşük trafik gürültüsü arka plan gürültüsü olarak kabul edilebilirken, alarmlardan veya makinelerden gelen çığlık sesleri bir eylem çağırısı olarak kabul edilmektedir [18].

Birçok üretim prosesinde olduğu gibi magnezyum metal üretim prosesinde de tozla mücadele, en önemli iş güvenliği konularının başında gelmektedir. Dolomit ocaklarından kalsine dolomit öğütülmesi, pelet oluşumundan redüksiyon cürufplarının yüklenmesi ve boşaltma işlemleri esnasında toz meydana gelmektedir. Ocaklardan gelen dolomit malzemesinin kamyonlarla bunkere boşaltılması esnasında su püskürtme sisteminin devreye girmesi ile tozla mücadele de belli bir aşama kaydedilmiştir. Fakat özellikle magnezyum cürufunun sıcak olması ve su ile tepkimeye girerek alev alması tozla mücadeleyi güçleştirmektedir (Şekil 3). Bu sorun üretim hatlarında gerek toz filtreleme sistemleri ve gerekse yerel cebri çekişli havalandırma yoluyla ortam tozlardan arındırılmakta ve söz konusu havalandırma sistemleri ile minimum seviyeye indirilmektedir. Diğer bir yöntem olarak tozların bulunduğu ortamlarda çalışan işçi sayısı azaltılmakta olup tüm ünitelerde toz toplayıcı ve süpürme makineleri tüm vardiya boyunca görev yapmaktadır. Kaynakta ve ortamda önlemlerin yetersiz kaldığı ve işçilerin bu risklerle yüzleşmek zorunda kaldığı yerlerde, bu alanlarda çalışan işçiler için solunum koruyucu maskeler ve solunum aygıtları (respiratörler) kullanılarak tehlikeli tozlarla olan temas kesilmektedir. Yapılan toz ölçümlerine ait sonuçlar tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 3. Magnezyum redüksiyon cürüflarının çekilmesi işlemi

Tablo 2. Magnezyum üretim tesisi toz ölçüm (kişisel maruziyet) sonuçları

Çalışma Yeri	Akış hızı (L/dk)	Solunabilir toz konsantrasyonu TWA/ZAOD (mg/m ³)	Sınır Değer TWA/ZAOD (mg/m ³)
Ham madde/Değirmen Saha	1,7	3,6249	5
Redüksiyon	1,7	3,4256	5
Rafinasyon	1,7	3,1423	5

Toz emisyonları kaynağında kontrol edilebilir ve yok edilebilirse, daha geniş bir çalışma ortamı sağlanacak ve toz çıkışı önlenecektir. Üretim ortamında hiç toz olmaması veya daha az toz oluşması, bakım işlerinin en aza indirileceği anlamına gelir. Ayrıca, makinelerin tozla tıkanmadan bozulmadan üretim kaybı yaratmadan daha verimli çalışacakları anlamına da gelir. Böylece bakım masraflarından tasarruf sağlanacak ve arıza maliyetleri önlenerek üretim süreci daha verimli hale gelecektir. Makinelere operatör müdahalesi azalacak ve üretim ve işletme giderlerinden tasarruf sağlanacaktır.

Magnezyum metal üretimi sıcak çalışma ortamının doğasında bulunan başka bir tehlikeyi yani ısı stresini içermektedir. Vücudun aşırı ısınmasından dolayı stres altında ortaya çıkan ısı stresini, baş ağrısı ve baş dönmesinden mide bulantısına, sıcak bitkinliğine ve sıcak çarpmasına kadar rahatsızlıkları içerebilmektedir. Isı stresini belirtileri iş performansını olumsuz etkileyebilmekte ve düşük üretkenliğe ve dikkatsiz ve maliyeti yüksek hatalara yol açabilmektedir. Başlangıçtan itibaren uygun termal KKD'yi giymek, ısı stresinin magnezyum metal üretim işçilerini etkilemesini önlemenin zahmetsiz bir yoludur ve başka tehlikelerin de sorun haline gelmesini önlemektedir.

Magnezyum üretim tesisinde gerek dolomit kalsinasyon işlemleri sırasında gerekse redüksiyon prosesleri esnasında işçiler 1200-1250 °C arasında değişen yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar. İnsanların iç sıcaklıklarını olabildiğince 37 °C'ye yakın tutması ve düzenlemesi gerekir. 'Normal' sıcaklık aralığından farklı herhangi bir önemli sapma performansta düşüşe, hastalığa neden olabilmekte ve sonuçta ölüme yol açabilmektedir. Isı stresini tehlikesi, yeterli sıvı alımı, yeterli havalandırma, ısı kalkanlarının ve koruyucu giysilerin kullanılması ve dinlenmek veya daha serin bir görevde çalışmak için periyodik molalar ile azaltılmalıdır [19]. Magnezyum metal üretim fabrikasında sıcakla temas halinde çalışan işçilere 2 saatte yarım saat mola ve 4 saatte ise vardiya değişmelerine imkan tanınmaktadır. Bu sayede işçilerin sıcak ile temasları olabildiğince kontrol altında tutulmaktadır. Ayrıca çalışan işçilerin elbiseleri terleme esnasında kuru ve temiz yeni elbiseler ile değiştirilmektedir. Sıcak alanda çalışan işçilerin bulunduğu yerlerin havalandırmasının istikrarı sağlanarak sürekli takip ve kontrol edilerek termal konfor şartları olabildiğince maksimum seviyede tutulmaktadır. Alınan bu önlemler sayesinde 2017 yılı itibarı ile magnezyum üretim tesisi iş yeri hekimine termal konfor yetersizliği nedeniyle herhangi bir işçiden hastalık şikâyeti başvurusu yapılmamıştır. Bunun en büyük nedeni işçilerin sürekli takip edilmesi ve sık geri bildirimlerle süreçlerin kontrol altında tutulmasına bağlanmaktadır.



Şekil 4. Redüksiyon fırınları (sıcaklık 1200-1250 °C)

Magnezyum üretim tesisinde yapılan manuel işlemler el-kol titreşimi ve ergonomik sorunlara neden olabilmektedir (Şekil 4). Tüm mesleki maruziyetlerde olduğu gibi, titreşime karşı bireysel duyarlılık kişiden kişiye değişmektedir. Titreşim kaynaklı sağlık koşulları yavaş ilerlemektedir. Başlangıçta genellikle bir ağrı olarak başlar. Titreşime maruz kalma devam ettikçe, ağrı bir yaralanma veya hastalığa dönüşebilmektedir. Magnezyum üretim fabrikasında titreşime bağlı herhangi bir rahatsızlık görülmemiştir. Bunun en büyük nedeni titreşime maruz kalan işçilerin birbirleri ile ikame edilerek çalıştırılması, fabrikanın otomasyon sistemi kullanması ve uzaktan kumanda edilmesidir.

6331 sayılı iş güvenliği kanununun titreşim Titreşim Yönetmeliği maruziyet sınır değerleri ve maruziyet eylem değerleri aşağıda verilmiştir [20].

- a) El-kol titreşimi için;
 - 1) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri: 5 m/s^2 .
 - 2) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet eylem değeri: $2,5 \text{ m/s}^2$.
- b) Bütün vücut titreşimi için;
 - 1) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet sınır değeri: $1,15 \text{ m/s}^2$.
 - 2) Sekiz saatlik çalışma süresi için günlük maruziyet eylem değeri: $0,5 \text{ m/s}^2$.

Yüksek fırınlar, dönüştürücüler ve kok fırınları, metal üretimi sürecinde büyük miktarlarda gaz üretmektedir. Karbon monoksit bazen yüksek fırınların üst kısımlarından veya gövdelerinden veya tesislerin içindeki birçok gaz boru hattından yayılmakta veya sızmakta ve kazara akut karbon monoksit zehirlenmesine neden olmaktadır. Bu tür zehirlenme vakalarının çoğu, yüksek fırınların etrafındaki çalışma sırasında, özellikle de onarımlar sırasında meydana gelmektedir. Diğer durumlar, fırın gövdeleri etrafında inceleme turları, fırın üstlerinin yakınında çalışma veya cüruf çentikleri veya akıtma çentikleri yakınında çalışma sırasında meydana gelmektedir. Karbon monoksit zehirlenmesi, metal üretim tesisleri veya haddehanelerdeki su sızdırmaz vanalardan veya sızdırmaz kaplardan salınan gazdan da kaynaklanabilir; üfleme ekipmanının, kazan dairelerinin veya havalandırma fanlarının aniden kapanmasından; sızıntıdan; işten önce proses kaplarının, boru hatlarının veya ekipmanın düzgün şekilde havalandırılmaması veya boşaltılmaması; ve boru vanalarının kapanması sırasında görülmektedir [20].

Kimyasal madde, işyerinde sıvı, katı (partiküller dahil) veya gaz (buhar, aerosol) formunda bulunabilen bir bileşik veya karışımdır. Bu maddeler, vücutla temas veya vücut tarafından emilim sonucu tehlike arz edebilir. Emilim deri yoluyla, yutulduğunda veya solunduğunda ortaya çıkabilir. Kimyasal ve biyolojik tehlikelere karşı solunum koruması, magnezyum metal üretim endüstrisindeki işçilerin sağlığını korumak için çok önemlidir. Kaynak dumanları, boyada bulunan veya patlatma için kullanılan kimyasal maddeler, metal dumanı ateşi, kronik bronşit, pulmoner fibroz, astım ve çeşitli tümör türleri gibi akut solunum yolu hastalıklarına yol açabilmekte ve proses sürecinde açığa çıkan partiküller, işçilerin solunum sistemi için bir risk oluşturabilmektedir [21].

Tehlikeli kimyasala maruz kalma, yanlışlıkla yutulursa cilde ve akciğerler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Magnezyum metal üretiminde en fazla kimyasal gazlara rafinasyon ünitesinde taç magnezyum ergitme ve döküm işlerinde maruz kalınmaktadır (Şekil 5). Özellikle bu ünitelerde çalışan işçiler koruyucu giysiler giyerek ve kimyasalları doğru şekilde kullanarak gerekli kullanım ve güvenlik

talimatlarının oluşturulması ve uygulanması ile işçilerin tehlikeli sıvı veya dumanla temaslarından korunmaları sağlanmaktadır.



Şekil 5. Magnezyum metal fabrikası rafinasyon ünitesi magnezyum eritme işleri

Kimyasal güvenlik amaçlı, koruma tedbirleri iş süresi ile sınırlı kalmayıp vardiya bitiminden sonra, kişisel koruyucu ekipmanlar çöp kutusuna atılmakta veya kirli iş elbiseleri izole edilmiş bir sepette saklanmaktadır. Metal üretim işleri esnasında kimyasallarla temas eden hiçbir malzemenin hiçbir şekilde işçiler tarafından eve götürülmesine (kimyasal madde içeren malzemeler işyerinde veya aracın özel bir bölümünde saklanmamalıdır) izin verilmemektedir. Kimyasal maruziyet belirtileri için işçiler sık sık kontrol edilmekte ve işçilerin sağlığındaki herhangi bir değişiklik olup olmadığı takip edilmektedir. İşçilerin kimyasal kontaminasyondan etkilenildiği düşünüldüğünde vardiya sorumluları, ünite mühendisleri tarafından semptomlar titizlikle gözlenmekte, takip edilmekte ve olası bir belirti durumunda işyeri hekimine kimyasal tehlikeye maruz kalan işçiler götürülerek tedavilerine ivedilikle başlanmaktadır.

Pek çok ciddi dökümhane kazası, dökümhane işçilerinin potalardaki eriyiklerin yakınına geldiğinde fırın şarjı esnasında meydana gelmektedir. Islak veya nemli hurdaların neden olduğu büyük hurda parçalarının ve su/erimiş metal patlamalarının düşmesinden kaynaklanan sıçramalar, kurutma ve ön ısıtma sistemleri ve uzaktan kumandalı şarj sistemleri kullanılarak azaltılabilmektedir. Ancak bu sistemler, teneke kutulardaki yağ gibi sıkışmış sıvıları çıkaramaz. Bu tür malzeme Erimiş metallerle çalışmak için risk seviyeleri meydana gelebilecek olay türleri ve işçilerin maruz kalabileceği erimiş metal seviyesi aşağıdaki şekilde ayrıştırılabilir:

- Seviye 0 - kıvılcımlar ve kaynak ve alevle kesme gibi diğer nispeten düşük riskli kullanımlar
- Seviye 1 - küçük dökümlerden vb. kaynaklanan erimiş metal sıçramaları
- Seviye 2 - küçük bir su/erimiş metal patlamasından kaynaklanan erimiş metal damlacıkları bulutu
- Seviye 3 - büyük bir patlama veya patlamadan kaynaklanan yerel etki.

Koruyucu kıyafetler mutlaka tam koruma sağlamaz, ancak herhangi bir yaralanmanın şiddetini azaltabilir. İşyerleri, süreçler ve ürünler için koruyucu kıyafetler farklılıklar içermektedir. Sıcak eriyikle çalışacak işçilere hangi koruyucu giysinin sağlanacağına karar verilmesine yardımcı olmak için, erimiş metalle yapılan herhangi bir işin risklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Erimiş metal ile çalışılması sonucu oluşabilecek riskler tablo 3’de verilmiştir. Genel olarak metal sıçrama ve fırın patlamalarının başlıca nedenleri;

- a. ıslak veya nemli malzeme.
- b. ağır yük malzemesinin erimiş bir banyoya atılması.
- c. ıslak veya nemli aletler veya katkı maddeleri ile çalışmak
- d. mühürlü hurda veya santrifüj döküm hurda ruloları kullanımı

Magnezyum üretiminde en büyük risk sudur. Su, nem veya herhangi bir sıvı erimiş metal ile temas ettiğinde buhara dönüşür ve patlama yaratabilir. Bu tür bir tehlike, çalışanları ve alandaki herkesi, ciddi veya ölümcül yanıklara neden olabilecek yüksek sıcaklıktaki sıvılara ve malzemelere maruz bırakabilir.

Tehlikeli bir sıçrama veya patlama sadece erimiş metal ile sınırlı değildir, eğer sıcak bir fırın su dolu kaplara maruz kalırsa, örneğin ortaya çıkan patlama aynı derecede tehlikeli olabilir. Erimiş metal sıçraması, ciddi yaralanmalara ve ölümlere neden olabilecek bir tehlikedir, çünkü bir metal işçisinin vücudunun herhangi bir kısmı bu tehlikeye tepeden tırnağa maruz kalabilir. Sıçrama ve kıvılcıklar giysilere yapışabilir ve yanabilir, bu nedenle bu ortamlardaki çalışanların uygun erimiş metal KKD 'ye sahip olmaları önemlidir.

Erimiş metal sıçramasının ötesinde, sadece erimiş metallerin, fırınların ve sıcak ekipmanın yakınında çalışmak ısı stresini tetikleyebilir. İşçileri serin ve kuru tutmak için nem emici teknolojiye sahip erimiş metal korumayı seçmek akıllıca bir karardır. Magnezyum metal üretim aşamalarında tehlikeye sadece işçiler maruz kalmamaktadır. İşçisinden mühendisi, mühendisinden genel müdürüne hatta işverenine kadar tüm tehlikeler her çalışan için ortaktır. Bu nedenle risk değerlendirme çalışmalarında her kademedeki personelinin katılımına olanak sağlanarak her temsilcinin görüş ve önerisinin alınması önem taşımaktadır. Magnezyum metal üretilen bir atölye 'de çalışan malzeme mühendisinin üretim kontrol esnasında magnezyum metal eriyiği sıçraması sonucu oluşan iş kazası yaşamış ve kazaya ilişkin fotoğraflar Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Magnezyum metal eriyiği sıçraması sonucu yanma

Erimiş metal sıçraması ve ürettiği ısı vücudun herhangi bir yerinde ciddi yanık yaralanmalarına neden olabilmektedir. Erimiş metal işlerinde çalışan işçiler, radyant ısıdan ve ayrıca sıvı sıçramasından ve diğer termal tehlikelerden korumak için daima alüminize giysiler giymelidir. Gerek magnezyum metal üretim fabrikasında gerek redüksiyon ünitesinde pelet doldurma ve taç magnezyum alma, magnezyum cürufu boşaltım esnasında gerek rafinasyon ile taç magnezyum eritme işleri esnasında işçiler daima alüminize koruyucu giysiler giymektedirler.

Alüminize KKD, yüksek ısıya sahip başlıkları, ceketleri, önlükleri, pantolonları, tozlukları, eldivenleri ve daha fazlasını içermektedir. Erimiş metal sıçrama tehlikeleriyle karşı karşıya kalan metal endüstrisi çalışanları için alüminize KKD, işçileri görevine özel bir şekilde korumaktadır. Erimiş metal sıçraması, parçacıklar veya kıvılcıklar, alüminize KKD' nin yüzeyine yapışmamakta ve aleve dayanıklı olduğundan, ısı kaynağı çıkarıldığında KKD tutuşmamakta veya yanmaya devam etmemektedir. Alüminize KKD ayrıca ısıyı koruyucu giysiyi giyen kişiden uzaklaştırarak bu tehlikelere karşı savunmasız görevler sırasında ısı stresini azaltmaya yardımcı olmaktadır. Alüminize giysinin her bir parçası, erimiş metal sıçraması için ASTM F955 ve radyant ısı için ASTM F 1939 ile değerlendirilmelidir. Karbon zırhlı alüminize elbiseler, radyant ısı, kıvılcıklar ve erimiş metal sıçrama tehlikelerine karşı artırılmış koruma sağlar. Öncelikli olarak koruyucu giysiler düşünülmeden önce gereken minimum kontroller aşağıda verilmiştir.

- Dökümhane binasının genel durumu ve onarımı yeterli ve faaliyetler hava etkisinden, özellikle su girişinden korunmalıdır. Zeminler düz ve eşit olacak şekilde korunmalıdır.
- Erimiş metallerin işlendiği geçiş yolları ve diğer alanlar, engellerden ve takılma tehlikelerinden uzak tutulmalıdır.
- Kalıpların ve kalıpların kalitesi, gereksiz erimiş metalin fırlatılmasını veya dışarı çıkmasını önleyecek kadar iyi olmalıdır.

- Uygun bir çalışma sistemi, su / metal patlamasını önlemek için bir fırına şarjın uygun şekilde denetlenmesini, hazırlanmasını ve kurutulmasını takip edecek bir kontrol çizelgesi hazırlanmalıdır.
- Erimiş metal ile kullanılan kalıplar, kepçeler ve aletler uygun şekilde kurutulmalı ve hazırlanmalıdır.
- Fırınlara, kepçelere, nakliye yolları ve diğer önemli ekipman öğeleri, arızalarını önlemek için düzenli olarak bakım yapılmalı ve denetlenmelidir.
- İş, mümkün olan her yerde programlı olarak düzenli yapılmalı, böylece operatörlerin bir eritme veya döküm işlemine yakın çalışmaları engellenmelidir (örneğin, hurda fırına otomatik olarak yüklenebilir mi?)
- Bakım çalışmalarının erimiş metale yakın yapılması gerekiyorsa etkili önlemler alınmalıdır. (Operatör eğitimi, çalışanların güvenli çalışma uygulamalarını anlamasını ve takip etmesini sağlamak için tasarlanmalıdır).
- Yerleşik güvenli işletim prosedürlerinin takip edilmesini sağlamak için operasyonlar etkin bir şekilde yönetilmeli ve denetlenmelidir.
- Erimiş metal içeren olaylar araştırılmalı ve dersler çıkarılmalıdır.
- Risk değerlendirmesi yapıldıktan sonra, erimiş metal nedeniyle yaralanma riskini azaltmak için koruyucu giysiler sağlanması gerektiğine karar verilirse, doğru giysinin seçilmesi önemlidir.

III. MAGNEZYUM ÜRETİM PROSESİ RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Magnezyum üretim tesisinde en yüksek risklerin sıcak temas sonucu ortaya çıktığı görülmektedir. Türkiye’de ilk ve Avrupa’da tek üretim tesisi olan magnezyum üretim tesisinde şu ana kadar ölümcül bir iş kazası yaşanmamıştır. Yaşanılan kazalar sıcak temas sonucu ya da magnezyum eriyik haldeki sıçraması veya yüksek sıcaklıkta çalışıldığından dolayı termal konfor sıcak soğuk dengesinin sağlanamaması sonucu yaşanmaktadır. Türkiye’deki magnezyum tesisinde iş kazalarının en asgari seviyede görülmesinin sebebi çalışanların sürekli bilgilendirilmesi, yurtiçinde bu işi yapan bir kuruluş olmadığı için yurtdışından magnezyum üretimi yapan kurumların iş güvenliği konusunda destek ve tecrübelerini kazanmaları görülmektedir. Ayrıca yine sektörde iş güvenliği ile ilgili ödül sistemi geliştirilmiş olup iş kazasız gün sayısı arttıkça işçilerin iş güvenliği sistemine aitlik duyguları da artmakta ve iş güvenliği kültürü çalışanlar arasında yayılmaktadır.

Tesiste bir ilk olması sebebiyle diğer metal döküm sektörlerinden farklı olarak yaşanabilecek tehlikeler ve iş kazaları olasılıkları Fine Kinney risk metodu ile hesaplanmış olup tablo 3’de gösterilmiştir.

Fine Kinney risk değerlendirmesi çalışmaları neticesinde 34 adet risk faktöründen 1’i tolerans gösterilemez risk, 9’u en kısa sürede giderilecek risk, 6’sı esaslı risk, 15’i önemli risk, 2’si olası risk ve 1’tanesi de önemsiz risk olarak hesap edilmiştir. Tespit edilen risklerden en önemlisi yani tolerans gösterilemez risk; elek altı mg atıklarının stoklanması esnasında magnezyum metalinin içten yanması sonucu yangın ve patlama sonucu ölümcül kazaların yaşanabilmesi ve bu durumdan tüm çalışanların etkilenebilmesidir. Burada en belirleyici olan faktör hemem hemen sürekli ve her saate birkaç defa tehlikeye maruz kalma durumudur. En kısa sürede giderilmesi gereken risklerin başında, ergitme potolarına çalışanın düşmesi nedeniyle ergimiş metale maruziyet sonucu meydana gelen ciddi yanıklar (ölümlü iş kazası); Taç mg besleme işi esnasında ergimiş mg sıçraması sonucu ergimiş metale maruziyet ciddi yanıklar (yanık - uzuv kaybı); metal aktarma potasının devrilmesi sonucu sıcak metalik eriyik yayılması, platform üzerinde çalışan personelin zehirli gazla maruz kalması sonucu zehirlenme, sıcak el aletlerine vücut teması gibi tehlike kaynakları gelmektedir.

Yapılan tüm bu tespit, kontrol ve önleme çalışmaları sonucunda %91,42 oranında risk seviyesinde azalma gerçekleşmiştir. Tüm metal üretim tesislerinde olduğu gibi magnezyum üretim tesisinde de önlemlerin alınmasına rağmen hala önemli risklerin var olduğu ve etkin bir iş güvenliği ile risklerin azaltılabileceği görülmektedir.

Tablo 3. Risk değerlendirme tablosu

BÖLÜM	TEHLİKE	RİSK (Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali)						RİSK KONTROL TEDBİRİ SONRASI DEĞERLENDİRME						
		OLASILIK	FREKANS	SİDDET	RİSK (R)	RİSK TÜRÜ	RİSK	ALINMASI GEREKEN ÖNLEMLER	OLASILIK	FREKANS	SİDDET	RİSK (R)	RİSK TÜRÜ	RİSK AÇIKLAMA
1	Ergitme potalarına çalışanın düşmesi	3	6	40	720	En kısa sürede giderilecek risk	Ölümlü kazaciddi çevresel zarar	Tüm ergitme potaları platform üzerinde zemine sıfır konumlandırılmıştır. Potalar üzerine düşmeyi önleyici kapaklar yapılmalıdır.	1	6	7	42	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
2	Ergitme işlemi esnasında ergimiş metal sıçramaları	3	6	15	270	Esaslı risk	Kalıcı hasar/ Yaralanma- iş kaybı	Çalışanlara ısıya dayanıklı alüminize kıyafetler zimmetlenmelidir. Sıvı metale uygulanan azot gazı miktarı 2 barı geçmemelidir.	1	6	15	90	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.
3	Sıvı metal içerisine ıslak hurda atılması	1	6	15	90	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir	Çalışan personel uyarılmalı ve hurda metal dış ortamda stoklanmamalıdır	0,2	2	40	16	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.
4	İndüksiyon ocağı ocak astarı dövme veya astar bozma işlemlerinde toza maruziyet	3	3	15	135	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir	KKD tablosunda yer alan standartlara uygun KKD kullanılmalıdır.	0,5	2	15	15	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.

5	Taç Mg Ergitme	Tüm ergitme ocaklarının bakımları periyodik yapılmaması	3	6	15	270	Esaslı risk	Kalıcı hasar/yaralanma- iş kaybı	Ergitme ocakları için periyodik bakım çizelgeleri oluşturulmalıdır ve çalışmalar kayıt altına alınmalıdır.	1	6	15	90	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.
6	Taç Mg Ergitme	Ergitme ocağı platformları üzerinde düzensiz malzeme istiflenmesi	3	10	15	450	En kısa sürede giderilecek risk	Kalıcı hasar/yaralanma- iş kaybı	Platformlar üzerinde gereksiz malzeme istiflenmesi engellenmelidir. Kullanılan el aletlerinin yere bırakılmaması için uygun alanlar tesis edilmelidir.	1	10	7	70	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.
7	Ergitme	Basınçlı tüplerin forklift çatallarında taşınması	3	2	100	600	En kısa sürede giderilecek risk	Birden fazla ölümlü kazaları çevresel felaket	Basınçlı tüpler forklift ile taşınacaksa, tüplerin dik şekilde bağlandığı taşıma ekipmanları kullanılmalıdır.	0,5	2	100	100	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir
8	Taç Mg Ergitme	Taç mg besleme esnasında ergimiş mg sıçraması	6	6	15	540	En kısa sürede giderilecek risk	Kalıcı hasar/yaralanma- iş kaybı	Besleme işi yapan çalışanlara yüz siperliği kullanılmalıdır. Besleme olukları yapılarak çalışanın tehlikeli bölgeye yaklaşması önlenmelidir.	1	10	3	30	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
9	Taç Mg Ergitme	Platform üzerinde çalışan personelin zehirli gazla maruz kalması	10	10	7	700	En kısa sürede giderilecek risk	Önemli hasar / yaralanma- dış ilkyardım	Çalışanlar oksijen destekli tam yüz maskesi kullanılmalıdır. Ortamdan çıkan gazın tahliye edilmesi ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan havalandırma tertibatı kurulmalıdır.	1	10	3	30	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
10	Taç Mg Ergitme	Sıcak el aletlerine vücut teması	10	6	7	420	En kısa sürede giderilecek risk	Önemli hasar / yaralanma- dış ilkyardım	Sıcak el aletleri kullanıldıktan sonra beli bir alanda tutulmalıdır bu alanda sıcak yüzey uyarı levhaları asılı olmalıdır.	1	6	7	42	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.

11	Taç Mg Ergitme	Ocak üzerinde sıvı malzemelerin stoklanması	3	3	15	135	Önemli risk	Kalıcı hasar/yaralanma- iş kaybı	Ocakların yer aldığı platformlar üzerinde sıvı maddelerin stoklanması engellenmelidir. Çalışanlar uyarılmalıdır. Sürekli kontroller sağlanmalıdır.	1	3	15	45	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
12	Taç Mg Ergitme	Elek altı Mg atıklarının stoklanması	6	10	40	2400	Tolerans gösterilemez risk	Ölümlü kazaciddi çevresel zarar	Anti statik naylonlar içinde stoklanmalıdır. Mümkün olduğunca sıcak ortamdan uzakta stoklanmalı ve en kısa sürede bertaraf edilmelidir.	0,5	2	40	40	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
13	Taç Mg Ergitme	Ergimiş sıvı metal içine soğuk el aletlerinin temas etmesi	1	6	15	90	Önemli risk	Kalıcı hasar/yaralanma- iş kaybı	El aletleri kullanılmadan önce ısıtılmalıdır. Çalışanlar mesleki eğitimlerde konu hakkında bilgilendirilmelidir. Ayrıca uyarı levhaları asılmalıdır.	0,5	6	15	45	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
14	Taç Mg Ergitme	İndüksiyon ocağı kaynaklı iş kazaları	0,5	6	40	120	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	İndüksiyon ocağı topraklama kontrolleri yılda bir yapılmalı gerekli görüldüğü hallerde kontroller sıklaştırılmalıdır. Potansiyometre %100'e sabitlenmelidir.	0,5	1	40	20	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.
15	Taç Mg Ergitme	Azot tankı basınç	1	6	40	240	Esaslı risk	Kısa dönemde iyileştirilmelidir.	Flanş gibi ek yeri olmayan yanıcı gaz veya sıvı boru hatları ile sıvı argon ve sıvı azot depolama tankı arasındaki uzaklık 5 m'den az olmamalıdır.	0,5	6	7	21	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
16	Taç Mg Ergitme	Külçe döküm bandından külçelerin düşmesi	3	6	7	126	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Döküm bandı yerden yüksek olan son kısmı yere külçenin düşüşünü yavaşlatacak şut takılmalıdır.	1	6	7	42	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.

17	Taç Mg Ergitme	Deforme olmuş taşıma aparatları saban zincir kanca kullanımı	3	6	40	720	En kısa sürede giderilecek risk	Önlem alması için işverene durum en kısa sürede bildirilir.	Saban zincir, kanca ve bez halatlar kontrol talimatları ve çizelgeleri oluşturulmalı haftalık kontroller yapılmalıdır. Yılda bir kez yetkili makine mühendisi tarafından periyodik kontrolleri yapılmalıdır.	0,5	6	40	120	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.
18	Taç Mg Ergitme	Metal aktarma potasının devrilmesi, Sıcak metal eriyik yayılması	3	10	40	1200	Olası	En kısa sürede giderilecek risk	Çalışanlar yanmaz alüminize elbise giymeli, tam yüz maskesi kullanılmalı, Uzun el aletleri kullanılmalıdır.	0,5	10	15	75	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.
19	Retort	Sıvı metal içerisine ıslak hurda atılması sonucu metal sıçraması	1	6	15	90	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Çalışan personel uyarılmalı ve hurda metal dış ortamda stoklanmamalıdır.	0,2	2	40	16	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.
20	Retort	Ocak astarı dövme veya astar bozma işlemlerinde toza maruziyet	3	3	15	135	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Kkd tablosunda yer alan standartlara uygun kkd kullanılmalıdır.	0,5	2	15	15	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.
21	Retort	Dışarıdan alınan hurdalarda radyasyona maruz kalma	0,2	1	100	20	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.	Radyasyon ölçümü yapılmadan hurda tedariki yapılmamalıdır.	0,5	0,5	15	3,75	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.
22	Retort	İndüskiyon ocağı Soğutma sistemi kaçakları sonucu patlama	1	6	100	600	En kısa sürede giderilecek risk	Önlem alması için İşverene durum en kısa sürede bildirilir.	Önleyici switchler düzenli kontrol edilmeli ve çalışanlar uyarılmalıdır. Mesleki eğitimlerde konu ayrıca ele alınmalıdır.	1	6	7	42	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.

23	Retort	Döküm potası refrakterlerin delinmesi ve ortama sıvı metal yayılması	3	1	100	300	Esaslı risk	Kısa dönemde iyileştirilmelidir.	Döküm potası kontrol talimatı oluşturulmalı ve her kullanım öncesi kontroller yapılmalı ve kayıt altına alınmalıdır.	0,5	6	40	120	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.
24	Retort	Döküm alanındaki su herhangi bir metal sıçraması durumunda yaralanmalar a neden olması	3	6	7	126	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Döküm alanında sıvı bulunmaması için çalışanlar uyarılmalı ve mesleki eğitimlerde ayrıca bilgilendirme yapılmalıdır. Uyarıcı levhalar döküm alanında bulunmalıdır.	1	2	15	30	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
25	Retort	Sodyum silikatın göze sıçraması	1	6	15	90	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Çalışma alanında göz duşları konulmalı ve çalışanlar göz duşu kullanımı konusunda eğitilmelidir.	0,5	2	7	7	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.
26	Retort	Retort dibi dökümünün ardından yanıkların oluşması	3	2	7	42	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.	Retort dipleri için kapak yapılmalıdır.	1	3	7	21	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
27	Retort	Isıtıcının altında pota olmadan çalıştırılma sonucu yanık oluşması	3	3	15	135	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Çalışanlar uyarılmalı uyarı levhaları asılmalı ve çalışma talimatı hazırlanmalıdır.	1	3	15	45	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
28	Retort	Savurna döküm Makinenin ani durması durumunda kalıbın fırlaması	1	6	15	90	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Kalıbın yerinden çıkmasını engelleyici koruyucu aparatlar yapılmalıdır.	1	2	15	30	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.

29	Retort	Savurma döküm makinesi kalıptan çıkartılan retortun fazla çekilmesi sonucu düşmesi	3	6	15	270	Esaslı risk	Kısa dönemde iyileştirilmelidir.	Sehpa üzerinde aşırı çekme önleyici stoper takılmalıdır.	1	3	40	120	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.
30	Retort	Sıcak retortun soğuma esnasında cüruf atması nedeniyle göze çapak kaçması	3	6	7	126	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Sıcak malzemenin bulunduğu alanlar girişi engelleyici tecrit oluşturulmalıdır. Uyarı levhaları asılmalıdır.	0,5	6	15	45	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
31	Retort	Sıcak retort stok alanı, sıcak yüzeye temas ve yanma	3	6	7	126	Önemli risk	Uzun dönemde iyileştirilmelidir.	Retort sehпасından retort düşmesini engelleyici koruma aparatı yapılmalıdır.	0,5	3	15	23	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
32	Retort	Soğutma ceketinin kesimden sonra düşmesi sonucu yaralanma	6	6	7	252	Esaslı risk	Kısa dönemde iyileştirilmelidir.	Ceketin düşmesini engelleyen sehpa kullanılmalıdır.	1	2	15	30	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
33	Retort	Kovani sıkışmış parça kesimi esnasında Mg metalinin yanması	1	6	7	42	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.	Yanmaz soğutma sıvıları ve söndürücü olarak flux arabaları hazır bulunmalıdır.	1	3	7	21	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.
34	Retort	Ferrosilis kaynaklı Kimyasallar, maruziyet sonucu zehirlenme	1	2	15	30	Olası risk	Gözetim altında uygulanmalıdır.	Ferro silikat suyla temas etmesi halinde zehirli gaz oluşturur, çalışanlar msds kayıtları asılarak bilgilendirilmelidir. Uyarı tabelaları asılmalıdır.	0,2	6	15	18	Önemsiz risk	Önlem öncelikli değildir.

IV. SONUÇ

Türkiye ve Avrupa’da birincil magnezyum üretim tesisinin ilk kez 2017 yılında kurulması ve bundan önceki senelerde özellikle Türkiye’de demir çelik endüstrisi ve alüminyum endüstrisi haricinde metal konusunda sınırlı endüstriyel ve akademik bilgiye sahip olunması magnezyum tesisi için bir dezavantaj olarak kabul edilmektedir. Magnezyum üretim tesisinde diğer metal endüstri dalları ile temel proses benzerlikleri olsa da genel olarak farklı üretim aşamalarına sahiptir. Özellikle ön ısıtıcı, kalsinasyon, peletleme ve redüksiyon ünitelerinin kurulmasında ve işletilmesinde Çin teknolojisinden yararlanılmıştır. Türk işçilerden ve Mühendislerden çoğu Çin’de magnezyum metal üretimi proses eğitimleri görmüş işle ilgili bilgi ve tecrübelerini geliştirirlerken, Çin’deki iş güvenliği uygulamalarının yetersizliği nedeniyle ekipmanların kurulum ve işletilmesi aşamalarında yaşa-tecrübe et yaklaşımı ile kendilerini yetiştirmişlerdir.

Öncelikli olarak yönetim ve işçiler arasında geri bildirim iş güvenliği kültürünün ve iş kazalarının azaltılmasında birinci etken olmuştur. İkinci etken ise ramak kala olaylarıdır. Düzenli olarak yapılan iş sağlığı ve güvenliği toplantıları işçilerin yönetime olan güvenini arttırmış ve işçilerin karşılaştıkları iş güvenliği problemlerini yönetime iletmelerini kolaylaştırarak bir güvenlik zincir halkası oluşturulmuştur. Kazasız geçirilen aylar için üniteler arasında yeşil bayrak ödül uygulaması yapılmış ve işçilerin iş güvenliği kültürünü benimsemeleri ve katılımları sağlanmış ve içselleştirilmiştir.

Magnezyum metali üretim prosesleri aşamasında kendine özgü 34 farklı risk tespit edilmiştir. Bu risklerden en önemlileri magnezyum metal eriyişi sıçraması, platform üzerinde çalışan personelin zehirli gaza maruz kalması, sıcak el aletlerine vücut teması ertirme ocağı platformları üzerinde düzensiz malzeme istiflenmesi, basınçlı tüplerin forklift çatallarında kontrolsüz yatay vaziyette taşınması olarak karşımıza çıkmıştır. Yapılan geri bildirimler ve iş güvenliği kültürünün işçiler arasında benimsenmesi sonucu iki kez sıvı metal sıçraması, bir kez sıvı metale ayak teması haricinde önemli bir iş kazası yaşanmamış ve ölümcül bir iş kazası görülmemiştir.

V. KAYNAKLAR

[1] MME, “Esan Madencilik Sunumu” [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: http://mme.deu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/08/1030_Esan.pdf. Erişim Tarihi: 01.03.2020.

[2] Kar Madencilik, “Kar Mineral Madencilik” [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://www.karmadencilik.com.tr/> Erişim Tarihi: 05.01.2020.

[3] Aker, A., "Metal Sektöründe 5x5 Matris ve Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi." Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi 4.1: 65-75.

[4] Metal Dünyası, “Türkiye’nin İlk Avrupa’nın Tek Birincil Magnezyum Üretim Tesisi” [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://metaldunyasi.com.tr/tr/haberler/206/turkiyenin-ilk-avrupanın-tek-birincil-magnezyum-uretim-tesisi.html> Erişim Tarihi: 12.12.2019.

[5] Y. Bayrak, “Dolomitten magnezyum üretiminde proses parametrelerinin araştırılması ve termodinamik modellenmesi,” Doktora tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.

[6] Ilocis, “Chapter 16 - Occupational Health Services” [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <http://www.ilocis.org/documents/chpt16e.htm>. Erişim Tarihi: 01.10.2020.

[7] Özkiliç, Ö. (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. TİSK Yayınları, Ankara.

- [8] Gazete, R. (2012). İş Sağlığı Ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. *Resmi Gazete Tarihi*, (28512).
- [9] B. O. Alli, *Fundamental Principles of Occupational Health and Safety Second Edition*, Geneva, International Labour Organization, 2008.
- [10] Murphy, John F. "Kimyasal Proses Endüstrilerinde Güvenlik Hususları." *Endüstriyel Kimya ve Biyoteknoloji El Kitabı*. Springer, Cham, 2017. 1805-1887.
- [11] S. J., Yoon, Seok, et al. "Effect of occupational health and safety management system on work-related accident rate and differences of occupational health and safety management system awareness between managers in South Korea's construction industry." *Safety and Health at Work*, c. 4, s. 4, ss. 201-209, 2013.
- [12] E., Hastürk, M., Uzel, "Metal döküm atölyelerinde iş sağlığı ve güvenliği koşulları," *Mesleki Bilimler Dergisi*, c. 6 s. 1-Düzeltilme, ss. 45-58, 2017.
- [13]. Kokangül, Ali, Ulviye Polat, and Cansu Dağsuyu. "A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies." *Safety science* 91, 24-32. 2017.
- [14] Gül, M., Güven, B., and Güneri, A. F. (2018). A new Fine-Kinney-based risk assessment framework using FAHP-FVIKOR incorporation. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 53, 3-16.
- [15]. A., Şentürk, "Döküm Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğinin Değerlendirmesi," İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2016.
- [16] A. T., Yıldız, "Çimento Fabrikalarında İş Kazaları ve Meslek Hastalıklarının İş Yeri Güvenlik Kültürü ile İlişkisi: Medcem Madencilik Çimento Fabrikası Örneği," Yüksek lisans tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarsus Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2019.
- [17] T., Christman, *Metals Fire Protection Handbook*, Twentieth Edition, Section 6, Chapter 9, ss. 152, National Fire Protection Association, 2008.
- [18] L. D. Fond, *Fire Department Suggested Operating Guideline, Class D Combustible Metals*, Section 4, ss. 1-4, 2010.
- [19] Y., Kısa, "Döküm Atölyelerindeki İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi," İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2014.
- [20] Berhan, E. (2020). Yönetim taahhüdü ve iş sağlığı ve güvenliğinin iyileştirilmesi üzerindeki etkisi: bir demir, çelik ve metal imalat endüstrileri durumu. *International Journal of Workplace Health Management*.
- [21] Güllüoğlu, E. N., Güllüoğlu, A. N., Türkiye'de Metal Sektöründe Meydana Gelen İş Kazalarının Analizi. *International Journal Of Advances In Engineering And Pure Sciences*, 31(1), 70-82.2019.
- [22] Metalstar, "Kıvaç Group" [Çevrimiçi]. Erişim Adresi: <https://kivancgroup.com/is-guvenligi/endustri-urunleri/metalstar/> Erişim Tarihi: 05.11.2020.